



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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Пропускная способность пойм

Исполнитель Варлаков Александр Евгеньевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель д.г.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ

(ученая степень, ученое звание)

Барышников Николай Борисович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

«16» сентября 2017г.

Санкт-Петербург

2017



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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Пропускная способность пойм

Исполнитель Варлаков Александр Евгеньевич

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель д.г.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ

(ученая степень, ученое звание)

Барышников Николай Борисович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

« ___ » _____ 20__ г.

Санкт–Петербург

2017

Содержание

Введение	4
1. Обзор методов расчета пропускной способности русел с поймами.	8
2. Особенности расчета пропускной способности пойм.	25
3. Оценка вклада определяющих факторов в режим сопротивлений пойм.	44
4. Приложение	49
5. Заключение	62
6. Список используемой литературы	65

Введение

Значение пойм для развития различных отраслей хозяйства человека очень велико. Обилие чистой пресной воды, рыбы, высокопродуктивных лугов, возможность развития сельского хозяйства на богатых пойменных землях, удобные транспортные магистрали – все это привело к быстрому освоению и заселению пойменных участков. Это процесс происходит, несмотря на довольно частые катастрофические затопления пойм паводковыми водами. Более того, эти наводнения усилили разрушения различных инженерных сооружений, тем самым увеличив экономический ущерб, а в ряде стран сопровождаются и значительным количеством человеческих жертв.

В настоящее время значительно вырос интерес к пойменным рекам.

Поймы всегда отличались плодородными землями, в засушливых районах

поймы являлись единственным местом хозяйственной деятельности человека. Интерес к руслам с поймами связан также с трудностями расчета пропускной способности рек и влиянием пойм на русловой поток. Зная особенности гидравлики русел с поймами мы можем более точно оценить параметры потоков при затопленной пойме, которые необходимо знать для многих отраслей хозяйства.

Интенсивное гидротехническое строительство и другое хозяйственное использование рек оказывает существенное влияние на поймы.

Использование пойм в интересах народного хозяйства приводит к резкому увеличению внимания к поймам со стороны исследователей, работающих в различных областях науки и техники (почвоведов, геологов,

геоморфологов, ботаников, географов, биологов, гидротехников, гидравликов, гидрологов).

Пойма – это неотъемлемая часть реки, продукт ее жизнедеятельности; она неразрывно связана с рекой и по разному оказывает влияние на речное русло в различные фазы гидрологического года. Особенно велика роль поймы при пропуске паводков на реках. Поэтому пойма – объект в первую очередь гидрологический и, поэтому, именно гидрологам должна принадлежать ведущая роль в изучение и исследование процессов формирования поймы и происходящих на пойме процессов, их взаимодействия с русловыми и другими процессами. В то же время необходимо широко привлекать опыт, знания, методы и достижения смежных отраслей науки.

Изучение пойменных процессов развивалось по двум направлениям:

- 1) гидроморфологическое описание процесса формирования, происхождения и типизации пойм. Наиболее полно это направление изложено в работах сотрудника ГГИ И.В. Попова.
- 2) Гидравлика пойм. Здесь можно выделить несколько проблем изучающих различные ее аспекты.

Так, например, развито исследование влияния пойм на движение волны попусков и паводков. Пойма рассматривается как естественный регулятор, аккумулирующий значительные объемы воды в период максимума половодья, постепенно сбрасывающий их в последующий период (раб. М.С. Грушевского, сотрудников института гидромеханики СССР).

Нас интересует в первую очередь проблема расчета ее пропускной способности. К сожалению, эта проблема еще далеко не решена, к тому же измерения расходов на пойме является трудной задачей.

Вследствие трудностей измерения расходов воды на пойме их расчет производится по методике, основанной на применении формулы Шези и коэффициента шероховатости. Вопрос о методике расчета пойменных расходов имеет давнюю историю: он возник непосредственно после

опубликования А. Шези в 1775г. формулы для расчета скоростей течения. Было отмечено, что при выходе воды на пойму уменьшается значение гидравлического радиуса или средней глубины. Подобное явление наблюдается также и при любом резком переломе поперечного профиля. Это позволило разработать рекомендации по расчету расходов воды в пойменных створах посредством их деления на русловую и пойменную составляющие с последующим подсчетом каждой их них по формуле:

$$Q = Q_p + Q_n = \omega_p C_p \sqrt{R_p i_p} + \omega_n C_n \sqrt{R_n i_n}$$

При этом принимаем, что $i_p = i_n$

Надежные данные измерений поводочных расходов имеются лишь на отдельных створах, а уклоны на пойме практически не измеряются (за исключением их определения при редких специальных наблюдениях)

Так как практически все равнинные реки имеют поймы, а движение паводков по руслам с поймами, как известно, неравномерное, неустановившееся и с переменным по длине расходом воды. Поэтому применение к расчетом пропускной способности таких пойменных русел формулы Шези приводит к большим погрешностям, а следовательно к недостаточности надежности сведений о максимальных расходах воды, используемых в расчетах при проектировании гидротехнических сооружений.

В последнее время в ряде научных учреждений, как в России, так и за рубежом, проведены научные исследования, направленные на разработку и совершенствование методов расчетов пропускной способности пойменных русел. Они привели к приемлемому для практики решению проблемы расчета пропускной способности русел при взаимодействии потоков в них с пойменными на основе учета особенностей строения морфометрического строения русел и пойм. Однако проблема расчета пропускной способности пойм, к сожалению, далеко не решена.

Рекомендуемые расчетные методики пропускной способности пойм не учитывают ряда определяющих факторов этого весьма сложного процесса. Поэтому результаты расчетов имеют весьма значительные погрешности, не удовлетворяющие проектировщиков. К тому же и исходная информация о пойменных расходах воды, необходима для разработки и оценки расчетных методов недостаточна по объему и имеет низкое качество.

Такое состояние проблемы и явилось основной задачей дипломного проекта, заключавшегося в поиске путей совершенствования и разработки методики расчетов пропускной способности пойм.

1 Обзор методов расчета пропускной способности русел с поймами.

Особенностью русел с поймами является наличие двух и более потоков с разными глубинами, движущихся с различными скоростями параллельно или под различными углами друг к другу. При взаимодействии таких потоков возникают дополнительные сопротивления, существенно изменяющие общую пропускную способность русел.

При проектировании различных водопропускных сооружений, подсчете годового и максимального стока и в ряде других случаев необходимо рассчитывать пропускную способность русел с поймами.

Для этого применяются различные методы их расчета как без учета эффекта взаимодействия потоков в них, так и с его учетом.

Рассмотрим эти расчетные методики.

Расчет расходов воды по формуле Шези для русла с поймой как единого целого дает резко отличные от природы данные, так как она разработана для определения скоростей потоков равномерного движения.

$$Q = Q_p + Q_{\text{п}} = F_p C_p \sqrt{h_p I_p} + F_{\text{п}} C_{\text{п}} \sqrt{h_{\text{п}} I_{\text{п}}} \quad (1.1)$$

где Q – расход воды; F – площадь поперечного сечения; v – средняя скорость; I – уклон водной поверхности; C – коэффициент Шези; индексы “р” и “п” обозначают, что параметры относятся к руслу или пойме.

При прохождении высоких паводков, когда пойма затопляется, режим потока существенно отличается от равномерного и установившегося. Поэтому применение формулы Шези в этот период – определенное допущение. В связи с этим Д.Е. Скородумов [11] выполнил и проанализировал это допущение на основании дифференциальных уравнений

движения и неразрывности потока в открытом русле с переменным расходом:

$$I = \frac{v^2}{C^2 h} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{Q' v}{\log \omega} \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial l} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{Q'}{l} \quad (1.3)$$

Представим уравнение (1.2) в конечных разностях в виде:

$$I = \frac{v^2}{C^2 h} + \frac{\alpha_n v_n^2 - \alpha_b v_b^2}{2gl} + \frac{v - v_6}{g\omega} \frac{Q_n - Q_b}{l} + i_{вз} + \frac{1}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.4)$$

где l – продольная координата; t – время; α – корректив скоростей; v – средняя скорость; v_6 – проекция скорости притекающих или оттекающих масс воды на направление средней скорости рассматриваемого потока, индексы “н” и “в” обозначают нижний и верхний створы.

На основании данных натурных исследований Д.Е. Скородумов выполнил анализ членов этого уравнения.

Значение члена, характеризующего влияние неустановившегося движения, $\left(\frac{1}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t} \right)$ составляет доли процента от уклона в паводочный период на равнинных реках. Однако $\varepsilon_3 = \frac{1}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t}$ недостаточно учитывает фактор нестационарности движения. Его роль возрастает в периоды затопления и опорожнения пойм. Члены уравнения, учитывающие неравномерность движения и изменения расхода воды по длине водотока:

$$\varepsilon_1 = \frac{\alpha_n v_n^2 - \alpha_b v_b^2}{2gl} \quad \text{и} \quad \varepsilon_2 = \frac{v - v_6}{g\omega} \frac{Q_n - Q_b}{l}$$

ε_1 характеризует расход энергии потока из-за неравномерности способа его движения. Введя предположения о постоянстве потока и равенстве коэффициента Кориолиса на верхнем и нижнем створах, получим приближенное выражение для

$$\varepsilon_1 = \frac{\overline{\alpha_k Q}}{2gL} \left(\frac{1}{F_H^2} - \frac{1}{F_6^2} \right)$$

При определении значений ε_1 и ε_2 по данным наблюдений на нескольких створах рек Луги и Пьяны были получены значения инерционных членов.

Так значение ε_1 достигает 0,000023 на р. Луге и 0,000030 на р. Пьяне что составляет $\left(\varepsilon_1/I \right) = 25 - 28\%$ на р. Луге и $\left(\varepsilon_1/I \right) = 55\%$ на р. Пьяне от соответствующих значений уклона свободной поверхности. Однако значение ε_2 , хотя по абсолютной величине и значительно меньше ε_1 , но как правило, для указанных рек имеют знак, противоположный ε_1 . Максимальные значения ε_2 по абсолютной величине достигают 0,0000017 на р. Луге и 0,000025 на р. Пьяне что составляет соответственно 10,0% и 19,4% от уклона свободной поверхности. Однако анализ данных специальных исследований показывает, что при больших углах пересечения динамических осей потоков в русле возникает водо-воротная область, размеры которой определяются мощностью пересекающихся потоков. Она может занимать все русло и течение в нем останавливается или даже изменяется на обратное. Следовательно, значение ε_2/I может достигать 100 %.

Намного сложнее оценить значение ε_3/I , которое характеризует нестационарность режима. По словам Барышникова, его значение невелико, а на равнинных реках не превышает 5%. Однако, как показывают исследования последних лет, эффект нестационарности процесса намного больше. Действительно, когда пойма затоплена и при свободном

меандрировании, происходит неоднократное изменение направлений течений на ней.

Оба инерционных члена ε_2 и $\varepsilon_{3=i_{B3}}$ учитывают сопротивление при различных типах взаимодействия руслового и пойменного потоков. Решая уравнение (1. 4) относительно v и i_{B3} получаем:

$$v = C\sqrt{hI(1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4)} \quad (1.5)$$

$$i_{B3} = v^2 / c_B^2 h \quad (1.6)$$

Эта формула, может быть, использоваться для расчета скоростей течения руслового или пойменного потоков во время их взаимодействия. Этот метод является перспективной, но в ней имеются значительные недостатки. Основной из них - замена сложного трехмерного потока одномерными, чтобы применить уравнение одномерной идеализации для решения поставленной задачи.

При переходе от дифференцирования к конечным разностям возникает дополнительная погрешность, связанная с выбором расчетного значения “h”. Как вытекает из условий неразрывности при постоянно по длине расходе воды величина инерционного члена будет определяться характером изменения площадей поперечного сечения по длине реки.

$$\varepsilon_1 = \frac{\alpha_H v_H^2 - \alpha_B v_B^2}{2gl} \approx \bar{\alpha} \frac{v_H^2 - v_B^2}{2gl}$$

Допуская в первом приближении $\alpha_H \approx \alpha_B \approx \bar{\alpha}$ и учитывая, что $v = \frac{Q}{\omega}$ получим:

$$\varepsilon_1 = \bar{\alpha} \frac{Q^2}{2gL} \left(\frac{1}{\omega_H^2} - \frac{1}{\omega_B^2} \right) = \frac{\bar{\alpha} Q^2}{2gL} \left(\frac{\omega_B^2 - \omega_H^2}{\omega_H^2 \omega_B^2} \right) \quad (1.7).$$

Изменение площадей поперечных сечений по длине реки имеет циклический характер и находится в прямой зависимости от типа руслового процесса.

Если не учитывать инерционные члены, ошибка может быть существенно выше расчётной русловой составляющей скорости потока.

Н.Б. Барышниковым было рассмотрено, какие наибольшие ошибки можно ожидать в расчете скоростей, если не учитывать инерционные члены. Им получено, что наибольшие значения отношений расчетных скоростей, а следовательно и расходов воды весьма существенны и достигают 137% что безусловно выходит за пределы требований к точности расчетов расходов воды.

По видимому этот вопрос нуждается в дальнейшем более углубленной проработке с привлечением более обширного материала натуральных исследований.

Другими существенными недостатками расчетов максимальных расходов по формуле Шези является допущение о равенстве уклонов свободной поверхности в русле и по пойме. К сожалению, это вынужденная мера обусловленная отсутствием методики, а следовательно, и надежных данных измерений уклонов по пойме.

В последние годы вопросу несоответствия уклонов свободной поверхности в русле и на пойме при затоплении последней уделяется большое внимание и посвящено много работ. Остановимся кратко на анализе их результатов.

Первым важным выводом является положение о несоответственных уровнях и продольных уклонов в русле и на пойме реки.

Второй вывод, являющийся как бы следствием первого, констатирует наличие однонаправленного в сторону поймы от русла поперечного уклона свободной поверхности. При этом подчеркивается что уровень поймы во все фазы паводка был меньше уровня в русле. Этот вывод несколько противоречит общепринятому представлению о том, что поймы на сходе половодья и уклоны свободной поверхности обычно направлены в сторону русла.

Таким образом, все исследования подтверждают существенные различия хода уровней и уклонов свободной поверхности в русле и на пойме в различные фазы происхождения паводка. Эти расхождения находятся в прямой зависимости от аккумулирующей емкости поймы, от ее типа.

Имеющийся материал и теоретические проработки не дают возможности разработки общих рекомендаций по расчету уклонов свободной поверхности потоков поймы.

Следующий недостаток расчетов по формуле Шези состоит в неопределенности коэффициента Шези “С” как для русловой, так и особенно для пойменной части потока.

В настоящее время известно свыше 200 формул для расчета коэффициента “С”.

Все формулы можно подразделить на две группы. К первой группе относятся формулы, учитывающие коэффициент шероховатости. Эта группа наиболее обширна. Наилучшие результаты получены по формулам В.Ф. Талмазы и Железнякова. Однако для всех формул ошибки расчета “С” для пойменного отсека значительно выше, чем для руслового. Так по формуле Талмазы для русел наибольшее среднее из среднеквадратических отклонений составляет 4,2% а для поймы 24,1%.

Ко второй группе относятся формулы основанные на учете уклонов свободной поверхности и крупности донных наносов. Использование формул этой групп затруднительно из-за отсутствия качественных данных наблюдений за уклоном свободной поверхности и крупностью данных наносов.

Остановимся на формулах, которые получили наиболее широкое распространение и применяются в настоящее время; для расчета гидравлических сопротивлений они были предложены в последнее время.

Учитывая, что коэффициент Шези зависит от большого количества факторов, возникла необходимость в разработке формул для определить его значения. Один из первых, кто занялся изучением этого

вопроса, был А. Дарси., а впоследствии П. Базен. На основе анализа обширных экспериментальных данных Базен предложил формулу для определения коэффициента Шези, которая в последствии получила довольно обширное распространение.

$$C = 87 / (1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}})$$

где γ - коэффициент шероховатости, значение которого определялось по описательной характеристике русели соответствующим таблицам. Учитывая, что эта формула в настоящее время имеет только историческое значение, выполнять ее анализ и анализ соответствующей таблицы представляется нецелесообразным.

Из ранних эмпирических формул для определения “С” следует отметить формулу Маннинга (1889 год), она имеет вид:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (1.8)$$

где n – коэффициент шероховатости; R – гидравлический радиус

Все другие формулы раннего периода, а именно, формулы Гангилье – Куттера и Базена – применяются в расчетах в зарубежной практике; у нас в стране они не приобрели широкое использование.

Н.Н. Павловский (1925 год) предложил обобщенную зависимость показательного типа. Для коэффициента “С” она имеет вид:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (1.9)$$

где y - величина переменная, зависящая от R и n и ее определяют по эмпирической зависимости или по таблицам.

Из эмпирических формул можно назвать формулу Штриклера:

$$C = 21,1 \sqrt[6]{\frac{R}{\alpha}} \quad (1.10)$$

где α - величина шероховатостей русла.

В работе А.В. Караушева эта формула приводится преобразованной к виду:

$$C = 33 \left(\frac{H_{\text{cp}}}{\alpha} \right)^{1/6} \quad (1.11)$$

где H_{cp} – средняя глубина в потоке; α - средний диаметр частиц донных отложений. В формуле принято что $n = 0,03\alpha^{1/6}$

При выборе величины “n” для естественных речных русел пользуются таблицами, предложенных М.Ф. Срибным, для горных рек таблицами Б.В. Поляковым, для равнинных рек таблицами А.В. Васильевой, Бредли, И.И. Агроскина.

Одной из самых известных полуэмпирических формул является формула И.И. Агроскина (1949 год)

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \log R \quad (1.12)$$

Использование формул второй группы затруднительно из-за отсутствия качественных данных наблюдений за уклоном свободной поверхности и крупности донных наносов.

Формулы первой группы как правило просты по своей структуре и удобны для расчетов. Однако они включают в себя значения коэффициента шероховатости, которые являются условными и неопределенными. Сопротивление не столько зависит от размера частиц, слагающих русло, сколько от размеров и формы русла и донных гряд, режима потока, местных сопротивлений, взаимодействия руслового и пойменного потоков и других факторов.

Общим недостатком этих формул (1.8) – (1.12) является их эмпиричность, не раскрывающая физической сущности коэффициента шероховатости. Этот недостаток в начале XX века устранили Р. Мизес и несколько позднее А. Штриклер, которые установили, что основным фактором, определяющим величину сопротивлений, а следовательно, и

значение коэффициента шероховатости является величина относительной высоты выступов шероховатости Δ/h . Помимо этого, Штриклер также предложил формулу для определения величины коэффициента шероховатости по значению средней крупности донных отложений.

$$n = (0,015 - \sqrt{g})k^{1/6};$$

с учетом формулы Маннинга получим:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = 6,67(R/k)^{1/6}$$

Следующий период можно охарактеризовать как интенсивное развитие исследований по данной проблеме, особенно в СССР, что стало началом разработки более 200 разнообразных формул для определения коэффициента Шези. Их подробный анализ будет выполнен позднее. Здесь же можно отметить разработку Н.Н. Павловского, который после тщательного изучения данных натурных измерений на европейских и американских реках пришел к выводу о том, что показатель степени в формуле Маннинга должен быть переменным. В результате он предложил формулу для определения коэффициента Шези:

$$C = h^y/n$$

где $y = f(h \text{ и } n)$

Полная формула для определения y имеет вид

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{h}(\sqrt{n} - 0,1)$$

Аппроксимация этого выражения позволяет получить с достаточной для практики степенью точности значение y по простым формулам:

$$y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } h < 1 \text{ м};$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } h > 1 \text{ м};$$

При этом значения u могут существенно отличаться от $1/6$ (по Маннингу), изменяясь от 0,10 до 0,30.

Павловский, рекомендовал применять данную формулу до глубинных значений, равных 3м. Позже диапазон глубины решили увеличить до 5м.

Помимо полевых методов определения коэффициента Шези, также велись обширные лабораторные измерения, основной целью которых были методы расчета различных гидротехнических сооружений. Тем более в ряде случаев при применении формулы Дарси – Вейсбаха получались негативные результаты.

Наиболее важные исследования проводились И. Никурадзе в круглых трубках с шероховатостью разной зернистости, впоследствии чего ему удалось установить логарифмический закон сопротивлений. Подобные эксперименты, Но в открытых руслах и лотках проводились А.П. Зегждой.

Параметр “ n ” является некоторой интегральной характеристикой, зависящее от целого ряда факторов, учитывающих все многообразие проявления сопротивлений движения потоков в русле. Особенно сложным является определение значений “ n ” в потоках с поймами, где необходимо учитывать характер перемещения донных наносов, затраты энергии на транспорт взвешенных наносов, на косоструйность течения в створе измерений, на взаимодействие руслового и пойменного потоков. В русле реки при затоплении поймы могут наблюдаться даже обратные течения, либо мощные водоворотные зоны, резко увеличивающие значения “ n ”.

Для анализа влияния пойменного потока на русловой при их слиянии могут быть использованы зависимости от уровней воды как для русловой

$$\frac{n_p}{n_{p.б}} = f(H') \quad \text{так и для пойменной} \quad \frac{n_{п.б}}{n_{п.б}} = f(H') \quad \text{части потока, где } n_{p.б} \text{ и } n_{п.б}$$

соответственно значения “ n ” для русла, поймы, русла при уровнях затопленной бровки; $H' = H - H_1$ то есть превышение уровня воды над отметкой прирусловых валов.

Как показал анализ полевых данных, уклон, шероховатость и все морфометрические характеристики русла и поймы изменяются по ширине и длине потока. Особенно сложно обстоит вопрос изменения уклонов в зависимости от уровней в русле и на пойме.

Значение уклона свободной поверхности тесно связано с величиной “ n ”:

$$n_{cp} = \frac{h^{2/3} i^{1/2}}{V} \quad (1.13)$$

Расширению долины соответствует интенсивный рост уклонов свободной поверхности, а сужению их уменьшение с ростом уровней.

Рассмотрим методы расчета пропускной способности русел с поймами, основанные на решении системы уравнений неразрывности и движения

Движение потока в пойменных руслах неустановившееся, иногда с интенсивным массообменом между русловым и пойменными потоками. Поэтому данная задача является трехмерной и перспективным путем ее решения является применение системы уравнений неразрывности и движения потока с переменной массой.

Г.В. Железняков (7) предпринял попытку преобразования системы дифференциальных уравнений движения неразрывности для расчета параметров потока в русле с поймой. Им получена система уравнений в виде:

$$\int_0^{B-B_{к.э}} \alpha_B v \frac{\partial v}{\partial l} db + \int_0^{B_{к.э}} \alpha_{B_{к.э}} \frac{\partial v_{к.э}}{\partial l} db + \int_0^B \alpha' \frac{\partial v}{\partial l} db + g \int_0^B \frac{\partial h}{\partial l} db = gIB - \int_0^{B-B_{к.э}} \frac{v^2}{c^2 h} db - \int_0^{B_{к.э}} \frac{v_{к.э}^2}{c_{к.э}^2} db$$

$$\int_0^B \frac{\partial h}{\partial l} db + \int_0^{B-B_{к.э}} v \frac{\partial h}{\partial l} db + \int_0^{B_{к.э}} v_{к.э} \frac{\partial h}{\partial l} db + \int_0^B h \frac{\partial h}{\partial l} db = 0$$

где $B_{к.э}$ - часть ширины потока, на которой наблюдается кинематический эффект; α_B и α' - коэффициенты Кориолиса и Буссинеска; l и b - элементы длины и ширины потока; v - средняя скорость на вертикали;

$K_{\text{э}}$ – индекс обозначающий, что расчет параметра выполняется с учетом кинематического эффекта.

Решение Железнякова интересно, но для доведения его уравнений до расчетных необходимы глубокие проработки по определению значений $V_{\text{к.э}}$, $C_{\text{к.э}}$ и других характеристик потока в зоне действия кинематического эффекта.

Методика аналитического расчета параметров потока сложносоставного сечения разработана недостаточно полно, а эмпирические методы основаны на лабораторных данных и расчеты по ним дают результаты, существенно отличные от натурных.

Первая причина – резкое различие морфологии русел и пойм как в поперечном сечении, так и по длине естественных водотоков от модулей.

Вторая причина – сложность процесс изменения уклонов свободной поверхности по ширине и длине потоков в руслах с поймами и при увеличении уровней воды. Изменение уклонов определяет характер изменения коэффициентов шероховатости.

Рассмотрим возможные пути решения расчета пропускной способности русел с поймами с учетом эффекта взаимодействия потоков в них.

Проблема движения потока в руслах с поймами является трехмерной, и наиболее перспективным способом ее решения является использование системы уравнений неразрывности потока с переменной массой. Первая попытка его применения для расчета скоростей и других характеристик потоков в руслах с поймами сделал Д.Е. Скородумов ограничившийся одномерной идеализацией

С целью упрощения задачи ограничимся односторонней поймой.

С учетом уравнений (1.4) и (1.6) система уравнений будет иметь вид:

$$I_p = \frac{\bar{v}_p^2}{\bar{c}_p^2 h_p} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_p v_p^2}{2g} \right) + \frac{q_p v_p}{g \omega_p} + \frac{\alpha'_p}{g} + \frac{\partial v_p}{\partial t} \quad (1.14)$$

$$I_{\Pi} = \frac{\bar{v}_{\Pi}^2}{\bar{c}_{\Pi}^2 h_{\Pi}} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_{\Pi} v_{\Pi}^2}{2g} \right) + \frac{q_{\Pi} v_{\Pi}}{g \omega_{\Pi}} + \frac{\alpha'_{\Pi}}{g} + \frac{\partial v_{\Pi}}{\partial t} \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial(Q_p + Q_{\Pi})}{\partial l} + \frac{\partial(\omega_p + \omega_{\Pi})}{\partial t} = q_1 + q_2 \quad (1.16)$$

где - q_1 и q_2 - расходы, соответственно, учитывающие приток воды со склонов на левую и правую поймы, потери на испарение и фильтрацию; $\frac{q_p v_p}{g \omega_p}$ и $\frac{q_{\Pi} v_{\Pi}}{g \omega_{\Pi}}$ - учитывают влияние боковой приточности и массообмен между руслом и поймой. Поэтому $q_p = q + q_1$ и $q_{\Pi} = q + q_2$, где q , q_1 и q_2 – расходы воды на единицу длины потока, соответственно учитывающие массообмен между потоками в русле и пойме (q) и боковой приток со склонов долины в русло (q_1) и на пойму (q_2).

С учетом уравнений (1.15) и (1.16) можно записать:

$$\frac{q_p v_p}{g \omega_p} = \frac{q v_p}{g \omega_p} + \frac{q_1 v_p}{g \omega_p} \quad (1.17)$$

$$\frac{q_{\Pi} v_{\Pi}}{g \omega_{\Pi}} = \frac{q v_{\Pi}}{g \omega_{\Pi}} + \frac{q_2 v_{\Pi}}{g \omega_{\Pi}} \quad (1.18)$$

Используя предложение Т.Г. Войнич - Сяноженцкого выразим q по формуле водослива [5]:

$$q = m \sqrt{2g|\Delta H|} h_{\Pi} \text{sign}(H_p - H_{\Pi}), \quad (1.19)$$

где $m = m(\alpha)$ – коэффициент водослива, зависящий от угла α .

$$\text{sign}(H_p - H_{\Pi}) = \begin{cases} +1 & H_p > H_{\Pi} \\ 0 & H_p = H_{\Pi} \\ -1 & H_p < H_{\Pi} \end{cases} \quad (1.20)$$

С учетом уравнения (1.4) и пренебрегая величиной $\frac{\alpha'}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = \varepsilon_3$ и $\frac{\partial(\omega_p + \omega_{\Pi})}{\partial t}$ переходим к первоначальному квазиустановившемуся движению и систему уравнений (1.14) – (1.16) можно записать:

$$I_p = \frac{\bar{v}_p^2}{\bar{c}_p^2 h_p} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_p v_p^2}{2g} \right) + \frac{q_1 v_p}{g \omega_p} + \frac{v_p m \sqrt{2g|\Delta H|} h_{\Pi} \text{sign}(H_p - H_{\Pi})}{q \omega_p} \quad (1.20)$$

$$I_{\Pi} = \frac{\bar{v}_{\Pi}^2}{\bar{c}_{\Pi}^2 h_{\Pi}} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_{\Pi} v_{\Pi}^2}{2g} \right) + \frac{q_2 v_{\Pi}}{g \omega_{\Pi}} + \frac{v_{\Pi} m \sqrt{2g |\Delta H|} h_{\Pi} \text{sign}(H_p - H_{\Pi})}{q \omega_{\Pi}} \quad (1.21)$$

$$(\omega_p + \omega_{\Pi}) \frac{\partial(v_p + v_{\Pi})}{\partial l} + (v_p + v_{\Pi}) \frac{\partial(\omega_p + \omega_{\Pi})}{\partial l} = q_2 + q_1 \quad (1.22)$$

Рассмотрим, каким образом осуществляется учет кинематического эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков в данной системе уравнений.

Этот эффект учитывается в трех членах уравнения:

1. $v^2/c^2 h$ - основной член уравнения, параметром которого, учитывающим кинематический эффект, является коэффициент Шези.
2. $\frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_{p,\Pi} v^2}{2g} \right)$ - конвективный член уравнения, учитывающий неравномерность движения потока. Кинематический эффект учтен через значения коэффициентов α_p и α_{Π} .
3. $\frac{v \sqrt{2g |\Delta H|} h_{\Pi} \text{sign}(H_p - H_{\Pi})}{g \omega}$ - этот член уравнения учитывает массообмен между руслом и поймой. Кинематический эффект определяется коэффициентом m , зависящим от угла пересечения динамических осей руслового и пойменного потоков.

Рассмотрим методики расчета пропускной способности русел с поймами, основанные на учете влияния морфологических особенностей расчетного участка на гидравлику потоков в руслах с поймами. Наиболее часто процесс взаимодействия руслового и пойменного потоков осуществляется по II - IV типам. При IV типе и малых углах пересечения динамических осей потоков ($\alpha \leq 50^\circ$) процесс взаимодействия близок к процессу при II типе, а при сужении поймы – к III типу.

Поэтому для этих двух типов были получены аналитические зависимости вида:

для III типа: $\frac{v_p}{v_{p.б}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha; \frac{B_{п}}{B_p}\right)$

$$\left(\frac{n_p}{n_{p.б}} - 1\right) = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha; \frac{B_{п}}{B_p}\right) \quad (1.23)$$

для II типа: $\frac{v_p}{v_{p.б}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha; \frac{I_p}{I_{p.б}}\right)$

$$\left(\frac{n_p}{n_{p.б}} - 1\right) = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha; \frac{I_p}{I_{p.б}}\right) \quad (1.24)$$

При V типе взаимодействия характеризующимся изменением величины и направления угла α с ростом уровней воды, для расчетов рекомендуется не абсолютное, а средневзвешенное значение $\bar{\alpha}$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \Delta\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}\right)_i \alpha_i}{\frac{h_p}{h_{p.б}} - 1} \quad \text{где} \quad \Delta\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}\right) = \left(\frac{h_p}{h_{p.б}}\right) \alpha_2 - \left(\frac{h_p}{h_{p.б}}\right) \alpha_1 \quad (1.25)$$

Зависимости $v_p/v_{p.б} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha\right)$ при II и III типах взаимодействия потоков резко отличаются друг от друга. При III типе относительные значения скоростей $v_p/v_{p.б}$ уменьшаются при увеличении угла α , а при II типе, наоборот, уменьшаются. При углах $\alpha = 0^\circ$ решающую роль оказывает относительная шероховатость поймы $\left(n_{п}/n_{p.б}\right)$ сопротивление берегов и другие факторы. В то же время значение относительных скоростей $v_p/v_{p.б}$ при углах $\alpha = \pm 3^\circ$ при разных типах взаимодействия потоков близки между собой. Именно это позволило высказать гипотезу о наличии единой зависимости $v_p/v_{p.б} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha\right)$ для II и III типов взаимодействия потоков.

В данной гипотезе при взаимодействии потоков характеризуется знаком при угле α . При II типе взаимодействия угол α условно принят отрицательным, а при III типе – положительным. Возможен и другой вариант. Именно этот прием позволил получить единую для всех четырех типов взаимодействия потоков зависимость $v_p/v_{p.б} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha\right)$.

Углы α лишь частично учитывают особенности морфологического строения расчетного участка поэтому была предпринята попытка выявить влияние таких факторов как относительные шероховатости $n_{п}/n_{p.б}$. Но это не представилось возможным. Контрольные расчеты средних скоростей русловых потоков показали хорошее соответствие полученных результатов с натурными данными. Разработка методики расчета средних скоростей пойменных потоков осложнена двумя факторами. Первый их них – сложное морфологическое строение пойм, приводящее к резкому изменению их шероховатости по ширине. Сложность морфологического строения пойм и отсутствие данных об измеренных расходах воды в пределах амплитуды уровней от выхода воды на пойму до соответствующих затоплению бровок прирусловых валов не дают возможности выбора расчетного уравнения, являющегося аналогом $H_{p.б}$ для русловой части потока, который позволил бы представить все исходные параметры в безразмерном виде.

Существующие методы подсчета пропускной способности пойменных русел либо обладают невысокой точностью (с использованием формулы Шези) либо несколько сложны и требуют полевых измерений, по крайней мере в двух створах. В то же время недостатки методики подсчета пропускной способности по формуле Шези отражаются и на параметрах “n”.

Различными авторами (М.Ф. Срибным, Бредли, И.И. Агроскиным, В.Т. Чоу, А.А. Васильевой) разработаны таблицы для определения значений этих параметров по описанию сопротивления русла и поймы в расчетном створе.

Все они не дают идентичных значений для однозначных описаний сопротивлений. В этих таблицах не учитывается влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Одной из задач данной работы является расчет параметров “ n ” на пойменных створах и уточнение их зависимостей от глубины в свете последних разработок о взаимодействии руслового и пойменного потоков.

Глава 2. Особенности расчета пропускной способности пойм.

Расчет расходов воды по формуле Шези для русла с поймой как единого целого дает резко отличается от натуре данные Н.Н.Павловским [9] была предложена методика расчета пропускной способности русел с поймами путем разбивки их на отсеки в местах резкого изменения поперечного профиля или шероховатости:

$$Q = Q_P + \sum Q_{П_i} \quad (2.1)$$

С учетом формулы Шези:

$$Q = \omega_P C_P \sqrt{h_P I_P} + \omega_{П_i} C_{П_i} \sqrt{h_{П_i} I_{П_i}} \quad (2.2)$$

Где ω -площадь живого сечения; C -коэффициент Шези; h -средняя глубина; I -уклон свободной поверхности; индексы «р» и «п» соответствует руслу и пойме.

Эта методика основанная на допущениях, основными из которых являются: 1) формула Шези разработана для расчета скоростей потоков равномерного установившегося движения. 2) равенство уклонов свободной поверхности в русле и на пойме.

Остается нерешенным вопрос о физической трактовке, величине и методике расчета коэффициента Шези. В натуральных потоках на величину коэффициента Шези влияет форма русла, характер растительности в нем и на берегах. Степень извилистости и другие причины.

Особенно сложным является расчет коэффициента Шези при пропуске паводков на затопленной пойме, когда движение потока неустановившееся, неравномерное, с интенсивным массообменом между русловым и пойменным потоками. Все это привело к разработке многочисленных эмпирических формул, в которых различные виды сопротивлений движению потоков учитывается с помощью интегральной характеристики n , называемых коэффициентом шероховатости.

Наиболее полная оценка формул дана в монографии Горбачева П.Ф.[6]. Он считает, что все формулы для расчета параметра n можно разделить на две группы. К первой группе относятся формулы, учитывающие коэффициенты шероховатости. Ко второй группе относятся формулы для расчета коэффициента Шези, основанные на учете уклонов свободной поверхности и крупности донных наносов. Их использование затруднительно из-за отсутствия качественных данных наблюдений за уклоном свободной поверхности и крупностью донных наносов.

Формулы первой группы просты по своей структуре и удобны для расчетов. Н.Б. Барышниковым [2] были выполнены контрольные расчеты параметра C по шести формулам и данным наблюдений на шести реках. Значения C определялись по фактическим данным $C = \frac{V}{\sqrt{hI_p}}$, а параметр n - по формуле Павловского $n = h^y / C$.

Дальше определялось среднеквадратическое отклонение параметра C по каждой из шести формул от фактического.

Для всех формул погрешности расчетов C для пойменного отсека значительно больше чем для руслового.

Результаты расчётов позволяют сделать вывод, что при расчётах коэффициента Шези для русловой составляющей потока большинство формул позднего периода дает довольно близкие результаты и худшие для пойменной составляющей.

Остается нерешенным вопрос - от чего зависит значение коэффициента шероховатости n . По мнению Н.Б.Барышникова [4] эту зависимость можно представить в виде

$$n=f(k, r, l, m, t,...) \quad (2.3)$$

Где k - крупность донных наносов; r коэффициент учитывающий форму сечения, l - параметр, учитывающий влияние донных гряд, m -учет взаимодействия руслового и пойменного потока; t - учет режима перемещения потока.

Одну из первых попыток получить выражение (2.3) в явном виде предпринял Кован [13]:

$$n=(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m, \quad (2.4)$$

где n_0 - основное значение n для прямолинейного однородного канала с гладкими стенками; n_1 ; n_2 ; n_3 ; n_4 ; m - параметры учитывающие дополнительные факторы: неоднородность поверхности, влияние неравномерности движения, местные сопротивления, растительность и характер режима движения, извилистость русла.

Недостатком этого метода является отсутствие учета сопротивления, возникающего за счет перемещения наносов взвешенных и донных.

Таким образом, можно сделать вывод, что параметр n является некоторой интегральной характеристикой, зависящей от многих факторов и учитывающей все сопротивления движению потоков в руслах. Особенно сложным является определение значения n в руслах с поймами. Так как помимо составляющих. Перечисленных в формуле (2.4), необходимо учитывать характер перемещения донных наносов, транспорт взвешенных наносов, косоструйность течения, взаимодействие руслового и пойменного потоков и другие факторы. Более приемлемой является следующая форма записи:

$$n = n_0 + \sum_{i=1}^{i=m} \Delta n_i \quad (2.5)$$

$$\text{Где } \sum_{i=1}^{i=m} \Delta n_i = \Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3 + \dots + \Delta n_m \quad (2.6)$$

Δn_i - добавочные значения коэффициентов шероховатости, учитывающие увеличение сопротивлений, возникающих в естественных потоках и каналах по сравнению с каналами в хороших условиях.

Наибольшая трудность состоит в невозможности непосредственного измерения значений Δn_i в натуральных условиях. Однако использование табличных значений параметра n позволяет ориентировочно подсчитать некоторые значения параметров Δn_i .

Для определения значения параметров Δn_i в выражении (2.6) Н.Б. Барышниковым был выполнен анализ значений n , приведенных в таблицах М.Ф.Срибного, Бредли, Чоу и данных измерений 600 расходов воды на двадцати семи реках различных районов СССР [2].

Анализ данных позволяет сделать вывод о довольно близком соответствии параметров n_0 и n_i по данным трех авторов. Однако наблюдаются и отдельные существенные расхождения вызванные неточностью формулировок и отличием результатов, полученных при обработке исходных материалов. Эти различия возрастают при больших значениях n .

Вторым недостатком является большой диапазон значений n и Δn , приведенных в таблицах Дж. Бредли и В.Т.Чоу.

Следовательно, можно сделать вывод о недостаточности критериев оценки шероховатости русел и пойм и недостаточном их соответствии многообразным натурным объектам. Поэтому необходимы новые пути решения этой узловой задачи речной гидравлики.

Одной из первых [13] является попытка использовать для расчетов коэффициентов шероховатости уравнение неравномерного движения

$$n = \frac{2Fh \left(L \left(\Delta h - \frac{\bar{Q}^2 \left(\frac{\alpha_H}{F_H^2} - \frac{\alpha_B}{F_B^2} \right)}{2g} \right) \right)}{Q_2 + Q_1} \quad (2.7)$$

Которое после ряда допущений может быть преобразовано в

$$n = \frac{h \left(1 - \frac{\bar{\alpha} \bar{Q}^2 \left(\frac{1}{F_H^2} - \frac{1}{F_B^2} \right)}{2gL} \right)}{V} \quad (2.8)$$

Где $\bar{\alpha}$ и \bar{Q} - осредненные для расчетного участка коэффициент Кориолиса и расхода воды.

Но этот метод не полностью отражает физическую сущность процесса.

В ЛГМИ была разработана математическая модель потока в русле с поймой.

Движение такого потока в русле с поймой может быть описано системой уравнений неразрывности и движения потока переменной массой (1.21)-(1.23)ю. Решение системы уравнений (1.21)-(1.23) позволяет получить зависимость коэффициентов шероховатости от определяющих факторов:

$$n_p = \frac{n_{p0}}{\sqrt{1 - \frac{\sum \varepsilon p_i}{I_p}}}; \quad n_{п} = \frac{n_{п0}}{\sqrt{1 - \frac{\sum \varepsilon П_i}{I_{п}}}} \quad (2.9)$$

Где n и n_0 коэффициенты шероховатости, получаемые соответственно по формулам: (2.9) и Шези; $\varepsilon_1 = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right)$; $\varepsilon_2 = \frac{q_p v_p}{g \omega_p}$; $\varepsilon_3 = \frac{\alpha}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$

Для расчета пропускной способности пойменных русел с помощью уравнений (1.21)-(1.23) необходимо знать расход массообмена, уклоны водной поверхности потока поймы и других, но такая информация в настоящее время отсутствует.

Более целесообразным является получение полуэмпирических расчетных зависимостей на основе обобщения натурной информации.

В ЛГМИ на основе теоретических проработок и анализа экспериментальных данных были получены графические зависимости вида $n_p/n_{p,б} = f(h_p/h_{p,б}; \alpha)$ [4] и построены кривые их зависимостей от уровней воды как для русловой, так и для пойменных частей потока (рисунок 2.1-2.3). В этих зависимостях в качестве основного расчетного параметра принят угол α между геометрическими осями русла и поймы, учитывающий характер взаимодействия потоков в них. Данная методика приемлема только для расчета сопротивлений русел при условии взаимодействия потоков в них с пойменными.

Хуже обстоит вопрос разработки методики расчета сопротивлений пойм. Это обусловлено сложностью их морфологического строения, низким качеством исходной информации, переменным воздействием растительности.

По данным наблюдений Н.Б. Барышниковым [1] были рассчитаны значения параметров “ n ” (по формуле Павловского и Маннинга) и построены кривые

зависимости от их уровней воды как для русловой $n_r/n_{p.б} = f(H')$ так и для пойменной $n_{п.б}/n_{p.б} = f(H')$ части потока, где $n_r, n_{п.б}, n_{p.б}$ - соответственно значения параметра n для русла, поймы и русла при уровнях затопления бровки, $H' = H - H_{p.б}$ - превышение уровня воды над отметкой прирусловых валов.

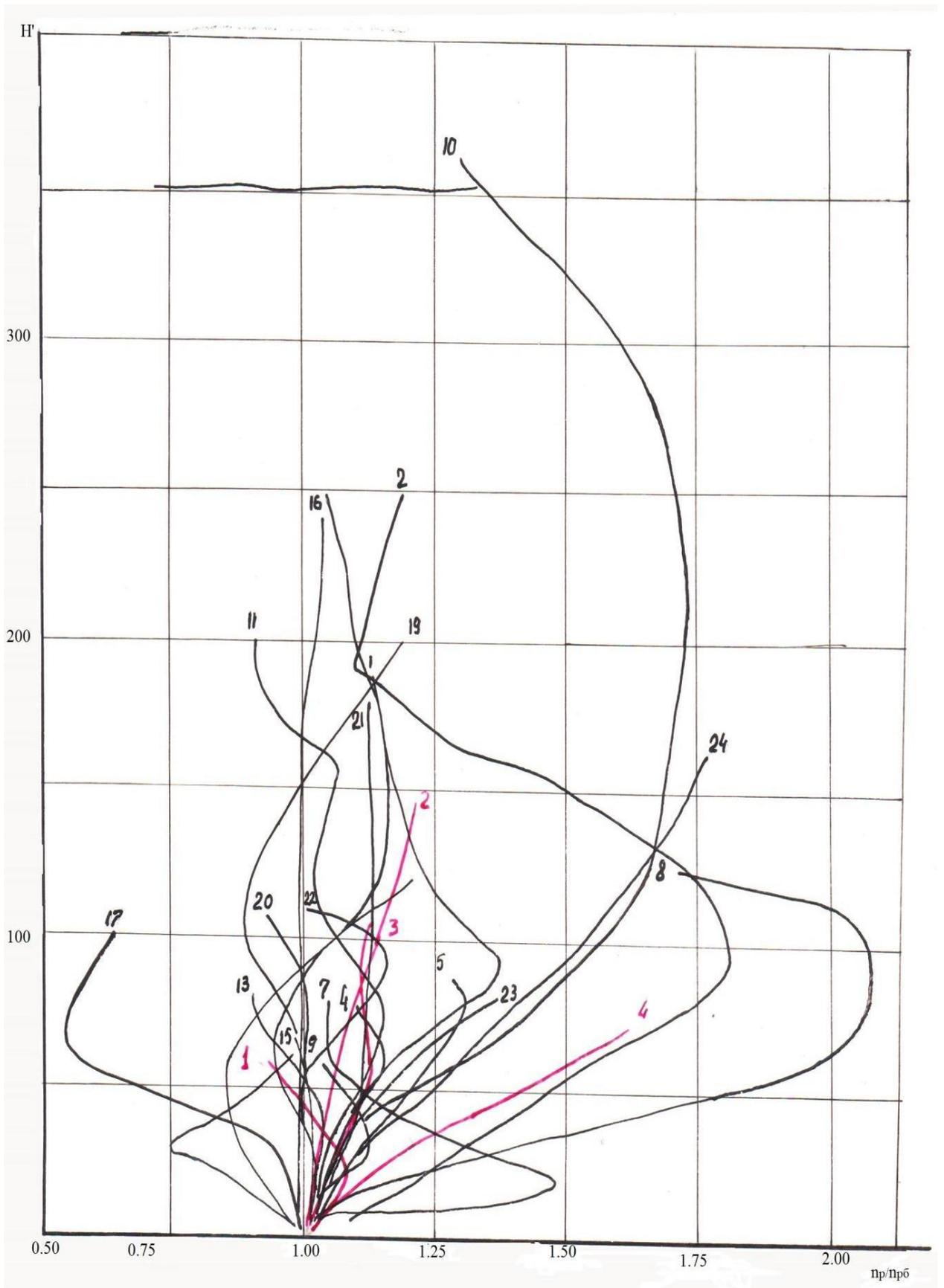


Рисунок 2.1 – Кривая зависимости $n_p/n_{p,б}=f(H')$

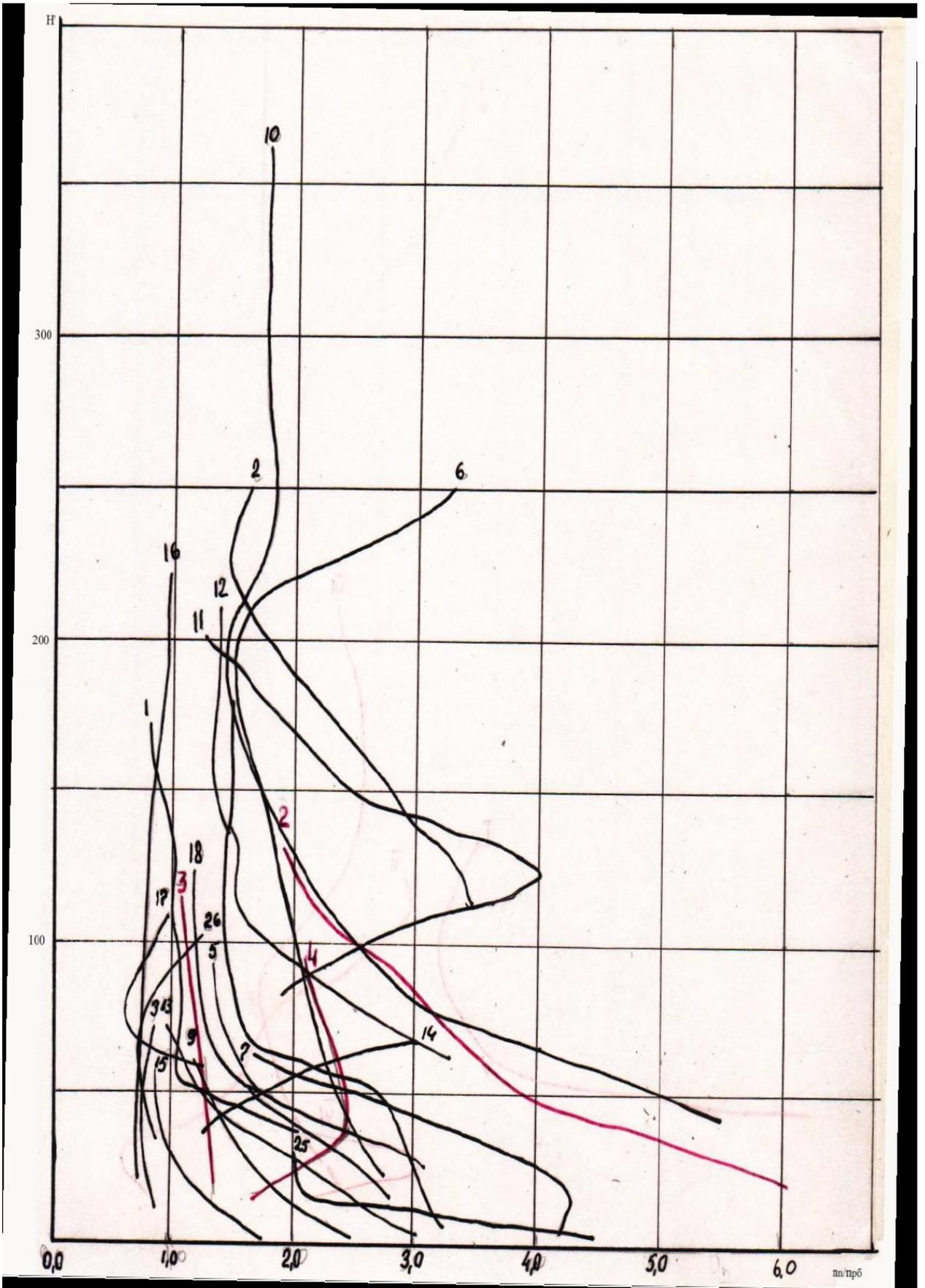


Рисунок 2.2 – Кривая зависимости $n_{п}/n_{р.б} = f(H')$

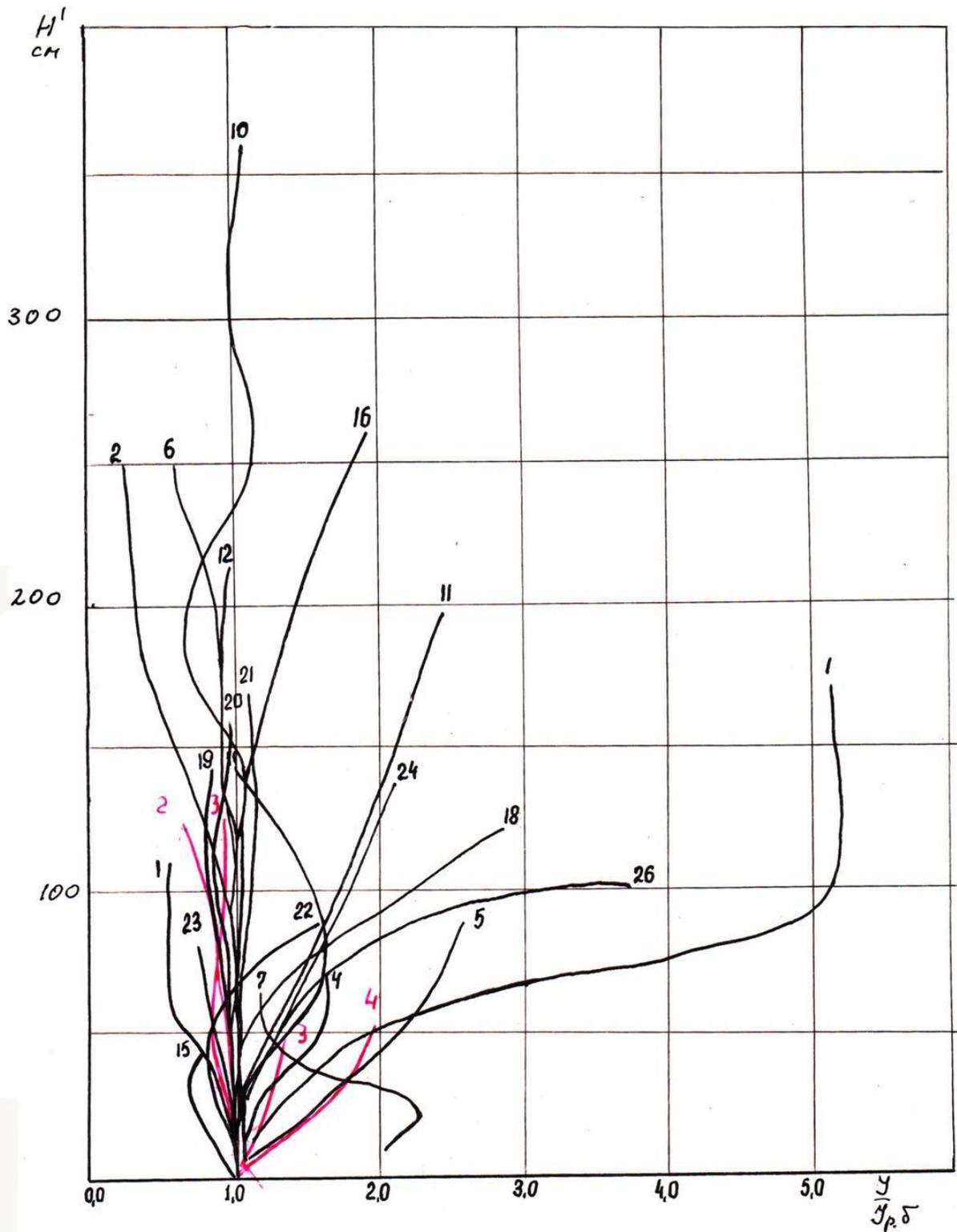


Рисунок 2.3 – Кривая зависимости $\frac{I}{I_{р.б}} = f(H')$

Кривые $n_p/n_{p,б} = f(H')$ могут быть также использованы для анализа влияния пойменного потока на русловый при их слиянии.

Кривые $n_p/n_{p,б} = f(H')$ можно подразделить на три группы. К первой можно отнести те, у которых наблюдается увеличение значений $n_p/n_{p,б}$ при слиянии руслового и пойменного, продолжающееся с ростом уровней, а затем снова их уменьшение. Ко второй группе относятся кривые которые с ростом уровней либо отклоняются влево ($n_p/n_{p,б} < 1,0$) от значения 1,0 либо их значения не изменяются (равны 1,0). К третьей группе относятся кривые $n_p/n_{p,б} = f(H')$, которые с ростом уровней отклоняются вправо от значений $n_p/n_{p,б} = 1$ и несмотря на значительные глубины заложения пойм, перегиба кривых не наблюдается (рисунок 2.1 кривая на графике 24). Каждая кривая в какой-то мере индивидуальна, ее вид зависит от шероховатости, морфометрии русла и поймы и изменчивости их характеристик по длине потока. Важным фактором, влияющим на вид кривых $n_p/n_{p,б} = f(H')$, является характер изменения уклонов свободной поверхности по мере изменения уровней, особенно при выходе воды на пойме.

По кривым $n_p/n_{p,б} = f(H')$ (рисунок 2.1) Н.Б. Барышников [2] определил максимальные значения $\Delta n_p/n_{p,б}$. Для первого типа кривых они соответствуют значению $n_p/n_{p,б}$ в точках их перегиба, а для остальных – максимальным отклонением от единицы. Анализ вида кривых, приведенных на рисунке 2.1 и данных, приведенных Н.Б. Барышниковым [2, табл.21] показывает, что изменение значений $n_p/n_{p,б}$, главным образом определяется сопротивлением, в том числе, за счет взаимодействия потоков и морфометрии русел и пойм, а также характером изменения ширины пойм и долины по длине участка, расположенного ниже гидроствора [5].

Действительно кривые $n_p/n_{p,б} = f(H')$ первого и третьего типов (последний можно считать частным случаем первого) соответствуют, как правило, расширению долины ниже створа наблюдений или постоянной ее ширины, а второму типу сужающиеся долины. При этом условия изменения

ширины долины (поймы) по длине реки также определяют и характер изменения уклонов свободной поверхности с ростом уровней воды при затопленной пойме.

Процесс затопления пойм зависит от их типа и, как правило, начинается с прорыв на низовом уровне, что вызывает обратные течения на них. Когда уровень воды повышается, вода начинает течь через верхние прорывы, и на пойме формируются транзитные течения. Когда бровки прирусловых валов затоплены, потоки русла реки и поймы сливаются в один руслопойменный поток. Однако бровки прирусловых валов, как правило, перерастают кустарниками или деревьями, поэтому эффективное взаимодействие потоков обычно начинается с уровней, превышающих их отметку, что, кроме того, может значительно варьироваться вдоль длины реки.

Сама пойма (особенно на свободно меандрирующих реках) представляет собой сложную структурную. Поэтому на ранних стадиях затопления, направление потоков на ней определяется направлением пойменных грив.

Большое влияние на расходы и скорости пойменных потоков оказывают старицы, пойменные озера и другие образования. Все эти изменения ведут к значительным различиям между натурными данными и данными модели. Натурные данные, которые хотя и имеют низкую точность из-за уменьшения скоростных вертикалей и количества точек измерения на них, отражают влияние целого ряда факторов на расходы и скорость потока на поймах в естественных условиях.

Поэтому для пойм сложносоставного профиля неуместно пытаться установить закономерности изменения средних (для потока поймы целиком) скоростей от уровня воды, необходимо разбить его на отсеки, в зависимости от характера изменения глубины и шероховатости вдоль ширины поймы. Наиболее перспективным является построение расчетных зависимостей в

относительных величинах. Для потока поймы такие контрольные характеристики еще не получены, и этот вопрос остается открытым. Поэтому в качестве реперной характеристики, к которой были назначены параметры потока поймы, соответствующие значения потока русла при уровнях затопления прирусловых бровок. То есть все параметры пойменной потока были рассмотрены в относительных величинах в виде $V_n / V_{p.b}$, $C_n / C_{p.b}$ и т.д. Характер изменения кривых расходов и средних скоростей пойменных потоков рек с изменениями уровня воды во многом определяется характером изменения площадей, ширины и средней глубины поймы. Поэтому для определения влияния руслового потока на пойму были построены кривые зависимостей $n_p / n_{p.b} = f(H)$ и $V_n / V_{p.b} = f(H)$, и было установлено, что на большинстве исследованных рек наблюдалось резкое уменьшение значений $n_p / n_{p.b}$ с ростом уровней, и только на отдельных реках эта закономерность нарушается и наблюдается либо стабилизация, либо даже увеличение их значения. Здесь H - уровень воды, отсчитываемый от отметки бровок прирусловых валов.

Следует отметить, что при расчетах величин C_p и n_p , возникают дополнительные трудности обусловленные отсутствием измерений уклонов водной поверхности на пойме. Даже методика таких измерений не разработана. Поэтому было сделано допущение о равенстве уклонов воды в русловых потоках. Дальнейший расчет выполнялся по формуле Шези, то есть в предположении, что движение потока равномерное.

Чтобы выявить закономерности влияния пойменного потока на русловую, использовались обширные данные лабораторий, а также полевые данные бы как в сети Государственного комитета по гидрометеорологии бывшего СССР, так и в специальных исследованиях ГГИ. В целях обобщения они были представлены в безразмерных величинах. В качестве реперных параметров потока и русла при уровнях затопления бровок прирусловых валов ($V_{r.b.}$, $h_{r.b.}$, $I_{p.b.}$). Этот метод позволил сравнить наблюдательные

данные по различным рекам и выявить влияние основных морфометрических характеристик пойм и потоков на гидравлику потоков в них. Таким образом, был выведен угол пересечения (схождения или расхождения) динамических осей потоков α и относительной ширины поймы B_n / B_p .

Чтобы определить угол α , данные подробных измерений векторов скоростей руслового и пойменного потоков на уровнях, превышающих затопление поймы. Получение такой информации, чрезвычайно затратно и не всегда возможно, поэтому в последующих расчетах угол α определяется как угол между геометрическими осями русла реки и поймы. Для этой цели необходимы масштабные карты или планы для участков с шириной не менее шести или семи ширин русла (ниже расчетного створа). В соответствии с расположением горизонталей определяется положение геометрических осей поймы и русла и углов между ними. Положение оси русла практически не изменяется при изменении уровня воды, а геометрические оси поймы или динамические оси пойменных потоков могут значительно изменяться с увеличением уровня воды (пятый тип взаимодействия потоков).

Основной трудностью в реализации этого метода является определение отметки бровки прируслового вала. Последний, как правило, покрывается густой растительностью, что оказывает существенное влияние на гидравлику потоков как русловых, так и пойменных не только в расчетном створе, но и в соседней с ним области. От точности определения отметки прируслового вала в значительной степени зависит и точность расчётов средних скоростей русловой составляющей потока при максимальном уровне воды. На точность его расчетов в значительной степени влияют ошибки методики, основанные на использовании формулы Шези. Действительно, как показали исследования, проведенные в РГГМУ, средняя ошибка в расчетах при использовании таблиц для определения коэффициентов шероховатости М. Ф. Срибного, И. Ф. Карасева, В.Т. Чоу и Дж. Брэдли составила 34-36%, слегка изменяясь в зависимости от используемой таблицы. По-видимому, проблеме

влияния прирусловых валов на гидравлику русловой составляющей потока необходимо уделять должное внимание.

Как уже упоминалось, прирусловые валы делят руслопойменный поток на русловые и пойменные компоненты, вплоть до уровня затопления их бровок. Однако их влияние не ограничивается этим, так как прирусловые валы обычно прорастают различной растительностью вплоть до деревьев, достигающих высоты десятков метров. Вторым фактором, которым нельзя пренебрегать в расчетах, является дискретность высоты прирусловых валов. Растительности на них вдоль длины потока, которая на пойме может широко варьироваться от десятков метров до полной сработки прирусловых валов и образования прорывов, которые либо естественны, либо имеют антропогенное происхождение.

В этом разделе анализируется сопротивление течения в руслах с простыми поперечными профилями и, как было установлено, они могут выражаться через коэффициенты Шези или коэффициенты гидравлического трения, или уклоны водной поверхности и коэффициенты шероховатости. Для расчета параметров естественных потоков наиболее часто используются коэффициенты шероховатости, которые являются интегральной характеристикой различных типов сопротивлений, возникающих при движении потоков, несмотря на их недостатки. Для потоков, протекающих по руслам с поймами, влияние формы поперечного сечения становится очень важным. Увеличение сопротивлений в этом случае является результатом интенсивного массового обмена между русловыми и пойменными потоками. Для потоков, протекающих по руслам с поймами, влияние формы поперечного сечения становится очень важным. Увеличение сопротивления в этом случае является результатом интенсивного массообмена между русловыми и пойменными потоками. В последние годы была предложена форма записи расчетного значения коэффициента шероховатости: $n = n_0 + \sum \Delta n_i$. Здесь n_0 – значение коэффициента шероховатости для каналов или речных русел в наиболее благоприятных условиях. Обычно его принимают

равным 0,020–0,030. ; Δn_i – добавочные значения коэффициентов шероховатости, в том числе за счет эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков. Например, Δn_1 учитывает увеличение сопротивлений естественных русел с хорошими условиями по сравнению с аналогичными каналами; $\Delta n_2, \Delta n_3, \Delta n_4 \dots \Delta n_m$ учитывают увеличение сопротивлений за счет растительности, неравномерности и нестационарности процесса, грядового режима перемещения наносов и другие. Подсчет значений Δn_i выполнен Н.Б. Барышниковым по данным таблиц М.Ф. Срибного, В.Т. Чоу и Дж. Бредли. Таким образом, коэффициенты шероховатости обобщают различные типы сопротивлений движению естественных потоков. Они определяются либо из реальных данных, либо из одной из многих эмпирических формул, либо из описательной характеристики и одной из таблиц. В последних значениях коэффициенты шероховатости при одинаковых условиях потока приведены в довольно широком диапазоне. Например, $n = 0,04-0,07$. Следовательно, нет объективного метода для расчета коэффициентов шероховатости даже для русел простых форм поперечного сечения.

В настоящее время разработаны рекомендации для определения значений коэффициентов шероховатости на основе формулы для неравномерного движения. Однако их использование затруднено, так как расчет коэффициентов шероховатости требует данных измерений для двух смежных створах. В то же время вопрос об оценочной величине расстояния между этими створами остается неясным.

Русла сложной формы отличаются от русел простого поперечного сечения наличием в них эффекта взаимодействия между русловыми и пойменными потоками, что существенно влияет на их сопротивление их движению. Рассмотрим влияние пойменного на сопротивление руслового потока. При первом и, особенно, третьем и четвертом типах взаимодействия потоков сопротивление движению русловго увеличивается, а во втором типе, наоборот, уменьшается.

Таким образом, дополнительные члены должны появиться в уравнении (2.6) с учетом влияния этого эффекта. Представляем это уравнение для уровня затопления бровок прирусловых валов в виде:

$$n_p = n_0 + \sum \Delta n_{p.б.i} \quad (2.10)$$

Попытку количественной оценки коэффициента шероховатости поймы по морфометрическим данным и сведениям о пойменной растительности выполнил Ю.Н. Соколов [10]. В качестве показателя растительности рельефа дна автор принимает $\bar{\sigma}/h$, где h – глубина, а

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (z_i - \bar{z})^2}{n - 1}} \quad (2.11)$$

среднеквадратическое отклонение выступов и впадин z_i и \bar{z} – средняя отметка поверхности поймы.

Расчетная зависимость, предлагаемая Ю.Н. Соколовым для поймы в целом, а также для скоростей вертикали, имеет вид линейного уравнения:

$$n_{\Pi} = 0,025 + 0,25 \left(\frac{\bar{\sigma}}{h} \right) \quad (2.12)$$

Оценка $\bar{\sigma}$ при определении коэффициента шероховатости n_{Π} для скоростной вертикали производится по данным о растительности рельефа вдоль бровки русла, а при определении среднего для поймы коэффициента n_{Π} – по данным о морфологии участка поймы

Влияние растительности, тормозящей пойменный поток учитывается посредством спирального параметра P , вычисляемого с помощью уравнений:

$$P = \begin{cases} \frac{\Pi b_{\Pi,ср}^2 K}{4a^2} \\ \frac{\Pi b_{\Pi 2}^2 h_{\Pi} h_2 \sigma_2}{4a^2 h_{\Pi}} \\ C_3 \frac{K_3}{h_{\Pi}} \sigma_3 \end{cases} \quad (2.13)$$

Первое уравнение системы – на пойме только деревья и низкая трава, второе – на пойме кустарниковая растительность, третье – на пойме невысокая трава, $b_{п.ср}$ - средний диаметр ствола в “м” на площади характерного участка, K – число деревьев, a – длина и ширина характерного участка, $b_{п2}$ – средний диаметр куста на высоте $\frac{1}{2}$ глубины его затопления ($h_{п}$), м; h_2 – высота куста, если $h_2 > h_{п}$, то $h_2/h_{п}=1$; σ_2 - параметр вертикальной склонности кустарника, C_3 - проективное покрытие травы; K_3 - высота стеблей в нагнутом состоянии; σ_3 – параметр вертикальной склонности травы.

Для расчета коэффициента шероховатости n_p обобщенный параметр растительности введен в систему уравнений:

$$n_p = \begin{cases} 0,03 + 7,86P & \text{при } 0,0002 \leq P \leq 0,009 \\ 0,11 + 5,66P & \text{при } 0,009 \leq P \leq 0,045 \end{cases} \quad (2.14)$$

Шероховатость, вызванная растительностью рельефа поймы и зарастанием, оценивается зависимостью:

$$n = \sqrt{(n_H^2 + n_p^2)} \quad (2.15)$$

Анализ предложений Ю.Н. Соколова приводит к следующим результатам:

- характеристика растительности рельефа $\bar{\sigma}/h$ недостаточно информативна: при наличии профильного и поперечного уклонов поймы “абсолютно гладкая” поверхность пойменного массива все равно будет охарактеризована

Некоторым значимым показателем шероховатости, так как при этом $\bar{\sigma} > 0$;

- протоки на гладкой луговой пойме может привести к такому же показателю растительности рельефа, как и распространение по пойме многочисленных гряд, впадин и т.д.

- система уравнений для оценки шероховатости, обусловленной растительностью, не универсальна

- расчет скоростей течения воды на поймах производится без учета эффекта взаимодействия руслового и пойменного потока;

- предлагаемая аппроксимация функции, связывающей коэффициент шероховатости n с показателем растительности рельефа $\bar{\sigma}/h$ и зарастания P , может быть принята лишь как частный случай, а не универсальная схема.

Проблема разработки более конкретных способов определения коэффициентов шероховатости обтекаемых поверхностей, основаны на более строгом физико–математическом описании, остается открытой.

Ничепоренко С.Н. [8] была предпринята попытка определения коэффициента шероховатости лесокустарников на основе измерений биометрических параметров. Общеизвестно, что лесокустарниковые массивы на пойме наряду с ее генеральным рельефом оказывает решающее воздействие на кинематическую картину паводочного потока. В последние годы появился ряд работ, в которых предлагается связывать сопротивление лесокустарников в потоке с их конкретными биометрическими параметрами. Такой подход сводит к минимуму субъективные погрешности определения коэффициентов шероховатости.

Расчетная формула имеет вид:

$$n_{л} = n_0 \sqrt{\frac{H_{л}^{4/3} NDK}{[2g(S_{м} - S_{д})n_0^2]} + 1} \quad (2.16)$$

где n_0 - коэффициент шероховатости участка без растительности; $H_{л}$ – средняя глубина потока в лесу; N – количество деревьев в массиве; D – средний диаметр деревьев; $S_{м}$ - площадь лесного массива; $S_{д}$ - сумма площадей поперечных сечений деревьев.

Для реальных условий ярусного леса расчетная формула будет иметь вид:

$$n_{\text{л}} = \sqrt{\frac{N_{\text{л}} D_{\text{л}} H_{\text{л}}^{4/3} K_{\text{л}} \rho_{\text{л}}}{2gS_{\text{м}}} + \frac{N_{\text{п}} D_{\text{п}} H_{\text{п}} H_{\text{л}}^{1/3} K_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{2gS_{\text{м}}} + \frac{N_{\text{т}} D_{\text{т}} H_{\text{т}} H_{\text{л}}^{1/3} K_{\text{т}} \rho_{\text{т}}}{2gS_{\text{м}}} + n_0^2} \quad (2.17)$$

где “л”, “п”, “т” – индексы соответствующие лесу, подросту, траве; ρ - коэффициент нарастания средней ширины сечения растения по глубине потока, рассчитываемый по формуле:

$$\rho = \sum (D_i L_i) / (D_{\text{л}} L_{\text{л}})$$

где D_i и L_i - соответственно диаметр и длина стволов и ветвей, в зону затопления.

Проведенные исследования показывают принципиальную возможность объективного описания растительности для установления ее шероховатости.

Однако практическая трудность измерения коэффициентов площади деревьев по высоте препятствует широкому применению данного метода в практике.

Выполненные экспериментальные и теоретические исследования сопротивления потоку пойменной растительности позволяют сделать следующие выводы: - коэффициент шероховатости лесных массивов колеблется в значительных пределах зависимости от глубины затопления деревьев и кустарников и может существенно отличаться от принятых табличных значений; для увеличения точности расчетов пойменных потоков необходимо учитывать биометрию затапливаемых лесных массивов.

Глава 3. Оценка вклада определяющих факторов в режим сопротивлений пойм.

Несмотря на известные достижения, все еще окончательно не решен вопрос гидрологии, гидравлики и морфометрии пойм, имеющих большое значение для водного хозяйства, таких как, разработка на широкой морфологической основе методов расчета пропускной способности русел с поймами, динамики затопления и опорожнения пойм, их регулирующего и аккумулирующего влияния на пропуск паводков и половодий, учет влияния эффекта взаимодействия русловых и пойменных потоков и др.

Все они представляют собой трех-, четырех-, мерные задачи, решение которых теоретическим путем в настоящее время не представляется возможным. Именно это предопределяет полуэмпирические пути решения указанных задач на основе использования результатов натурных и лабораторных исследований. Они основаны либо на статистических методах либо на упрощенных методах решения уравнений гидродинамики с использованием морфометрических и других характеристик. Для более полного и четкого учета особенностей морфологического строения русел и пойм на участках большого протяжения на гидравлику потоков в них необходима разработка некоторых интегральных показателей.

В то же время следует отметить, что морфометрические характеристики пойм разработаны недостаточно. Но основной причиной такого положения является низкая точность исходной информации, обусловленная сложностью изучения пойм в натурных условиях.

Одним из таких интегральных показателей, учитывающий все многообразие проявления сопротивлений движению потоков в руслах с поймами и зависящий от целого ряда факторов является коэффициент

шероховатости “ n ”. К сожалению, он имеет ряд недостатков, основными из которых является неопределенность, и даже изменчивость его размерности. Определение его величины для руслового и пойменного потоков представляется очень сложным, так как он зависит от большого количества факторов и учесть их все в настоящее время невозможно. Поэтому необходимо выделить несколько основных определяющих факторов и использовать их для расчетов коэффициента шероховатости “ n ”. Реализация этого предложения предусматривает две стадии. В первой – выделение факторов, определяемых на основе морфологических характеристик и растительности, во второй – на основе учета влияния руслового потока.

Для решения поставленной задачи была выполнена выборка и составлена таблица определяющих морфологических факторов (таблица 3.1).

Каждый из них был качественно оценен по пятибалльной шкале в зависимости от степени их воздействия на сопротивления пойм. Степень воздействия определялась на основе экспертной оценки из общих соображений. Шкала предлагаемых полей оценок приведена в таблице 3.1.

Для таких факторов как наличие проток, озер, выраженного прируслового вала оценка производилась как “да” или “нет”, т.е. наблюдается или отсутствует этот фактор на пойме. Для растительности оценка производилась с учетом ранжирования ее коэффициента шероховатости в таблице М.Ф. Срибного. Помимо того, оценивалась еще и густота растительности (см. табл. 3.1)

В таблице 3.2 приведены результат оценки этих факторов на основе данных наблюдений на 44 пойменных гидростворах, расположенных на малых и средних реках

Для каждой их этих рек на основе натурной информации были определены по формуле Шези – Маннинга коэффициенты шероховатости пойм. $n_{п}$. При этом расчет выполнялся для уровней, превышающих уровни затопления бровок прирусловых валов ($H > H_{p.б.}$) на 0,6 – 1,0 м. Это обусловлено тем, что именно при этих уровнях происходит резкий перелом

кривых зависимости $n_{\text{п}} = f(H')$, значение $n_{\text{п}}$ практически не изменяется при дальнейшем увеличении уровней. Именно эти значения $n_{\text{п}}$ и были приняты в качестве расчетных.

Далее, по описательным характеристикам пойм, приведенным в Гидрологических ежегодниках, и каждой из таблиц для определения коэффициента шероховатости (М.Ф. Срибного, В.Т. Чоу, Дж. Бредли) были определены их табличные значения для всех 44 гидростворах и получены отклонения расчетных от табличных значений $n_{\text{п}}$.

$$\Delta n_{\text{п}} = n_{\text{п.р.}} - n_{\text{п.т.}}$$

и их относительные величины

$$\frac{\Delta n_{\text{п}}}{n_{\text{п.р.}}} \text{ и } \frac{c}{n_{\text{п.т.}}}$$

Нами было сделано допущение, что ряд значений $n_{\text{п}}/n_{\text{т}}$ может быть описан совокупностью экспертных оценок определяющих факторов. Дальнейший анализ строился на определении вклада каждого фактора в режим сопротивлений и возможности построения модели определения $n_{\text{п}}$, учитывающей минимальное количество наиболее значимых факторов. Затем был выполнен регрессионный и факторный анализы. Результаты расчетов приведены в таблице 3.3 и таблице 3.4.

Как видно из данных этих таблиц, наибольший вклад в модель вносят первые два фактора – наличие проток и характер растительности. Их суммарный вес можно оценить в 57,5 % достоверности. Для подтверждения этого положения была построена графическая интерпретация (рисунок 3.1), характеризующая вклад этих факторов.

Далее были определены элементы множественной регрессии для двух факторов вида.

$$n_{\text{п}}/n_{\text{т}} = R(a_1 F_1 + a_2 F_2) + b$$

где $R=0,309$ – коэффициент регрессии, $a_1=0,1939$ и $a_2= - 0,1121$ – коэффициенты при F_1 и F_2 ; F_1 – фактор наличия проток; F_2 – фактор растительности; b – постоянная. F_1 и F_2 определялись по таблице 3.3. В качестве иллюстрации на рисунке 3.2. приведена регрессионная кривая для зависимости $n_p/n_T = f(F_1)$ (пунктиром показан доверительный интервал 95% уровня значимости)

По уравнению (3.1) были рассчитаны коэффициенты $n_{п}$ и проведен их анализ и сравнение с коэффициентом $n_{п.т.}$ (таблица 3.5)

Как показывает анализ результатов расчетов $n_{п}$ по уравнению (3.1), их величина находится в большем соответствии с полученными на основе натуральных данных, чем табличные значения. Однако точность расчетов и в этом случае не может быть признана удовлетворительной. (см. таблицу 3.6)

С целью выявления влияния руслового потока на пойменный был выполнен факторный анализ, для чего использованы данные, приведенные в таблице 3.7. В качестве факторов выбраны: угол α между динамическими осями русловых и пойменных потоков, глубинные затопления поймы $h_{п}$; ширины пойм $B_{п}$; скорости русловых потоков v_p ; коэффициенты шероховатости $n_{р.б.}$

При этом было сделано допущение, что ряд величин $n_{п}/n_T$ может быть описан совокупностью значений выбранных факторов. Далее был выполнен регрессионный и факторный анализ. Результаты расчетов приведены в таблице 3.8 и 3.9.

Как видно из данных этих таблиц, наибольший вклад в модель вносит величина угла между динамическими осями руслового и пойменного потоков. Суммарный вклад этого фактора можно оценить в 51,3% достоверности.

Далее были определены элементы множественной регрессии, построена регрессионная кривая для зависимости $n_{\text{п}}/n_{\text{т}} = f(\alpha)$ (рисунок 3.3)

Приложение

Таблица (3.2)

Таблица экспертных оценок морфометрических характеристик поймы.

Река-пост	В (м)	$n_{п.р.}$	$n_{п.т.}$	$n_{п.ч.}$	Озерн.	Оси	Проток.	Раст.	Степ. Зараст.	Прирусл. Вал
Алатырь- Тургенево	1420	0,075	0,033	0,03	0	0	1	3	3	0
Амур-Кумора	165	0,0293	0,04	0,03	0	0	0	2	0	0
Бобр-Куты.	164	0,044	0,033	0,03	1	0	1	1	3	0
Борисовка- Корсаковка.	83	0,036	0,04	0,04	0	0	0	3	3	0
Варташа- Дарзниески.	43	0,04	0,06	0,05	0	0	0	3	1	1
Горная- Март.Поляна.	45	0,047	0,05	0,06	0	0	1	1	3	1
Горынь- Держано.	1307	0,026	0,039	0,036	0	0	0	1	3	1
Горынь-Онеж	262	0,014	0,039	0,03	0	0	3	2	3	1
Десна- Разлеты.	333	0,0375	0,05	0,04	0	0	1	1	3	0
Друть- Городище.	870	0,0608	0,04	0,06	2	0	0	1	3	0
Емца-Ждм.	86	0,031	0,03	0,03	0	0	0	1	2	0
Илия- Владыки.	32	0,025	0,03	0,03	0	0	1	3	3	0
Казачка- Пучиловка.	86	0,087	0,05	0,055	0	0	0	1	3	1
Кивда- Новорочач.	113	0,093	0,033	0,03	0	0	1	3	3	0
Кобра- Короткие.	340	0,068	0,07	0,05	1	1	2	1	1	1
Крыловка- Крыловка.	323	0,0609	0,063	0,06	2	1	0	1	0	1
Кубена-	264	0,08	0,04	0,045	2	0	2	3	2	1

Троице-Енальское.										
Малиновка-Ариадное.	352	0,0675	0,065	0,07	0	0	0	4	1	1
Малиновка-Р.	328	0,0154	0,08	0,1	1	0	0	3	2	1
Марьевка-Покровка.	216	0,0884	0,01	0,04	2	0	0	4	2	0
Масляная-Семшино.	53	0,049	0,05	0,04	0	1	1	1	2	0
Мокша-Майдан.	84	0,055	0,05	0,04	2	0	0	1	3	1
Неман-Смалин.	810	0,035	0,035	0,05	1	0	3	3	0	1
Немилен-Тимченко.	86	0,0122	0,065	0,012	1	0	0	3	2	0
Немпту-Теплый.	42	0,029	0,02	0,07	1	0	2	3	2	0
Нестеровка-Таловый.	222	0,089	0,065	0,03	0	0	0	1	1	0
Ольшанка-Богданово.	39	0,021	0,033	0,04	0	0	0	3	3	0
Онон-Ульхун	320	0,095	0,04	0,03	2	0	0	1	2	0
Перехода-Подносье.	53	0,022	0,033	0,1	0	0	1	4	3	0
Пра-Деулино	2000	0,03	0,065	0,03	2	0	0	1	2	1
Пьяна-Камк.	635	0,022	0,033	0,06	1	0	0	1	3	0
Партизанская-Молчановка.	38	0,082	0,05	0,06	0	0	0	1	0	0
Птич-Лучиц.	542	0,033	0,065	0,04	0	0	0	1	2	0
Родостовка-Трайцо.	36	0,117	0,05	0,05	2	0	0	1	2	1
Сож-Слав.	1980	0,0235	0,05	0,12	2	0	3	1	2	1
Сережа-Лесуново.	8	0,129	0,07	0,04	0	0	0	3	3	1
Сула-Лубны.	80	0,035	0,03	0,04	0	0	0	1	3	1
Томь-Светиловка.	1870	0,091	0,07	0,06	0	0	0	3	3	0
Ула-Зарвино.	10	0,0355	0,04	0,045	0	0	0	1	2	1
Фтюга-Богор.	79	0,0355	0,08	0,07	2	1	1	1	2	0
Черная-Сагры	81	0,065	0,04	0,035	2	1	0	1	2	0
Черная-Черн.	84	0,0251	0,03	0,03	0	0	2	1	3	1

Шешепье-Дол	57	0,039	0,04	0,04	0	0	0	1	0	0
-------------	----	-------	------	------	---	---	---	---	---	---

Таблица (3.3)

Вклад факторов в дисперсию

Название фактора	Факторы	Вклад каждого фактора в %	Суммарный вклад в %
$n_{п.расчет.}$	1	23,9	23,9
Наличие проток	2	19,3	43,2
Характер растительности	3	14,4	57,5
Степень зарастаний	4	13,7	71,2
Наличие понижений	5	9,4	80,6
Наличие прирусл. вала.	6	8,6	89,3
Параллельность осей.	7	7,4	96,7
Наличие озер	8	3,3	100

Таблица (3.4)

Факторные нагрузки

Фактор Назв. Фактора	1	2	3	Стандартн. Ошибки.
$n_{п.расчет.}$	0,633	0,355	0,166	0,555
Наличие проток	0,103	-0,768	0,017	0,600
Характер растительности	0,618	-0,502	0,072	0,640
Степень зарастаний	0,845	0,006	0,047	0,717
Наличие понижений	0,429	0,526	0,382	0,608
Наличие прирусл. вала.	0,241	0,080	-0,642	0,477
Параллельность осей.	-0,303	0,484	0,030	0,327
Наличие озер	-0,257	-0,233	0,744	0,675

Таблица (3.5)

Расчет n с учетом факторов F_1 и F_2

Река-пост	$n_{п.р.}$	$n_{п.т.}$	$n_{м.}$	S%
Алатырь-Тургенево	0,075	0,033	0,03619	51,57492
Амур-Кумора	0,0293	0,04	0,040751	-39,0826
Бобр-Куты.	0,044	0,033	0,043718	0,064075
Борисовка-Корсаковка.	0,036	0,04	0,036267	-0,74111
Варташа-Дарзниеcki.	0,04	0,06	0,0544	-36,0005
Горная-Март.Поляна.	0,047	0,05	0,05089	29,31937
Горынь-Держано.	0,026	0,039	0,055029	-17,0819
Горынь-Онеж	0,014	0,039	0,044105	-69,9335
Десна-Разлеты.	0,0375	0,05	0,066791	-37,079
Друть-Городище.	0,0608	0,04	0,060634	-61,6907
Емца-Ждм.	0,031	0,03	0,045236	28,59934
Илия-Владыки.	0,025	0,03	0,033927	-9,44097
Казачка-Пучиловка.	0,087	0,05	0,039744	-58,9748
Кивда-Новорочач.	0,093	0,033	0,045334	47,89253
Кобра-Короткие.	0,068	0,07	0,037319	59,87165
Крыловка-Крыловка.	0,0609	0,063	0,0408	-7,36882
Кубена-Троице-Енальское.	0,08	0,04	0,07704	-13,294
Малиновка-Ариадное.	0,0675	0,065	0,071246	-16,9886

Малиновка-Р.	0,0154	0,08	0,052992	33,7605
Марьевка- Покровка.	0,0884	0,01	0,084141	-24,6527
Масляная- Семшино.	0,049	0,05	0,079077	-17,669
Мокша-Майдан.	0,055	0,05	0,012945	-41,3486
Неман-Смалин.	0,035	0,035	0,039728	85,38973
Немилен- Тимченко.	0,0122	0,065	0,56545	18,92245
Немпту-Теплый.	0,029	0,02	0,039581	-2,80818
Нестеровка- Таловый.	0,089	0,065	0,071537	-13,089
Ольшанка- Богданово.	0,021	0,033	0,018133	41,36307
Онон-Ульхун	0,095	0,04	0,096744	37, 47013
Перехода- Подносье.	0,022	0,033	0,037319	-8,70118
Пра-Деулино	0,03	0,065	0,051779	-77,7113
Пьяна-Камк.	0,022	0,033	0,037319	45,496
Партизанская- Молчановка.	0,082	0,05	0,06624	-69,6335
Птич-Лучиц.	0,033	0,065	0,073508	-72,1547
Родостовка- Трайцо.	0,117	0,05	0,056545	-69,6335
Сож-Слав.	0,0235	0,05	0,056545	19,22012
Сережа-Лесуново.	0,129	0,07	0,079162	-12,2751
Сула-Лубны.	0,035	0,03	0,060748	51,67137
Томь-Светиловка.	0,091	0,07	0,051378	-14,0615
Ула-Зарвино.	0,0355	0,04	0,063467	38,63388
Фтюга-Богор.	0,0355	0,08	0,045236	-9,42569
Черная-Сагры	0,065	0,04	0,090471	-73,5646
Черная-Черн.	0,0251	0,03	0,045236	43,54099

Таблица (3.6)

Погрешности метода $S\%$ и $S_{\text{табл}}$ по погрешности к n

$n_{\text{п.р.}}$	$n_{\text{п.т.}}$	$n_{\text{м.}}$	$S\%$	$S_{\text{табл}}\%$
0,075	0,033	0,03619	51,57492	56
0,0293	0,04	0,040751	-39,0826	-36,5188
0,044	0,033	0,043718	0,064075	25
0,036	0,04	0,036267	-0,74111	-11,1111
0,04	0,06	0,0544	-36,0005	-50
0,047	0,05	0,05089	29,31937	37,5
0,026	0,039	0,055029	-17,0819	-6,38298
0,014	0,039	0,044105	-69,9335	-50
0,0375	0,05	0,066791	-37,079	-17,571
0,0608	0,04	0,060634	-61,6907	-33,3333
0,031	0,03	0,045236	28,59934	34,21053
0,025	0,03	0,033927	-9,44097	3,225806
0,087	0,05	0,039744	-58,9748	-20
0,093	0,033	0,045334	47,89253	42,52874
0,068	0,07	0,037319	59,87165	64,51613
0,0609	0,063	0,0408	-7,36882	-18,4211
0,08	0,04	0,07704	-13,294	-2,94118
0,0675	0,065	0,071246	-16,9886	-3,448828
0,0154	0,08	0,052992	33,7605	50

0,0884	0,01	0,084141	-24,6527	3,703704
0,049	0,05	0,079077	-17,669	-24,9462
0,055	0,05	0,012945	-41,3486	-41,91362
0,035	0,035	0,039728	85,38973	88,71332
0,0122	0,065	0,56545	18,92245	-2,04082
0,029	0,02	0,039581	-2,80818	0
0,089	0,065	0,071537	-13,089	46,72113
0,021	0,033	0,018133	41,36307	31,03448
0,095	0,04	0,096744	37,47013	26,96629
0,022	0,033	0,037319	-8,70118	-57,1429
0,03	0,065	0,051779	-77,7113	57,83474
0,022	0,033	0,037319	45,496	-50
0,082	0,05	0,06624	-69,6335	39,02439
0,033	0,065	0,073508	-72,1547	-96,9697
0,117	0,05	0,056545	-69,6335	57,26496
0,0235	0,05	0,056545	19,22012	-112,766
0,129	0,07	0,079162	-12,2751	-50
0,035	0,03	0,060748	51,67137	39,02439
0,091	0,07	0,051378	-14,0615	45,73364
0,0355	0,04	0,063467	38,63388	-20,6897
0,0355	0,08	0,045236	-9,42569	-14,2857
0,065	0,04	0,090471	-73,5646	67,03297
0,0251	0,03	0,045236	43,54099	-97,1831

Таблица (3.7)

Факторный анализ, с целью выявления влияния руслового потока на
пойменный

	$n_{р.б.}$	$n_{ср.}$	$\alpha_{град.}$	$h_{п}$	$v_{р}$	$B_{п}$	$n_{п.р.}$
Сож-Славгород.	0,024	0,05	10	0,25	0,64	1980	0,0235
Масляная- Семшино.	0,055	2	2	0,15	0,71	53,3	0,049
Сережа-Лесуново.	0,075	0,07	5	1,05	0,3	8	0,0129
Десна-Разлеты.	0,033	0,05	-15	0,4	0,69	335	0,0375
Томь-Светиловка.	0,018	0,05	8	2,1	0,75	1870	0,091
Алатырь- Тургенево	0,046	0,033	10	1,96	1,2	1420	0,075
Мокша-Майдан.	0,023	0,05	-10	0,75	0,86	84,5	0,055
Птич-Лучицы.	0,03	0,065	5	0,082	0,054	542	0,033
Илия-Владыки.	0,059	0,03	-15	0,36	0,69	32	0,025
Ольшанка- Богданово.	0,41	0,33		0,92	1,12	39	0,021
Неман- Смалининкай.	0,073	0,035	-15	2,7	1,61	810	0,035
Друть-Городище.	0,046	0,04	30	3,17	0,71	870	0,0608
Ула-Зарвино.	0,039	0,07	-5	1,29	0,9	10	0,0355
Емца-Ждм.	0,035	0,039	-10	0,54	0,67	86	0,038
Горынь-Онежин	0,023	0,039	-10	0,4	0,52	262	0,014
Перехода- Подносье.	0,028	0,33		0,52	0,74	53	0,022
Пра-Деулино	0,028	0,065		0,68	0,8	2000	0,03

Пьяна-Камкино	0,026	0,033	-45	1,7	1,1	635	0,022
Амур-Кумора	0,024	0,04	4	2,48	2,78	165	0,0295
Партизанская- Молчановка.	0,026	0,065		0,3	2,44	37,7	0,082
Казачка- Пучиловка.	0,061	0,05	-5	1,54	0,94	86	0,087
Марьевка- Покровка.	0,025	0,1		1,23	1,24	216	0,0886
Борисовка- Корсаковка.	0,047	0,04	8	0,74	1,28	82,5	0,036
Малиновка- Ракитное.	0,021	0,08	-10	0,99	2,16	352	0,0154
Немпту-Теплый.	0,024	0,02		0,26	1,53	42,1	0,029
Черная- Черноручье.	0,029	0,04		1,2	2,63	84	0,0251
Черная-Черн.		0,04	22	1,41	2,31	320	0,095
Шешупе-Долгое		0,03	5	1,28	1,06	57	0,039
Кобра-Короткие.		0,07		1,6	0,77	340	0,068
Горынь-Держано		0,039	33	0,65	0,66	1307	0,026
Сула-Лубны.		0,035	-25	0,68	0,9	80	0,035
Родостовка- Трайцо		0,05	-35	0,4	0,7	36,7	0,117
Варгаша- Дарзниески.		0,06	22	0,86	0,59	43	0,04
Бобр-Куты.	0,044	0,033	20	0,47	0,5	164	0,044
Горная- Март.Поляна.		0,05	10	0,58	1,48	45,6	0,047
Кивда- Новороайчихинск.		0,033	10	0,72	0,49	113	0,093

Таблица (3.8)

Вклад факторов в дисперсию

Название фактора	Факторы	Вклад фактора в %	Суммарный вклад в %
$n_{р.б.}$	1	28,9	28,9
$n_{ср.}$	2	22,4	51,3
$\alpha_{град.}$	3	16,7	68,0
$h_{п}$	4	13,0	81,1
$v_{р}$	5	10,1	91,1
$B_{п}$	6	6,6	97,7
$n_{п.р.}$	7	2,3	100

Таблица (3.9)

Факторные нагрузки

Факторы Назв. фактора	1	2	3
$n_{р.б.}$	0,271	0,173	0,837
$n_{ср.}$	0,327	-0,187	0,408
$\alpha_{град.}$	-0,619	0,059	0,364
$h_{п}$	-0,324	0,809	0,173
$v_{р}$	-0,220	0,717	-0,322
$B_{п}$	-0,903	-0,083	0,188
$n_{п.р.}$	-0,700	-0,566	-0,028

Таблица (3.10)

Ошибка определения $n_{п}$ при использовании таблиц.

	$n_{п.р.}$	$n_{т}$	S%
1	0,0235	0,05	-112,8
2	0,049	0,05	-2,0
3	0,0129	0,07	45,7
4	0,0375	0,07	-20,7
5	0,091	0,05	-33,3
6	0,075	0,05	45,1
7	0,055	0,033	56,0
8	0,033	0,05	9,1
9	0,025	0,065	-97,0
10	0,021	0,03	-20
11	0,035	0,33	-47,14
12	0,0608	0,035	0,0
13	0,0355	0,04	34,2
14	0,038	0,07	-97,2
15	0,014	0,031	56,9
16	0,022	0,039	-2,6
17	0,03	0,039	-178,6
18	0,022	0,033	-50,0
19	0,0295	0,065	-116,7
20	0,082	0,05	-50,0
21	0,087	0,1	-35,6
22	0,0886	0,04	20,7

23	0,036	0,08	42,5
24	0,0154	0,02	-12,9
25	0,029	0,04	-11,1
26	0,0251	0,01	-41,9
27	0,095	0,04	31,0
28	0,039	0,03	-59,4
29	0,068	0,07	-42,9
30	0,026	0,039	57,9
31	0,035	0,045	23,1
32	0,117	0,035	-2,9
33	0,04	0,05	-50
34	0,044	0,06	-18,4
35	0,047	0,033	0,0
36	0,093	0,05	57,3

Заключение.

Проведенный анализ и расчеты позволяют сделать следующие выводы:

1. Что все известные по литературным данным методы расчеты пропускной способности пойм либо приводит к большим погрешностям, выходящим за пределы допустимых, либо для их использования необходим такой объем информации, которой проектировщики не располагают, и более того, методика их определения еще не разработана.
2. Наиболее распространенной и включенной в ряда СНиПов является методика расчета пропускной способности пойм, основанная на теории равномерного движения, т.е. на формуле Шези. Основным трудноопределяющим параметром при этом является $n_{\text{п}}$ - коэффициент шероховатости пойм. Последний рекомендуется определять по таблицам (М.Ф. Срибного, Дж. Бредли, Т.В. Чоу). Однако точность такого определения низкая и приводит к большим погрешностям расчетов. Так, отклонения для русловой части потока достигают 76% по таблице Т.В. Чоу (до выхода воды на пойму) 73% по таблице Бредли (после выхода воды на пойму). Наименьшее отклонение получены по таблицам Срибного М.Ф. Поэтому данные таблицы нуждаются в совершенствовании и уточнении.
3. Результаты оценки табличных значений коэффициентов шероховатости, получены на основе натуральных данных по 44 река, показали необходимость совершенствования и уточнения табличных значений коэффициентов шероховатости пойм.
4. Проведенный факторный анализ показал, что основными неучтенными в таблицах факторами является наличие протоков,

стариц, пойменных озер и других резких понижений рельефа пойм и растительности (характер, высота, густота и др.)

5. Дополнительный анализ указал на необходимость увязки значений коэффициента шероховатости с типом пойм, определяющим особенности их морфологического строения.
6. Установлена зависимость коэффициента шероховатости пойм от угла α между динамическими осям руслового и пойменного потоков, обычно приравниваемого к углу между геометрическими осями русла и пойм.
7. По мнению ряда авторов, доля стока пропускаемого поймой при наивысших уровнях затопления может достигать 80-90%, по мнению ряда авторов, а при пропуске максимальных расходов очень редкой обеспеченности (1%, 0,33%, 0,1%) по поймам свободного и незавершенного меандрирования даже все 100%, выполняя при этом функцию его регулирования. Исходя из этого, вопросы расчетов пропускной пойм являются одними из наиболее трудных в научном плане и крайне важными для практики.
8. Пойменный поток оказывает существенное влияние на скоростное поле руслового потока, смещая центр тяжести максимальных скоростей в сторону противоположную пойме.
9. Деформация поля скоростей руслового потока под воздействием пойменного показывает, что она в основном соответствует типу взаимодействия потоков.
10. Анализ натурных данных по деформации полей скоростей руслового и пойменного потоков подтверждает основные выводы полученные на моделях в зависимости от типа взаимодействия.
11. Проведенный анализ полученных данных показывает необходимость усовершенствования методики измерений и точности расчетов расходов и скоростей потока на реках с поймами. Так, на практике, часто в период весеннего половодья изменяется

местоположение вертикалей в створе. Также есть случаи необоснованного перехода измерения скоростей на пойменных вертикалях в одной точке. Все это снижает точность расчетов расходов, проходящих по пойме в паводок.

Список используемой литературы

1. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. - Л.: Гидрометиздат, 1984 – 280 с.
2. Барышников Н.Б; Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. - Л.: Гидрометиздат, 1988 – 426 с.
3. Барышников, Н.Б. Влияние поперечных перемещений масс жидкости на пропускную способность русел с поймами [Текст] / Н.Б. Барышников. – Л.: ЛГМИ, 1972. – 123 с
4. Гончаров, В.И. Динамика русловых потоков [Текст] / В.И. Гончаров. – Л.: Гидрометиздат, 1976. – 375с.
5. Барышников, Н.Б. Об учете взаимодействия руслового и пойменного потоков при построении и экстраполяции кривых расходов воды [Текст] / Н.Б. Барышников. – Л.: ЛГМИ, 1967. – 176 с.
6. Барышников, Н.Б. Поймы и пойменные процессы [Текст] / Н.Б. Барышников. – Л.: Изд. РГГМУ, 2006. –136 с.
7. Железняков, Г.В. Теория гидрометрии [Текст] / Г.В. Железняков. – Л.: Гидрометиздат, 1976. – 344 с.
8. Горбачев П.Ф. Формулы средней скорости. ОНТИ. – М – Л., 1936, 171с.
9. Ничепоренко С.Н. Определение коэффициента шероховатости лесокустарников на основе измерений их биометрических параметров: Материалы научной конференции по проблемам гидрологии рек БАМ и Дальнего Востока. – Л.: Гидрометиздат, 1986, 444-449с

10. Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды. – Труды ГГИ, 1965, вып. 128, 3-96с.
11. Соколов Ю.Н. Гидравлическое сопротивление пойм. – Водные ресурсы, 1980, №6, 143-154с.
12. Срибный М.Ф. Нормы сопротивления движению естественных потоков и расчет отверстий больших мостов. – М. – Л.: Госстройиздат, 1932, 148с
13. Расчеты паводочного стока. Методы расчетов на основе мирового опыта. Под ред. А.А. Соколова, С.Е. Рантца, М. Рома – Л.: Гидрометиздат 1978, 304с.
14. Чоу Т.В. Гидравлика открытых каналов – М.: Стройиздат, 1969, 464с.