



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 Гидравлика пойм

Исполнитель _____ Астапкович Андрей Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ Профессор, Доктор географических наук
(ученая степень, учное звание)

Барышников Николай Борисович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)

К.т.н., доцент
_____ (ученая степень, учное звание)
Несуд Д.С.
(фамилия, имя, отчество)

«23» июля 2017г.

Санкт-Петербург
2017

Оглавление	
Введение.....	2
Глава 1	3
1..... Обзор методов расчета пропускной способности русел с поймами	3
1.1..... Расчет пропускной способности русел с поймами без учета эффекта взаимодействия потоков в них	3
1.2..... Особенности режима сопротивлений на затапливаемых пойменных массивах. Постановка задачи.	17
Глава 2	20
2.1 Анализ исходной информации	20
2.2 Методика расчетов пропускной способности пойменных русел .	21
2.3 Расчет расходов воды	23
2.4 Расчет средних скоростей течения на вертикалях	28
Глава 3	39
3.1 Построение плана течений.....	39
3.2 Анализ	42
Заключение	44
Список использованных источников	46
Приложения	47
Приложение 1	48
Приложение 2	51
Приложение 3	57
Приложение 4	69

Введение

По данным Р.А. Еленевского поймы занимают 2-3% всей территории страны. Интенсивное их использование в народном хозяйстве приводит к резкому увеличению интереса к поймам со стороны исследователей, работающих в различных отраслях науки и техники.

Пойма – неотъемлемая часть реки, продукт её жизнедеятельности. Особенно велика роль пойм в пропуске паводков и половодий. На большинстве рек ущерб, причиняемый народному хозяйству наводнениями, достигает огромных размеров. Так наводнение, прошедшее в 2013 году на юге Дальнего Востока нанесло ущерб народному хозяйству страны в 527 миллиардов рублей. Эффективность мероприятий по борьбе с наводнениями повышается при использовании современного подхода к расчету пропускной способности пойменных русел, основанного на учете гидравлических сопротивлений. Особенно остро стоит вопрос разработки методических расчетов сопротивлений движению потоков в руслах сложенных форм сечения, где в последние годы вскрыто влияние на них эффекта взаимодействия руслового и пойменного потока.

Глава 1

1. Обзор методов расчета пропускной способности русел с поймами

1.1 Расчет пропускной способности русел с поймами без учета эффекта взаимодействия потоков в них

Расчет расходов воды по формуле Шези для русла с поймой, как единого целого дает резко отличающиеся от природы данные. Н.Н. Павловский предложил методику расчета пропускной способности сложносоставных русел путем делением их на отсеки в местах резкого изменения поперечного профиля или шероховатости.

$$Q = \sum Q_{i+1} = Q_p + \sum Q_{ni}$$

Или

$$Q = Q_p + Q_n = \omega_p C_p \sqrt{h_p I_p} + \omega_{ni} C_{ni} \sqrt{h_{ni} I_{ni}} \quad (1.1)$$

Где

ω - площадь живого сечения

C – коэффициент Шези

h – средняя глубина

I – уклон свободной поверхности индексы ,p' и ,n' соответствуют руслу и пойме

i – количество отсеков отличных по гидравлическим и морфологическим условиям.

Данная методика основана на ряде допущений:

1) Режим потока принимается равномерным и установившимся

2) Отсутствие надежной методики измерений уклонов водной поверхности пойменных отсеков, привело к необходимости сделать допущение о том, что $I_p = I_n$, которое может привести к большим погрешностям расчетов даже для относительно простого строения.

3) Коэффициент Шези в уравнении определяется с недостаточной точностью, что обусловлено большим количеством факторов, влияющих на его величину.

n – коэффициент шероховатости являющийся интегральной характеристикой различных видов сопротивлений, как правило, n определяется либо по натурным данным с помощью различных эмпирических формул, либо по описательной характеристики сопротивлений русел и пойм и соответствующим таблицам (Чоу, Брэдли и др.)

1.1.1 Методы, основанные на решение уравнений движения и неразрывности

Движение потоков в пойменных руслах – неустановившиеся. Дополнительным осложняющим фактором является интенсивный массообмен между русловыми и пойменными потоками. Поэтому данная задача является сложной и наиболее перспективным путем ее решения является применение систем уравнений неразрывности и движения потока с переменной массой.

Для условий одномерной идеализации общее сопротивление бесприточных участков рек принято описывать уравнением Сен-Венана

$$I = \frac{V^2}{C^2 h} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial(\alpha V)}{\partial t} \quad (1.2)$$

Правая часть этого уравнения представляет собой сумму частных уклонов, составляющих уклон водной поверхности:

$I_t = \frac{V^2}{C^2 h}$ - трение (уклон, учитывающий путевые сопротивления при равномерном движении потока)

$I_h = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{2g} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{2gF} \right) \approx \frac{\alpha Q^2}{2gL} \left(\frac{1}{F_H^2} - \frac{1}{F_B^2} \right)$ - дополнительный уклон, возникающий при неравномерном движении

$I_{ct} = \frac{1}{g} \frac{\partial(\alpha V)}{\partial t}$ - уклон при неустановившемся движении

Следовательно, уравнение (1.2) можно представить в виде:

$$I = I_T + I_H + I_{CT} \quad (1.3)$$

При переходе к руслам сложных форм сечения необходимо рассматривать уже уравнение движения потока с переменной массой в виде

$$I = \frac{V^2}{C^2 h} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial(\alpha V)}{\partial t} + \frac{(q_{\epsilon z} + q_p + q_c)V}{gF} \quad (1.4)$$

Уравнение (1.4) отличается от уравнения (1.2) только дополнительным членом в правой части, учитывающим массообмен ($q_{\epsilon z}$) между его русловой и пойменной частями потока, или другими составляющими потока, q_p боковой (склоновый) приток, $n/q_{вз}$ - член уравнения учитывающий эффект взаимодействия потоков. Дополнительный член уравнения можно переписать в следующем виде:

$$\frac{q_{\epsilon z} V}{gF} + \frac{q_p V}{gF} + \frac{q_c V}{gF} = I_{\epsilon z} + I_p + I_c \quad (1.5)$$

Тогда с учетом (1.3) и (1.5) уравнение (1.4) можно записать:

$$I = \sum_{i=1}^m I_i = I_T + I_H + I_{CT} + I_{B3} + I_P + I_C \quad (1.6)$$

В формулах (1.2-1.6) принять следующие обозначения:

V - средняя скорость потока

Q - расход воды

h - средняя глубина потока

l – расстояние между верхним (В) и нижним (Н) створами

q - расход воды на единицу длины потока

α и α' – коэффициенты Кориолиса и Буссинеска.

I – уклон водной поверхности

C – коэффициент Шези

Остальные обозначения общепринятые. Наибольшие значения имеют потери на трение, (I_T) которые являются сложной интегральной величиной. Величина эта зависит от ряда слагающих ее факторов, и может быть представлена в виде

$$I_T = I_{ш} + I_z + I_{\phi} + I_q \quad (1.7)$$

Также (1.7) можно выразить в следующем виде

$$\lambda_T = \lambda_{ш} + \lambda_z + \lambda_{\phi} + \lambda_g \quad (1.8)$$

$$n_T = n_{ш} + n_z + n_{\phi} + n_g \quad (1.9),$$

Где индексы обозначают:

‘г, - донные гряды;

‘ ϕ , - форма сечения;

‘ λ , - сопротивление выступов зернистой шероховатости;

‘ g , - дополнительного сопротивления.

Тогда с учетом (1.7) уравнение (1.6) можно представить в виде

$$I = I_{\text{ш}} + I_z + I_{\phi} + I_q + I_{CT} + I_{\text{вз}} + I_p + I_c \quad (1.10);$$

$$\lambda = \lambda_{\text{ш}} + \lambda_z + \lambda_{\phi} + \lambda_q + \lambda_{CT} + \lambda_{\text{вз}} + \lambda_p + \lambda_c \quad (1.11);$$

$$n = n_{\text{ш}} + n_z + n_{\phi} + n_q + n_{CT} + n_{\text{вз}} + n_p + n_c \quad (1.12),$$

где n – коэффициент шероховатости

λ – коэффициент сопротивления

Наиболее часто в расчетах сопротивлений естественных русел используются коэффициенты шероховатости, а для искусственных русел – коэффициенты сопротивления.

Для расчетов каждой составляющей правой части уравнения (1.10),(1.11),(1.12) предложены формулы или выполнена оценка их доли в общем сопротивлении. Однако попытка суммировать их значения может привести к большим погрешностям расчетов, так как точность вычисления каждой составляющей недостаточно высокая. Поэтому для расчетов пропускной способности русел рек и каналов, как правило, принимают какой либо один (n или λ) параметр (интегрально учитывающий все виды сопротивлений), который определяют по соответствующим таблицам и описательным характеристикам грунтов, растительности и др. по расчетному створу.

Для расчета пропускной способности русел с поймами при равномерном установившемся режиме движения используется формула Шези, близкий к равномерному движению, так называемый

квазиравномерный и квазиустановившийся режим, наблюдается в меженный период. При прохождении высоких паводков, когда пойма затапливается, режим потока весьма существенно отличается от равномерного и установившегося. Поэтому применение формулы Шези в этот период – определенное допущение.

В 1965 году Д.Е. Скородумов выполнил и тщательно проанализировал это допущение на основании дифференциального уравнения движения и неразрывности потока в открытом русле с переменным расходом:

$$I = \frac{V^2}{C^2 h} + \frac{\alpha_H V_H^2 - \alpha_B V_B^2}{2gL} + \frac{1}{g} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{QV}{Lg\omega} \quad (1.13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial L} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{Q'}{L} \quad (1.14)$$

Уравнение (1.13) представим в виде конечноразностных

$$I = \frac{V^2}{C^2 h} + \frac{\alpha_H V_H^2 - \alpha_B V_B^2}{2gL} + \frac{V - V_0}{g\omega} \frac{Q_H - Q_0}{L} + \frac{1}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1.15)$$

В этом уравнение приняты следующие обозначения:

L - продольная координата

t - время

V - средняя скорость

l – уклон водной поверхности

α - коррекция скорости

индексы «Н» и «В» обозначают соответственно нижний и верхний створы;

V_0 – проекция скорости притекающей или оттекающей масс воды на направлении средней скорости рассматриваемого потока:

Анализ членов уравнения (1.15) проведенный Скородумовым и Барышниковым Н.Б., на основе данных натуральных исследований, показал, что значение члена $\varepsilon_3 = \left(\frac{1}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t}\right)$, учитывающего нестационарность режима, невелико. Его значение составляет доли процента от уклона в паводочный период на равнинных реках. Максимальное значение для паводков равнинных рек составляет 5% уклона свободной поверхности. Роль этого члена особенно возрастает в период затопления пойм. Сказывается фактор нестационарности движения.

Значительно сложнее оценка членов уравнения, учитывающих затраты энергии потока за счет неравномерности режима его движения:

$\varepsilon_1 = \left(\frac{\alpha_H V_H^2 - \alpha_B V_B^2}{2gL}\right)$, и затраты энергии на массообмен. между русловыми и пойменными потоками: $\varepsilon_2 = \frac{V - V_H}{2\omega} \frac{Q_H - Q_B}{L}$ значение ε_1/I может достигать 55%, а ε_2/I - 20%

Данная методика имеет ряд недостатков. Основным из них является замена сложного пространственно потока одномерным с целью применения уравнения одномерной идеализации к решению поставленной задачи.

В 1969 году Г.В. Железняков предпринял попытку преобразования системы дифференциальных уравнений движения и неразрывности для расчета параметров потока в русле с поймой. Им была получена система уравнений в виде:

$$\begin{aligned}
& \int_0^{B-B_{к.э.}} \alpha_B V \frac{\partial V}{\partial L} \alpha b + \int_0^{B-B_{к.э.}} \alpha_B B_{к.э.} \frac{\partial V_{к.э.}}{\partial L} \alpha b + \int_0^B \alpha \frac{\partial V}{\partial L} \alpha b \\
& + +g \int_0^B \alpha_B B_{к.э.} \frac{\partial V_{к.э.}}{\partial L} \alpha b \\
& = glB - \int_0^{B-B_{к.э.}} \frac{V^2}{c^2 h} \alpha b - \int_0^{B-B_{к.э.}} \frac{V_{к.э.}^2}{c_{к.э.}^2 h} \alpha b, \\
& \int_0^B \frac{\partial h}{\partial L} \alpha b + \int_0^{B-B_{к.э.}} V \frac{\partial h}{\partial L} \alpha b + \int_0^{B_{к.э.}} V_{к.э.} \frac{\partial h}{\partial l} \alpha b + \int_0^B h \frac{\partial V}{\partial L} \alpha b = 0 \quad (1.16),
\end{aligned}$$

где $B_{к.э.}$ - Часть ширины потока, на которой наблюдается кинетический эффект.

$\alpha_{к.э.}$ и α'_B - Коэффициент Кориолиса и Буссинеска для вертикали;

L и b – элементы длины и ширина потока;

V – средняя скорость потока на вертикале;

к.э. – индексы, обозначающие, что расчет данного параметра ведется с учетом кинематического эффекта.

Решение Г.В. Железникова весьма интересно и оригинально, но для доведения его уравнений до расчетных необходимо провести, глубокие проработки, в частности по определению значений $B_{к.э.}$ и $C_{к.э.}$ и других характеристик потока в зоне действия кинематического эффекта. Н.Б. Барышниковым была разработана типизация процессов взаимодействия потоков в зависимости от особенностей морфологического строения расчетного участка и поймы. Им были предложены следующие уравнения:

$$I_p = \frac{V_p^2}{C_p^2 h_p} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_p V_p^2}{2g} \right) + \frac{q'_1 V_p}{g \omega_p} + \frac{\alpha'_p}{g} \frac{\partial V_p}{\partial t} + \frac{V_p m h_n \sin(H_p - H_n) \sqrt{2g |\Delta H|}}{g \omega_p} \quad (1.17);$$

$$I_n = \frac{V_n^2}{C_n^2 h_p} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha_n V_n^2}{2g} \right) + \frac{q'_2 V_n}{g \omega_n} + \frac{\alpha'_n}{g} \frac{\partial V_n}{\partial t} + \frac{V_n m h_n \sin(H_p - H_n) \sqrt{2g |\Delta H|}}{g \omega_n} \quad (1.18);$$

$$q'_{1+2} = (\omega_p + \omega_n) \frac{\partial (V_p + V_n)}{\partial l} + (V_p + V_n) \frac{\partial (\omega_p + \omega_n)}{\partial l} + \frac{\partial (\omega_p + \omega_n)}{\partial t} \quad (1.19),$$

где q'_1 и q'_2 расходы воды на единицу длины потока, характеризующие массообмен и приток в русло, и пойму со склонов долины.

$$q'_1 = q + q_1$$

$q'_2 = q + q_2$, где q – расход воды на единицу длины потока, учитывающий массообмен между русловым и пойменным потоками; q'_1 и q'_2 – боковой приток соответственно в русло и пойму со склонов долины (на единицу длины потока) ΔH – перепад уровней между руслом и поймой

m - коэффициент водослива, зависящий от угла α

$$\sin(H_p - H_n) \begin{cases} +1 & H_p > H_n \text{ второй тип взаимодействия потоков} \\ 0 & H_p = H_n \\ -1 & H_p < H_n \text{ третий тип взаимодействия потоков} \end{cases}$$

Пренебрегая величиной $\varepsilon_3 = \frac{\alpha'_{p,n}}{g} \frac{\partial V_{p,n}}{\partial t}$ для руслового и пойменного потоков, а также $\frac{\partial(\omega_p + \omega_n)}{\partial t}$, уравнение учитывает неравномерное и квазиустановившееся движение. Данная система уравнений учитывает морфологические особенности расчетного участка.

Из анализа вытекает, что уравнение (1.19), выражающий закон сохранения массы, в нем эффект кинематического взаимодействия руслового и пойменного потоков не учитывается.

Указанный эффект может быть учтен только в трех членах уравнений (1.17) и (1.18)

1) $\frac{v^2}{c^2 h}$ – основной член уравнения, параметром которого, учитывающим дополнительные сопротивления за счет кинематического эффекта, является коэффициент Шези

2) $\frac{\partial \alpha_{p.n.}}{\partial l} \frac{1}{2g}$ – конвективный член уравнения, учитывающий неравномерность движения потока, $\alpha_{p.n.}$ коэффициенты не могут быть приняты постоянными, ибо они резко изменяются при слиянии отсеков и увеличении уравнений воды, а для пойм могут достигать значений равных 2,5 – 3,0. Таким образом, кинематический эффект в данном члене уравнения может быть учтен через значения коэффициентов α_p и α_n .

3) $\frac{V_m \sqrt{2g|\Delta H|} h_n \sin(H_p - H_n)}{g\omega}$ – данный член уравнения учитывает массообмен между руслом и поймой. Влияние кинематического эффекта определяется коэффициентом m , зависящим от угла α пересечения динамических осей руслового и пойменного потоков.

Система уравнений (1.17) и (1.18) является дальнейшим развитием предложений Скородумова, учитывая не только влияние пойменного потока на русловую, но и русловую на пойменный.

В тоже время в ней учитывается влияние морфологии русла и пойм на гидравлику руслопойменного потока, через значение коэффициентов

$$m = f(\alpha), C_{p.n.} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.b.}}, \alpha, \frac{B_n}{B_p}, \frac{n_n}{n_p} \text{ и } \partial p.\right)$$

К сожалению, применения данной методики связано с рядом сложностей в оценке и расчет членов уравнения, l_n – задаваемых отсутствием данных об уклоне водной поверхности на пойме, а также низкой точностью измерений на поймах в период половодья.

1.1.2 Методы расчета пропускной способности русел с поймами, основанные на экспериментальных и натурных данных.

Большинство работ посвящено разработке методики расчета пропускной способности русел с поймами при параллельности динамических осей потоков в них. Они основаны на ведении поправочных коэффициентов, учитывающих эффект взаимодействия руслового (K_p) и пойменного (K_n) потоков, к составляющим расхода воды в виде:

$$Q = K_p Q_p + K_n Q_n \quad (1.19)$$

Для расчета значений K предложено большое количество формул, которые учитывают уменьшение расхода в русле под влиянием потока поймы. Так Ле Ван Киен предлагает следующие выражения для расчета значений коэффициентов.

$$K_p = \sqrt{\frac{8}{\lambda_p} \frac{(B_p+1)}{(B_p+\alpha_p)}}, \quad K_n = \sqrt{\frac{8}{\lambda_n} \frac{(B_n+1)}{(B_n+\alpha_n)}} \quad (1.20),$$

где B_p и B_n – относительная величина смоченного периметра русла (p) и поймы (n);

α_p и α_n – относительная величина касательного напряжения в русле и на пойме;

λ_p и λ_n – коэффициенты гидравлического трения потоков русла и поймы по длине.

Н.П. Спицын предложил расчет средней скорости всего потока (V') при параллельности динамических осей потоков считать по формуле:

$$V' = KV = K(\beta_p V_p + \beta_n V_n) \quad (1.21)$$

Здесь β_p и β_n – коэффициенты, учитывающие долю площади русла и поймы от всей площади сечения потока;

$$K = \frac{R_p}{R_{p.б.}} \left[1 - 0,56 \sqrt{\frac{\Delta V}{V} \frac{h_n}{R_{p.б.}} \left(\frac{B_p}{B_n} \right)^{0.25}} \right] \quad (1.22)$$

$R_{p.б.}$ – гидравлический радиус русла при уровнях его бровки;

ΔV – разность скоростей потоков в русле и пойме .

Железняков Г.В. предложил значения коэффициентов, K_p и K_n рассчитывать по формулам:

$$K_p = K'_p + K_{k.э.р}; K_n = K'_n + K_{k.э.н} \quad (1.23),$$

где K'_n и K'_p - учитывают влияние формы сечения русла на его пропускную способность, а $K_{k.э.н}$ и $K_{k.э.р}$ - кинематический эффект взаимодействия руслового и пойменных потоков.

Также Железняков предложил формулу для расчета пропускной способности русел с поймами в виде:

$$Q = \left(1 - \beta_{*p} C_{*p} \sqrt{\frac{I}{F_{гр}}} + K_{k.э.р} \right) Q_{р.ф.} + \left(1 - \beta_{*n} C_{*n} \sqrt{\frac{I}{F_{гн}}} + K_{k.э.н} \right) Q_{р.ф.} \quad (1.24),$$

где β_* - параметр учитывающий неравномерность измерения глубин;

C_* - коэффициент Шези, в который введена поправка, учитывающая форму сечения;

$$Fr = \frac{V_{пов}^2}{gn} - \text{число Фруда};$$

$V_{пов}$ - средняя поверхностная скорость;

$Q_{ф}$ – расход воды, рассчитанный по поверхностным скоростям;

$K_{k.э.} \approx 0,04 \div 0,08$ – коэффициент, учитывающий кинематический эффект взаимодействия потоков.

Им же была предложена формула для расчета пропускной способности русел с различной шероховатостью по ширине, которая может быть применена и для расчетов пропускной способности русел с поймами, в виде:

$$Q = Q_p + Q_n - (K'_p + K'_n)Q_6 \quad (1.25),$$

где K'_p и K'_n - параметры кинематического эффекта соответственно в русле и на пойме;

Q_6 – расход воды в русле при затопление его бровок. Методика Железникова является дальнейшим развитием методики, основанной на уравнение (1.19). Ее преимуществом является разработка рекомендаций для определения коэффициентов K'_p и K'_n в зависимости от глубин руслового и пойменного потоков. Однако она также нуждается в проверке и уточнение по данным натурных наблюдений.

Методика И.Ф.Карасева при достаточном затоплении поймы, когда глубина на ней h_n соизмерима с глубиной русла в пойменных бровках h_p (при $h_n > 0,8h_p$), то как показывает анализ данных наблюдений поток остается целостным (компактным) и к нему применимы расчетные зависимости, полученные для беспойменных русел. При меньших значениях h_n , поток расчленяется на русловой и пойменный фрагменты. На пойме замечено уменьшение скоростей течения, а в русле они, напротив, существенно увеличиваются. Отсюда возникает необходимость в отдельном расчете пропускной способности основного русла и поймы. В этом случае становится ощутимым увеличение гидравлических сопротивлений в результате турбулентного массообмена на границе руслового и пойменного, потоков, создающего кинематический эффект Г.В. Железникова. Между тем, в обычно применяемых методах расчета он не отражен: формулу Шези записывают отдельно для основного русла и для пойменных отсеков, предполагая, что они изолированы отсеками той же шероховатости, что и шероховатость дна.

Процент взаимодействие руслового и пойменного потоков можно оценить с помощью уравнения количества движения. Карасевым были получены выражения, корректирующие коэффициенты Шези C_0 :

$$K_c = \left[\left(\frac{gB_n}{gB_n \pm 2\varphi\alpha_v C_{0n}^2 \delta_v h_{бр}} \right) \right]^{0,5} \quad (1.26),$$

где B_n и B_p - ширина русла и поймы;

$h_{бр}$ – глубина на бровке русла (гребень прируслового вала), когда последний отсутствует $h_{бр} = h_p$ формула (1.26) содержит эмпирический коэффициент φ и две кинематические характеристики:

1) Относительный градиент сред них скоростей потоков в русле и пойме $\delta_v = \frac{V_p - V_n}{V_p}$

2) Отношение средних скоростей руслового и пойменного потоков $\delta_v = \frac{V_p}{V_n} = \frac{1}{1 - \delta_v}$

Зависимость (1.26) применяют отдельно для расчета средних скоростей течения в русле (при этом применяют $\delta_v=1$ и знак «плюс» в знаменателе) и на пойме (в знаменателе знак «минус»), если пойма односторонняя, опускают множитель.

Значения φ , δ_v и α_v отражают особенности взаимодействия, основанные на достаточно полных данных о структуре течений и положений их динамических осей. Для рассматриваемой задачи структуру течений можно разделить на два основных вида:

1) А – параллельное или близкое к нему положение динамических осей руслового и пойменного потоков

2) Б – сложное взаимодействие разнонаправленных течений в русле и на пойме

По данным наблюдений в 35 пойменных створах Карасеву Н.Ф. удалось оценить значение φ и δ_v для условий взаимодействия потоков:

$$\text{По схеме А - } \delta_v = 1 - 0,86 \left(\frac{h_n}{h_p} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{n_n}{n_p} \right), \varphi = 0.05$$

$$\text{По схеме Б - } \delta_v = 1 - 1,32 \left(\frac{h_n}{h_p} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{n_n}{n_p} \right), \varphi = 0.5$$

При достаточно больших значениях $\frac{h_n}{h_p}$ значение $\delta_v \rightarrow 0$, то есть исчезает внутреннее расчленение руслового и пойменного потоков.

Точность расчетов по формуле (1.26) оценена среднеквадратическим значением погрешности в пределах 15-30%. Эта формула получена при $n_n \leq n_p$ - наиболее часто встречающимся явлением торможение руслового и пойменного потоков. При $n_p > n_n$ возможно увеличение скоростей течения в русле по сравнению с условием отсутствия поймы. В общем случае реальная картина течений в пойме и русле значительно сложнее существующих схем.

В формуле (1.26) K_c означает то же, что и в формуле Ле Ван Киен (1.20) и является поправочным коэффициентом к формуле (1.19).

1.2 Особенности режима сопротивлений на затапливаемых пойменных массивах. Постановка задачи.

Пойма, по определению М. А. Великанова является частью русла, служащей для пропуска паводочных вод. Это определение было дополнено Барышниковым, который считает, что пойма – это часть русла служащая для пропуска и регулирования паводочных вод.

В отличие от русла она, как правило, имеет значительно большую ширину. На некоторых реках ширина поймы достигает нескольких десятков,

а иногда и сотен километров. Площади их поверхности также значительно превышают площади поверхности русел.

Русла с поймами являются частным случаем сложносоставных русел, отличительной особенностью которых является наличие двух и более потоков, движущихся с различными скоростями параллельно или под различными углами друг к другу. При взаимодействии таких потоков возникают дополнительные сопротивления, существенно изменяющие пропускную способность таких русел. Режим сопротивления движения потоков при различных уровнях затопления пойм будет разным.

Процесс затопления пойм зависит от их типа и, как правило, начинается с низовых прорывов, что вызывает течения на поймах противоположные русловым. При повышении уровней начинается поступление воды через верховые прорывы и на пойме образуются транзитные течения. При затоплении бровок прирусловых валов потоки русла и поймы, сливаясь, образуют единый руслопойменный поток. Взаимодействие руслового и пойменного потоков и образование единого транзитного потока происходит обычно при более высоких уровнях, чем средняя отметка поймы, соответствующих, как правило, максимальным расходам воды обеспеченностью, близкой к 1% -ной.

Для такого единого потока существенную роль будет играть кинематический эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Поскольку площадь живого сечения по длине реки существенно изменяется в связи с тем, что долина реки, представляет чередование сужений и расширений, следует учитывать тип процесса взаимодействия руслового и пойменных потоков.

В данной работе мы исходим из типичной ситуации, встречающейся на практике, когда исследователь располагает картографическим материалом,

морфометрическими характеристиками русел и пойм, а иногда и сведениями о меженных расходах воды, полученных в результате полевых измерений.

Задачей является разработка рекомендаций, по применению методики расчетов пропускной способности пойменных русел с учетом особенностей режима их сопротивлений и плановысотных морфометрических характеристик.

2.1 Анализ исходной информации

При выборе материалов, необходимых для решения поставленной задачи, мы исходим из следующих соображений.

1. Измеренные расходы воды должны соответствовать максимальному уровню. Таким образом, имея расход воды редкой повторяемости, мы выполняем условия образования единого транзитного потока и можем оценить сопротивление движения единого транзитного потока, его русловой и пойменной составляющих.

2. Затопление поймы должно наступать до периода интенсивной вегетации.

3. На расчетном участке отсутствуют мостовые переходы и другие гидротехнические сооружения.

4. Поймы рек не широкие $\left(B_n / B_p \right) < 10$, что позволяет рассматривать пойменный поток, как единый и с известными допущениями принимать равенство его уклонов водной поверхности уклоном русловых потоков.

5. Имеющиеся картографический материал должен быть качественным, крупномасштабным, чтобы иметь возможность оценки затопления пойменного массива как выше, так и ниже гидроствора.

Список рек используемых в работе.

Таблица 3.1

Река-Пункт	Дата	H, м	Q, м ³ /с	F м ²	V ср, м/с	V max, м/с	B, м	h ср, м	h max, м
Двинница - Котлакса	21,04,53	627,0	203,0	270,0	0,8	1,1	1,3	2,0	6,6
Горынь - Оженин	7,03,67	210,0	68,0	131,0	0,5	0,7	100,0	1,3	2,2
Десна - Разлеты	29,04,63	566,0	1160,0	1040,0	1,1	1,4	170,0	6,1	8,9
Селемджа - Усть-Ульма	28,07,72	802,0	7789,0	3160,0	2,5	2,7	339,0	9,3	12,4
Лежа - Бушуиха	29,04,55	574,0	181,0	211,0	0,9	1,0	52,9	4,0	5,5
Вычега - Пузла	17,05,76	484,0	172,0	182,0	0,9	1,5	62,0	2,9	4,5

2.2 Методика расчетов пропускной способности пойменных русел

Гидравлика пойм охватывает весьма широкий круг вопросов взаимосвязанных между собой, но практически представляющих самостоятельные направления:

1. исследование трансформации волн пропусков и паводков поймами
2. методы расчетов планов течений на них, расчет их пропускной и аккумуляющей способности
3. взаимодействие с русловым потоком и влияние на его пропускную способность
4. динамика затопления пойм,
5. расчет гидравлических сопротивлений и уклонов и др.

Как известно, пойма - сложное структурное образование характер ее рельефа, в целом зависящий от типа поймы, определяет ее гидравлику.

При высоких уровнях, близких к 1% - ной обеспеченности, превышающих отметку бровок прирусловых валов, когда русловой и пойменный потоки, сливаясь, образуют единый поток, происходит наиболее активный процесс их взаимодействия.

Пойма практически вся затоплена, за исключением отдельных повышенных останцев, образующих острова. В этой фазе наиболее полно проявляются взаимодействие руслового и пойменного потоков. Скоростное поле единого транзитного потока существенно трансформируется и в ряде случаев проявляется «кинематический эффект» безнапорного руслового и пойменного потоков. Поэтому нас интересует именно эта фаза.

Из анализа имеющихся материалов вытекает, что с ростом уровней, вес пойменной составляющей в общем расходе воды систематически возрастает. И достигает максимума при максимальных уровнях воды. Тенденция роста зависит от типа поймы ее размеров, взаимного расположения геометрических осей поймы и русла, определяющих, в конечном счете, положение их динамических осей и от других факторов. К сожалению, натурных исследований гидравлики пойм проведено крайне недостаточно. Существует множество методов расчета пропускной способности пойменных русел, в основном основанных на лабораторных данных. Получаем разнообразные графические зависимости, используемые для расчетов. Их эффективность, особенно для расчета пойменной составляющей невелика.

Поэтому необходимы дальнейшие теоретические и натурные исследования, пойменных процессов, направленные на совершенствование методов расчета гидравлики пойм и, в частности, их пропускной способности.

Для того что бы провести оценку пропускной способности пойменных русел с учетом особенностей режима их сопротивлений был проведен анализ, больших объемов натурной информации.

2.3 Расчет расходов воды

Имея исходные данные по шести рекам и описательные характеристики русла и поймы, по методике Манинга, были рассчитаны расходы воды. Коэффициент Шези в формуле (1.1) был рассчитан по формуле Манинга:

$$C_{p,n} = \left(\frac{1}{n}\right) h_{p,n}^{1/6} \quad (2.1)$$

Где n – коэффициент шероховатости, назначенный по таблицам Чоу и Карасева для русла, поймы.

$h_{p,n}$ - средняя глубина для русла, поймы.

Рассчитанные расходы воды были сравнены с измеренными и найдены погрешности расчетов (в процентах)

$$\sigma = \frac{\Delta Q}{Q_{\phi}} * 100\% = \frac{Q_{\phi} - Q_T}{Q_{\phi}} * 100\% \quad (4.2)$$

Таблица 4.1

Река-Пункт	n_n	n_p	C_n	C_p	$Q_n \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_T \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{\phi} \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma \%$
Двинница - Котлакса	0,032	0,022	30	51	50,4	249	299	249	20
Горынь - Оженин	0,04	0,04	22,2	26	27,7	49,33	77	129	41
Десна - Разлеты	0,038	0,038	34,6	35,6	805	1157	1962	1976	0,7
Селемджа - Усть-Ульма	0,044	0,039	24,8	37,2	340	4539	4879	8360	41,6
Лежа - Бушуиха	0,086	0,034	8	37,1	2,18	198	200	183	9,3
Вычега - Пузла	0,14	0,005	7,9	25	16,4	42,3	115	191	40

Где Q_{ϕ} – измеренный расход воды

Q_T – расчетный расход воды

Результаты приведены в таблице 4.1

Анализ данных (таблица 4.1) показывает, что на многих реках отклонения расчетных расходов воды от измеренных довольно существенны.

Вследствие чего это может быть? И как можно избежать этих погрешностей?

Недостаточная детализация описательных характеристик поверхностей пойм, необходимых для определения их сопротивлений и трудностями с получением дополнительной информации о них обычно приводит к необходимости использования коэффициентов шероховатости для пойм в целом без деления их на отсеки. Коэффициент шероховатости назначается без учета неоднородности распределения растительности. Кроме этого, при выборе коэффициентов шероховатости большую роль имеет фактор субъективизма. Это значит, что при выборе n , разные люди выбирают их различные значения. Так как диапазон значений n , приведенных в таблице Чоу, Карасева и др., велик, то это может привести к погрешности расчетов расхода воды до 170%.

Кроме того, существует множество факторов, не учтенных при выборе n , которые в значительной степени влияют на пропускную способность пойменных русел. Такими факторами являются:

1. Неравномерность движения
2. Неустановившийся режим
3. Искривление руслового потока
4. Взаимодействие руслового и пойменного потоков

Параметр n является некоторой интегральной характеристикой, зависящей от целого ряда факторов, учитывающих все многообразие

проявления сопротивлений движению потоков. Его можно представить в следующем виде:

$$n = n_0 + n_i + n_{i+1} \quad (2.2)$$

Где n_0 – основное значение n для однородного канала с гладкими стенками

n_i – параметр, учитывающий дополнительные сопротивления (неоднородность поверхности, влияние неравномерности движения, местные сопротивления, растительность и др.)

Таким образом, учет всех этих вышеперечисленных факторов, влияющих на пропускную способность пойменных русел, происходит через коэффициент шероховатости или другие какие-либо параметры.

Таковыми учивающими эффект взаимодействия потоков являются инерционные члены, входящие в состав уравнения движения для потока в отсутствие русле с переменным расходом $\varepsilon_1; \varepsilon_2; \varepsilon_3$.

Так ε_1 характеризует затраты энергии потока за счет неравномерности режима его движения, которые зависят от характеристик изменения площадей по длине реки.

ε_2 –затраты энергии на массообмен между русловым и пойменным потоками.

ε_3 – учитывает не стационарность движения. По данным Н.Б. Барышникова величина

$\left(\frac{\varepsilon_3}{I}\right)_{cp} \ll 1\%$ для водоемов в состоянии затопления, то есть с учетом точности измерений уклона водной поверхности в 10-15% она пренебрежимо мала.

Методы расчетов, основанные на применении уравнения движения и неразрывности потока в открытом русле с переменным расходом, требуют привлечения значительного объема исходной информации, которой, как правило, проектировщики не располагают. Поэтому их использование на практике затруднено. Таким образом, определение коэффициентов шероховатости осуществляется по соответствующим таблицам, как уже упоминалось, приводит к большим погрешностям расчетов.

Простое суммирование набора коэффициентов шероховатости, учитывающих те или иные факторы, влияющие на пропускную способность, так же приводит к большим погрешностям, а методики, основанные на уравнение движения и неразрывности потока с переменной массой, требуют, как уже упоминалось, большого объема исходной информации, которой проектировщики обычно не обладают.

Поэтому на кафедре гидрометрии были проведены исследования, направленные на получения поправок Δn к табличным значениям коэффициентов шероховатости (таблицы Карасева, Чоу и др.), учитывающих основные особенности морфологического строения русла и поймы на расчетном участке, в конечном счете, определяющие влияние эффекта взаимодействия потоков на указанные коэффициенты. Они в основном направлены на выявления зависимостей типа

$$\Delta n = f(h, \alpha); \Delta n = f\left(\frac{B_n}{B_p}, h\right); \Delta n = f\left(\alpha, \frac{B_n}{B_p}\right)$$

Так же были получены достаточно тесные графические зависимости $\Delta n = f(\alpha)$. Как известно, типы пойм соответствуют определенным типам руслового процесса.

Каждый тип пойм, находящийся в естественном состоянии и идентичных климатических условиях характеризуется определенным

рельефом, видом растительности, особенностями течений и другими свойственными ему чертами. Основными факторами, определяющими режим сопротивления пойм движению потоков, является рельеф, растительность и эффект воздействия на них русловых потоков. Поэтому различия в их сопротивлении могут определяться характером и типом воздействия русловых потоков и особенностями климата данного района. В тоже время рельеф пойм каждого конкретного типа, хотя и близок к своему строению, но в значительной степени зависит от возраста пойм. Тем более, что последний не только определяет особенности рельефа, но и продолжительность, глубину и периодичность их затопления. Однако определяющими факторами на широких поймах $B_n/B_p > 10$ является их рельеф и растительность.

Поэтому можно ожидать, что таким поймам должны соответствовать определенные величины коэффициента шероховатости, диапазон изменения которых сравнительно небольшой. Выводы, полученные на основе лабораторных и натурных данных по 50 постам системы Росгидромета и

графической зависимости $\Delta n = f\left(B_n/B_p\right)$, указывают, что воздействие

руслового потока на пойменный участок распространяется до значений равных пяти - шести ширинам русла. Следовательно, для участков пойм, шириной меньше $6 B_p$, при определении расчетных значений коэффициентов шероховатости необходимо учитывать дополнительные сопротивления, вызываемые взаимодействием руслового и пойменного потоков, которые необходимо ввести в соответствующие таблицы. Для определения величин соответствующих поправок Δn на основе исходной информации, были

получены графические зависимости вида $\Delta n = f\left(a, B_n/B_p\right)$

Разброс точек, соответствующих натурным данным, достаточно большой, что свидетельствует о необходимости учета дополнительных факторов для уточнения этой зависимости.

По всей видимости, для уточнения полученных зависимостей, необходимо рассмотреть дополнительные параметры, которые более полно характеризуют морфологические и гидравлические особенности расчетного участка.

2.4 Расчет средних скоростей течения на вертикалях

Имея в наличие данные об измеренных расходах при максимальном уровне воды во время половодья, то есть расход редкой повторяемости, на шести реках, был произведен расчет средних скоростей течения для каждой вертикали. Расчет производился по формуле Шези. Коэффициент шероховатости, как уже было сказано выше, назначался по таблицам Чоу и Карасева. Коэффициент Шези рассчитывался для каждой вертикали по формуле Агроскина.

$$C = 1/n + 17.72 \lg h \quad (4.4)$$

Формула была выбрана потому, что по данным в отличие от других формул, результат, получаемый при расчетах имеют меньшую погрешность. Так же были произведены расчеты n по формуле Павловского и Агроскина. Расчеты подтвердили выше сказанное

Уклон для потоков пойм и русла был принят одинаковым ввиду того, что $B_n/B_p < 10$.

После этого были построены зависимости:

$$V_p = f(B), h = f(B), V_{\text{изм}} = f(B)$$

где V_p – значение средних скоростей на вертикали, расчетные.

$V_{\text{изм}}$ – значение средних скоростей на вертикали, измеренные.

Выполняя анализ характеристик распределения средних на вертикали скоростей течения по ширине гидроствора с учетом формы профиля поперечного сечения, можно выделить следующий момент.

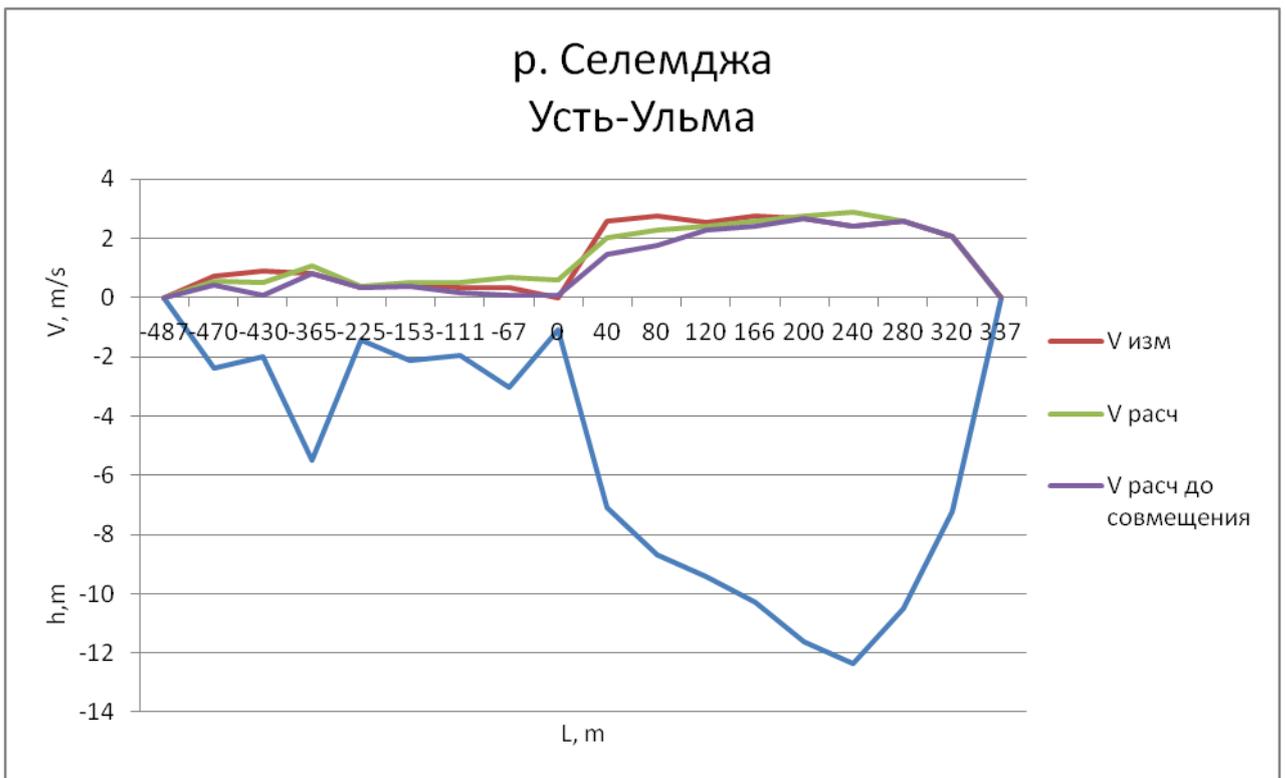


Рисунок 4.1

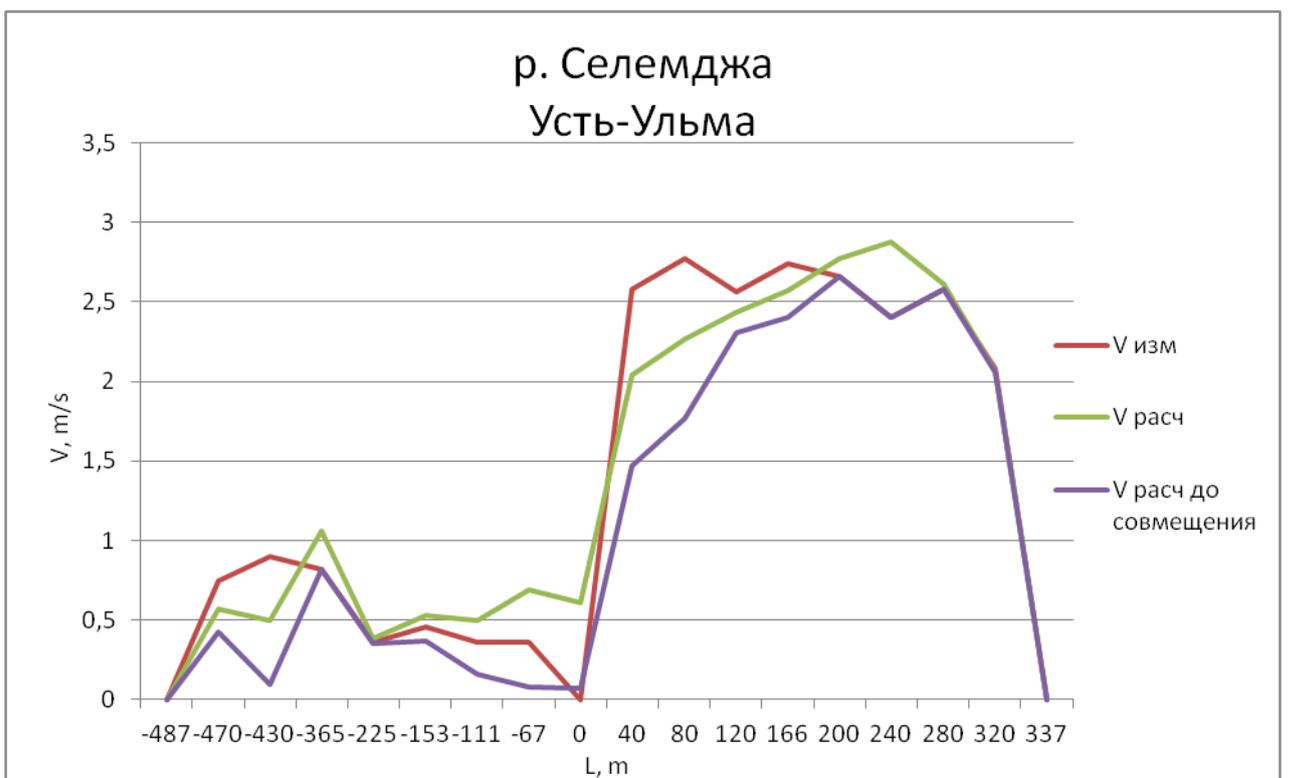


Рисунок 4.1.1

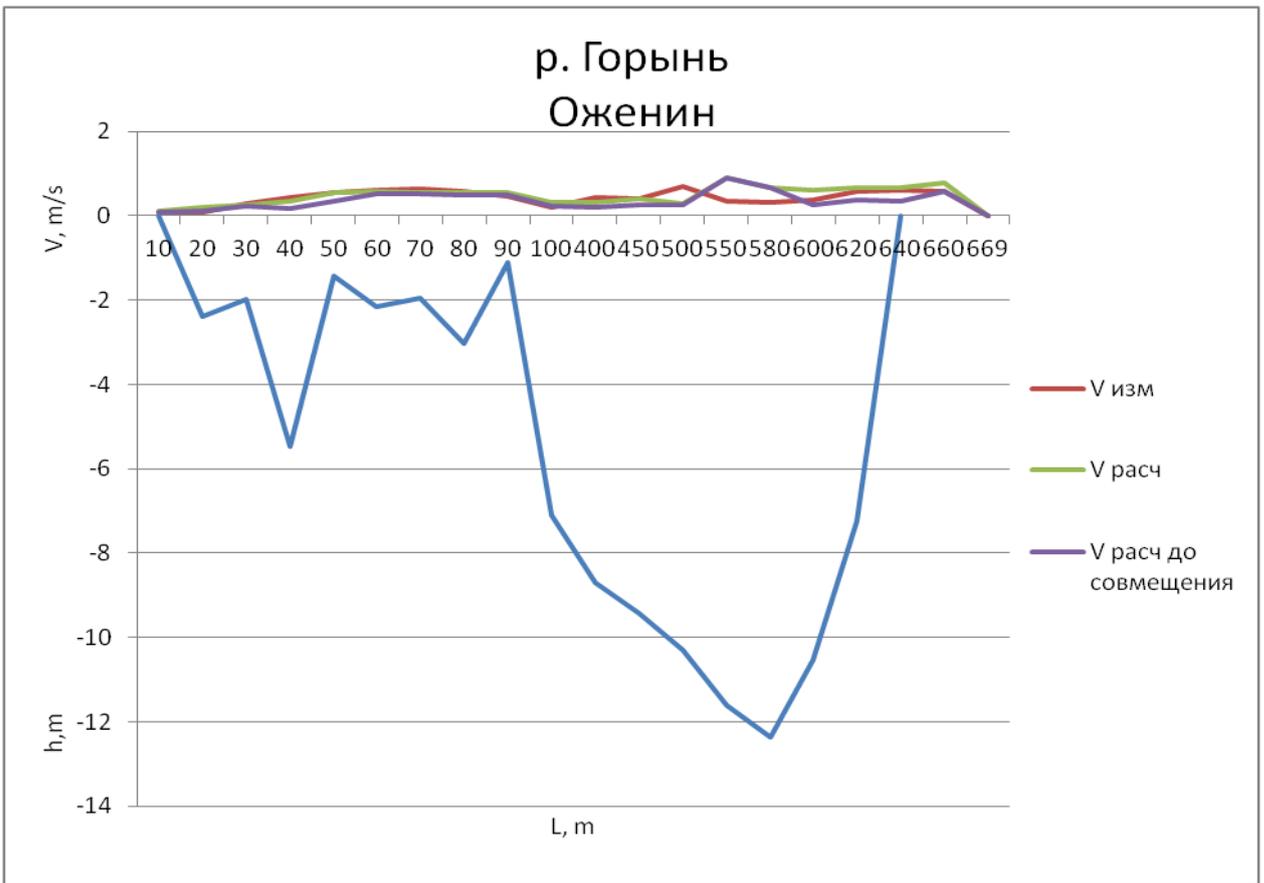


Рисунок 4.2

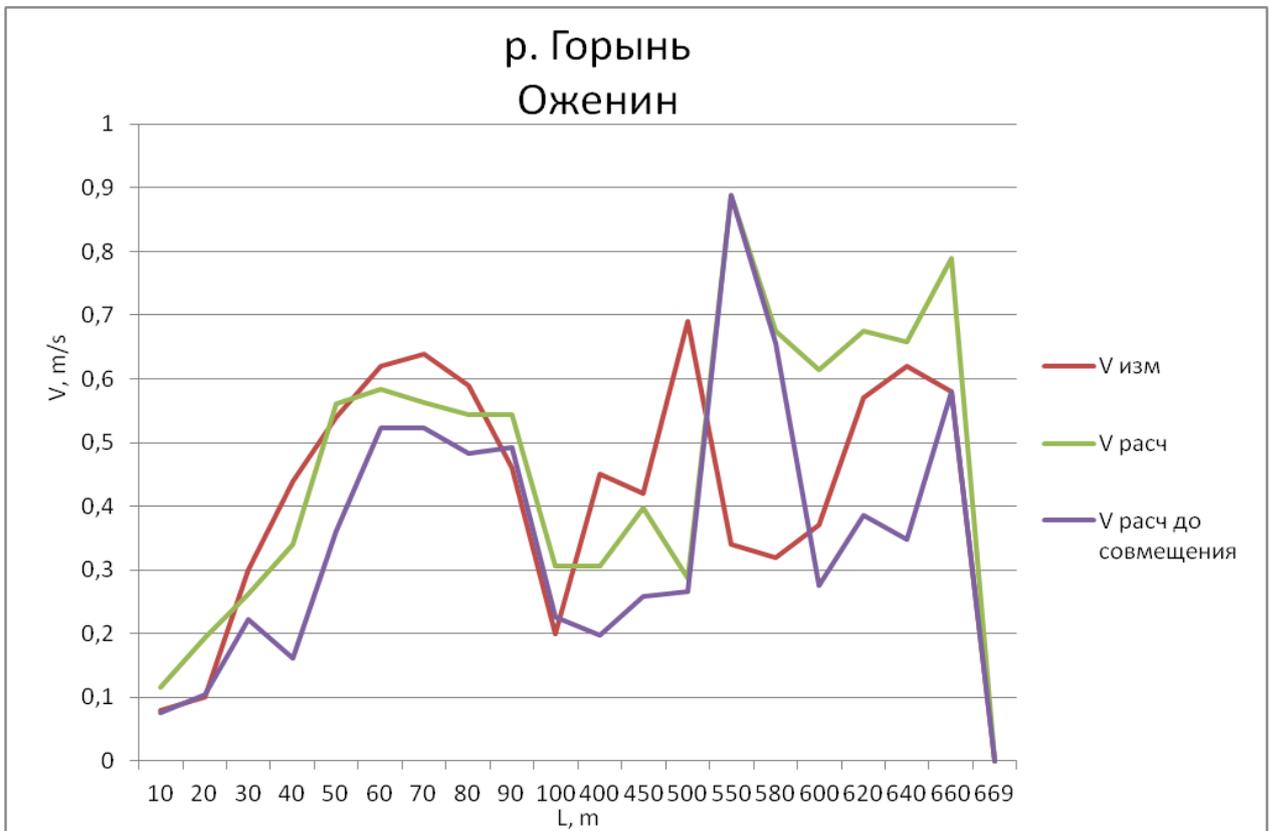


Рисунок 4.2.2

Необходимо учитывать типы взаимодействия потоков.

С этой целью по картографическим материалам был определен тип их взаимодействия для всех шести рек. Затем, исходя из того, что при втором типе взаимодействия происходит растекание масс жидкости руслового потока по пойме и отмечается некоторое увеличение средних на вертикалях скоростей в основном русле максимум скоростей смещается в сторону пойм с наименьшей шероховатостью. Аналогичная картина наблюдается на графиках для рек: р. Селемджа (4.1) и р. Горынь (4.2). Здесь также средние измеренные на вертикалях скорости несколько завышены в русле и смещены в сторону пойм, если их сравнивать с расчетными. Следовательно, исходя из выше изложенного и из анализа картографического материала, можно с уверенностью отнести эти реки ко второму типу взаимодействия руслового и пойменного потоков.

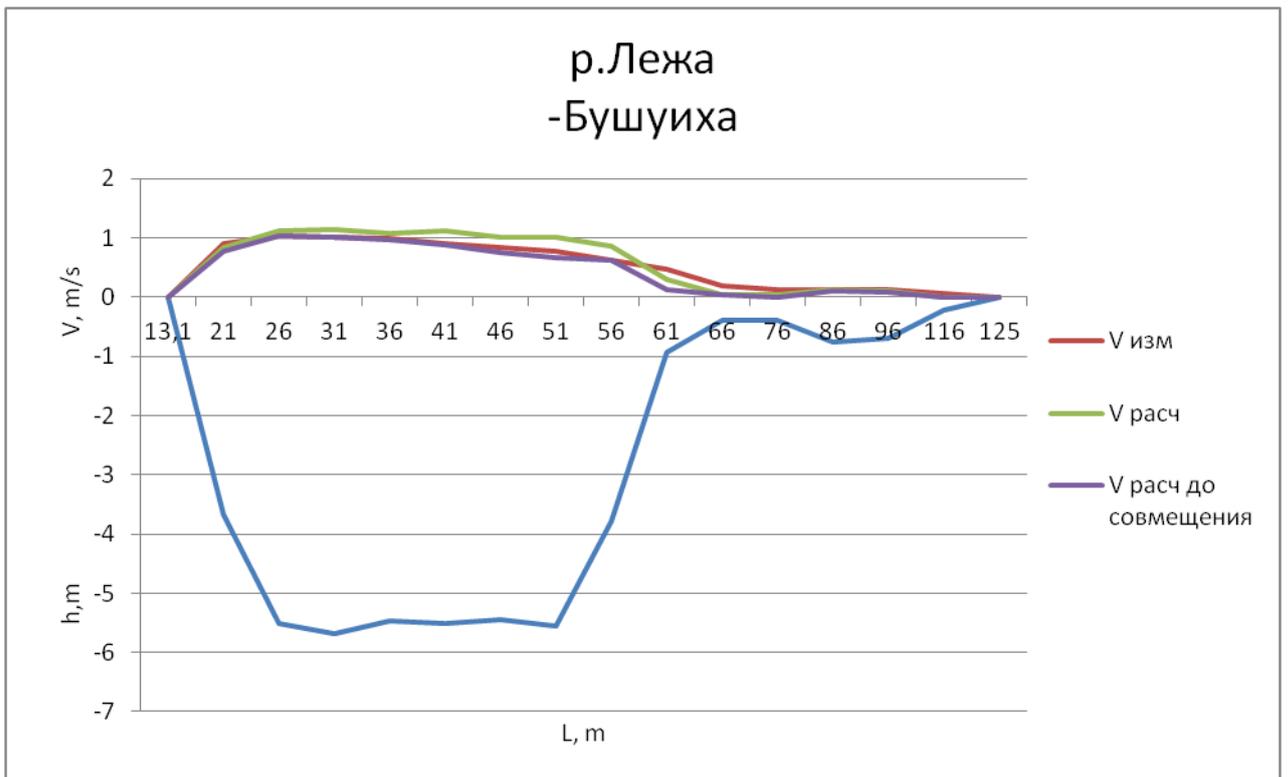


Рисунок 4.3

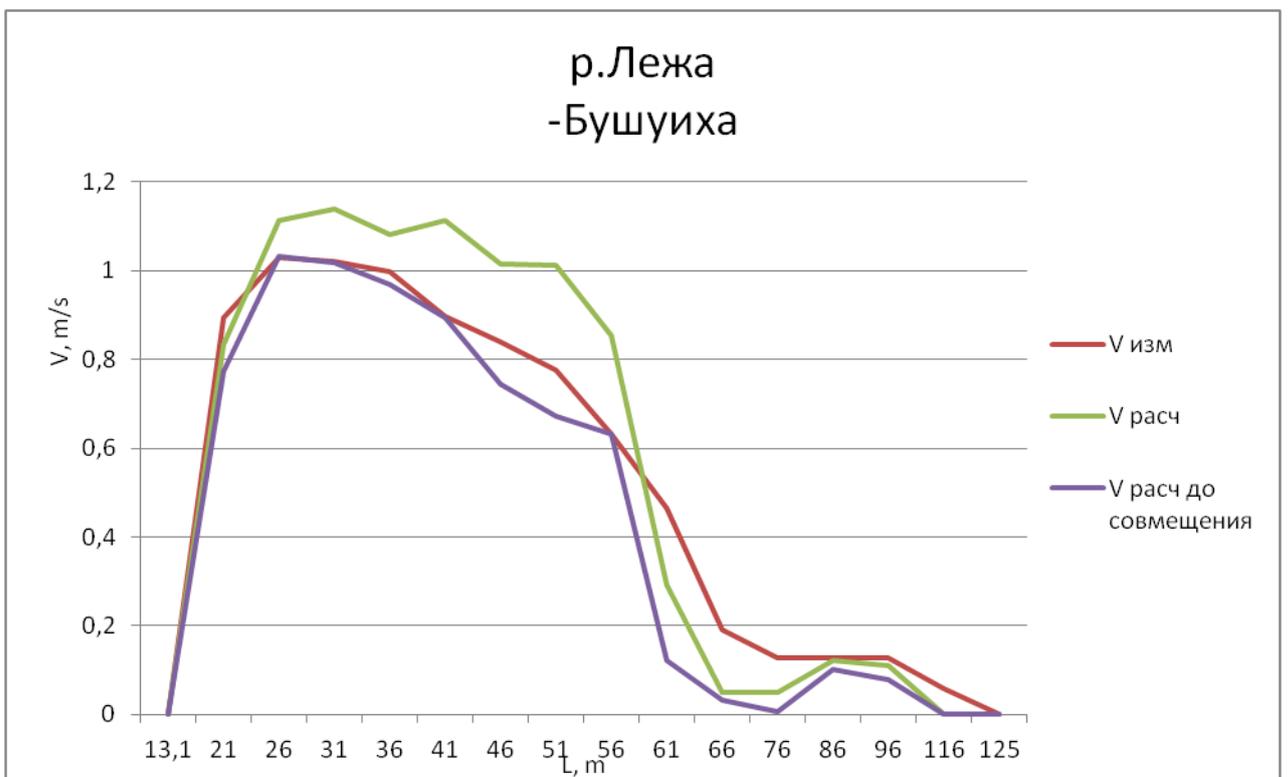


Рисунок 4.3.1

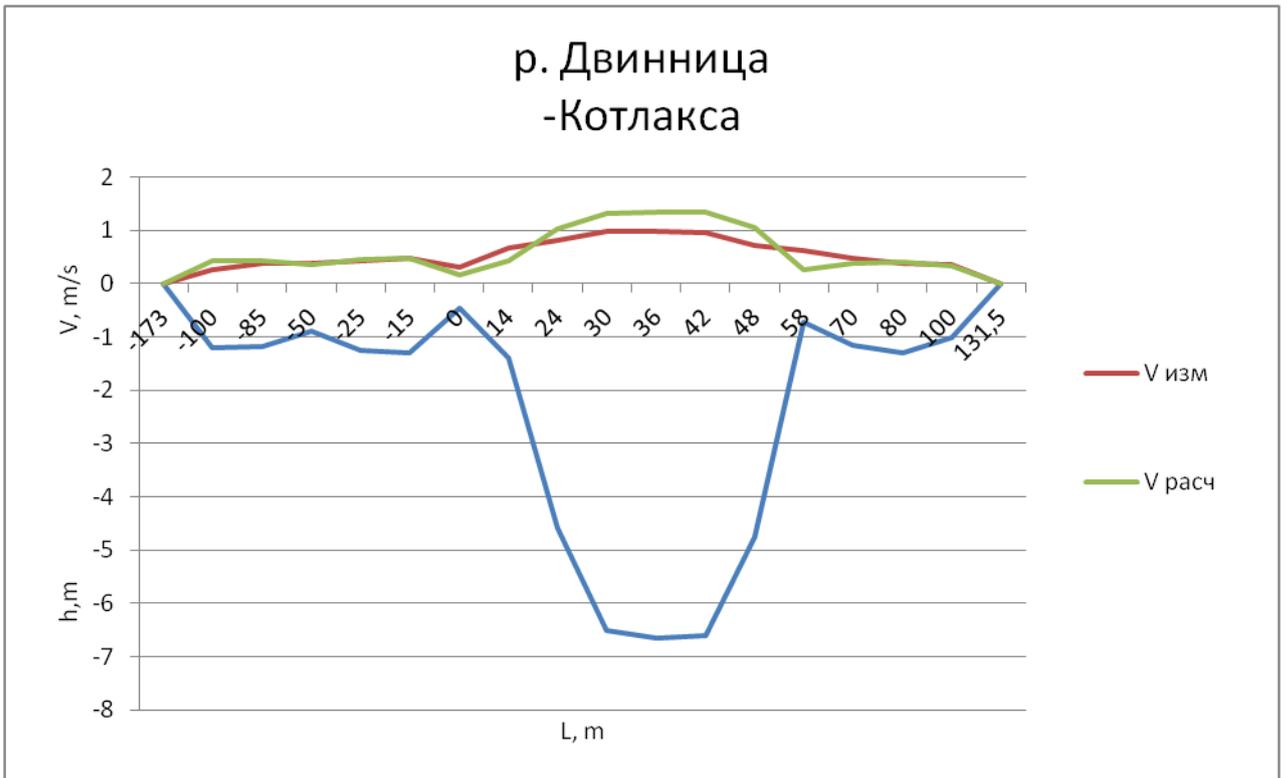


Рисунок 4.4



Рисунок 4.4.1

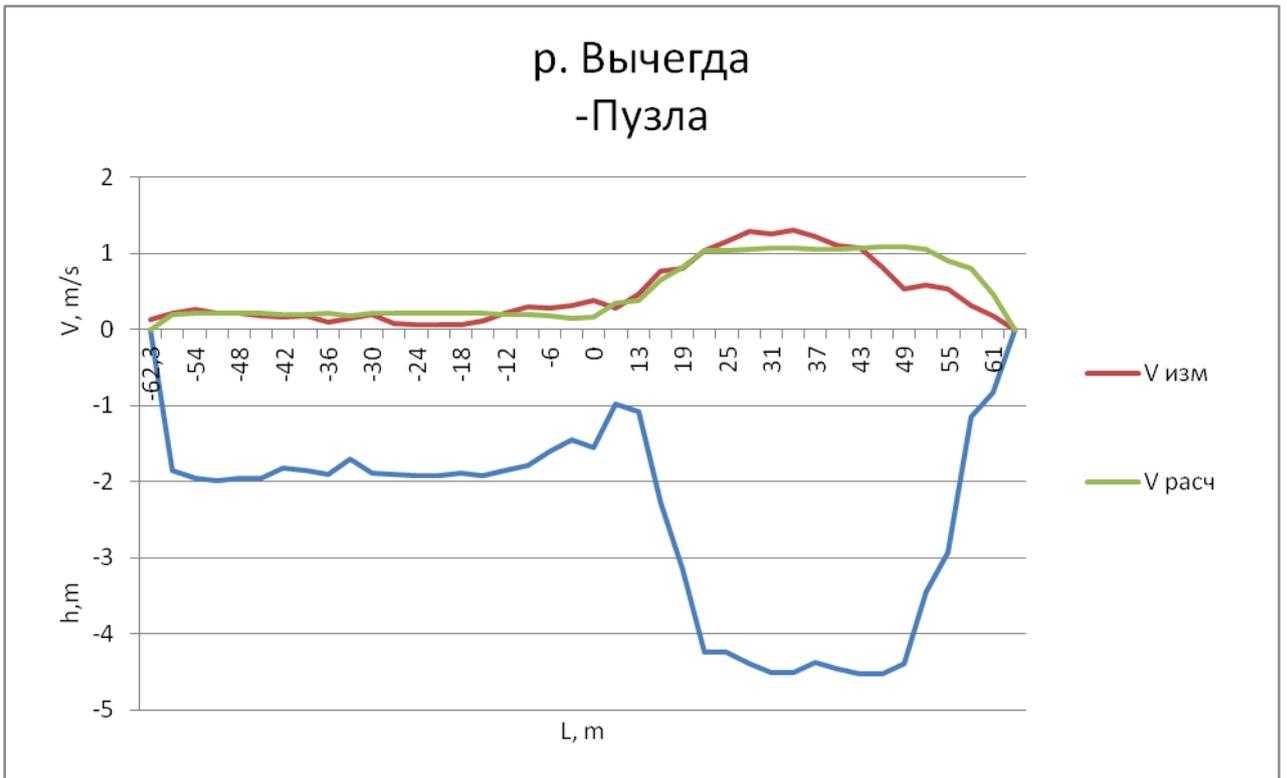


Рисунок 4.5

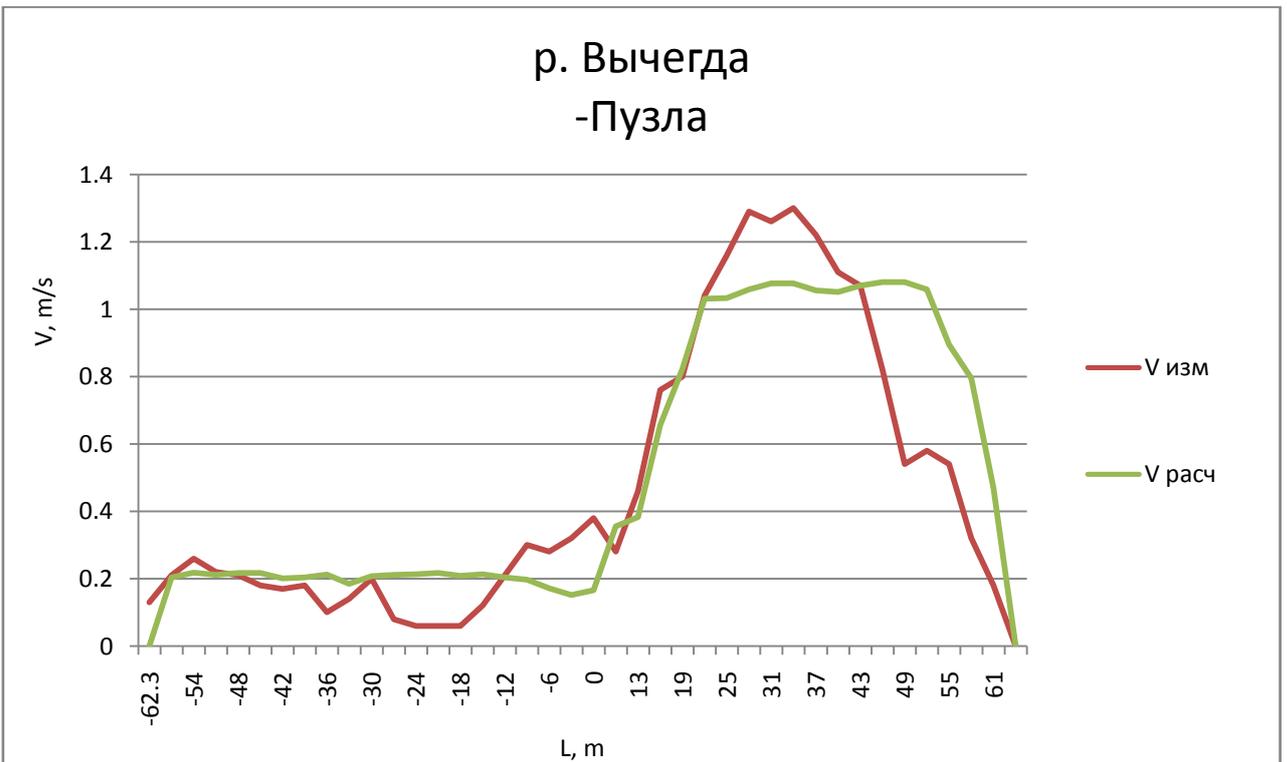


Рисунок 4.5.1

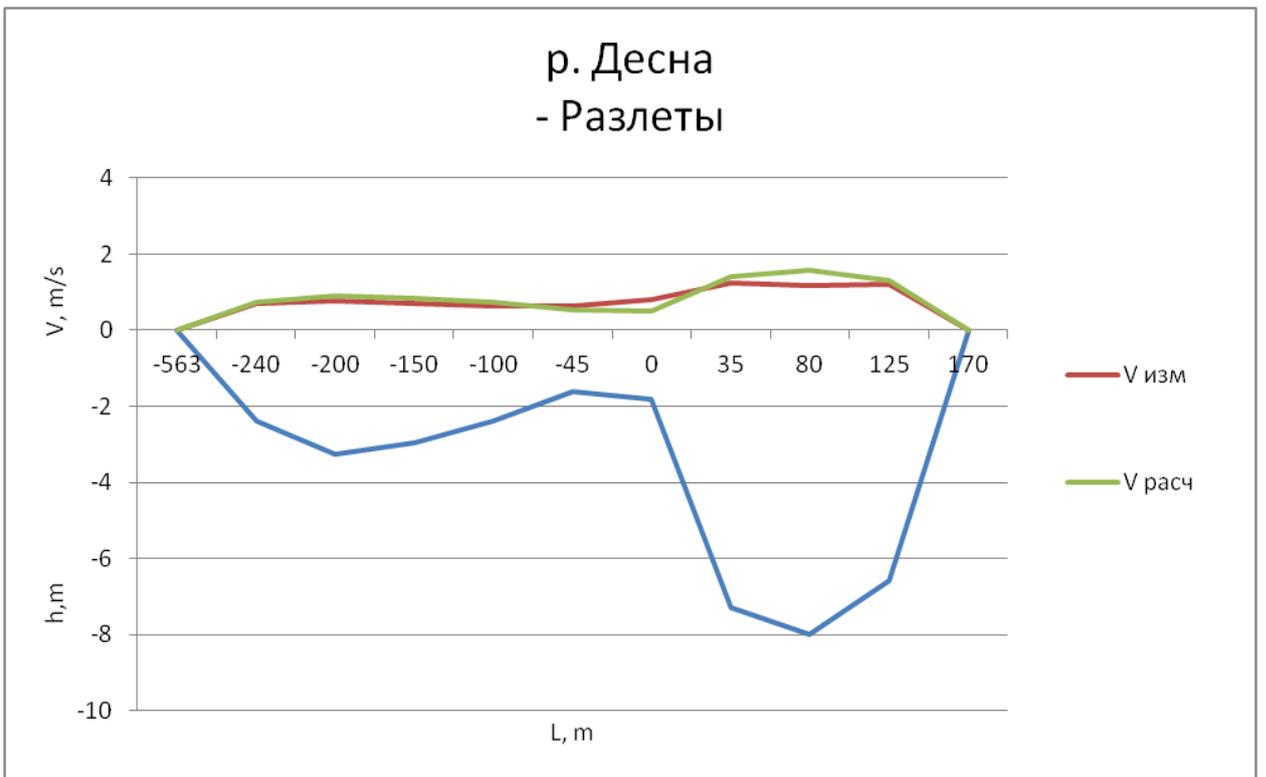


Рисунок 4.6

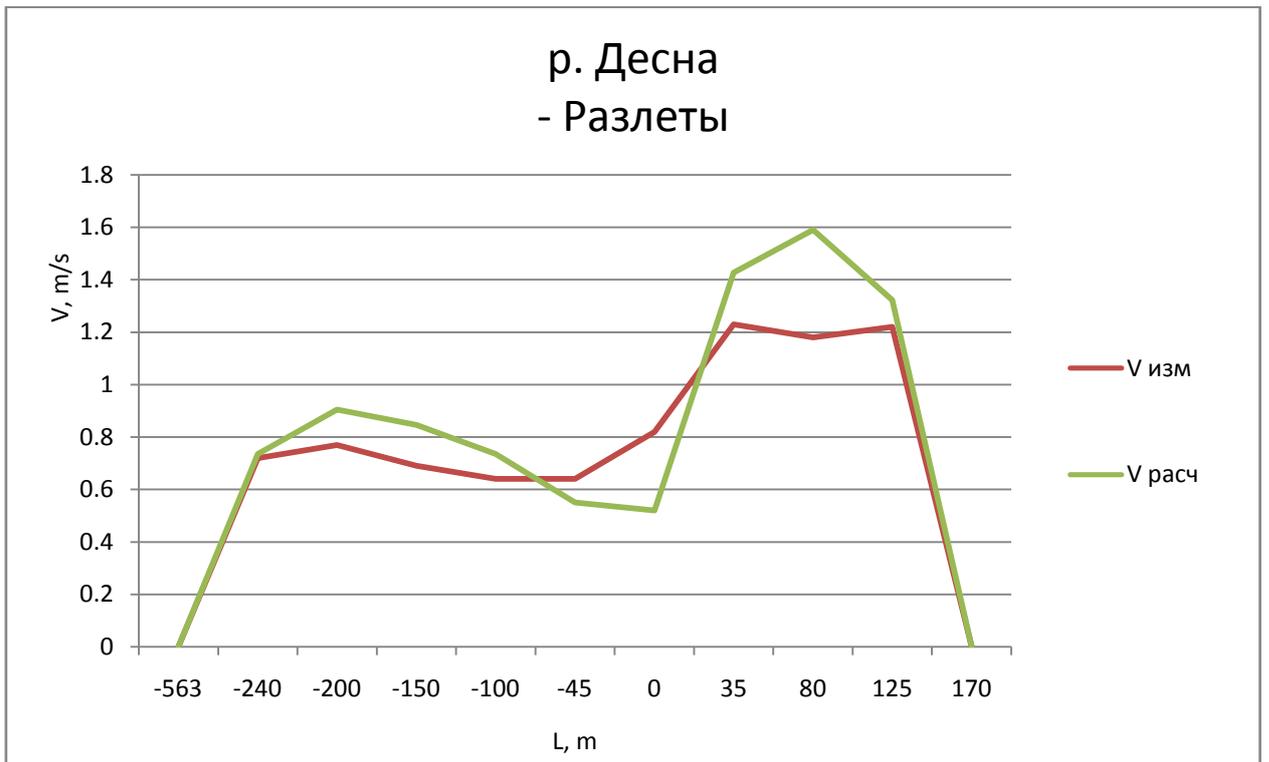


Рисунок 4.6.1

К третьему типу взаимодействия поток относится река Лежа. Как известно, этот тип характеризуется значительными деформациями поля скоростей. Масса пойменного потока вторгается в русло и тормозит поток в нем, что приводит к резкому уменьшению скоростей руслового потока (рис 4.3). На реке Двинница взаимодействие потоков происходит по первому типу, который характеризуется уменьшением максимума скоростей в русле примерно на 15% и его смещения к противоположному берегу поймы. Примерно такая же картина наблюдается на графиках (рис 4.4). Река Вычегда и река Десна имеют более сложные графические зависимости. По виду они попадают под второй тип взаимодействия потоков, но анализ картографического материала для р. Вычегда показал, что пойма на участке ниже расчетного створа сужается, то есть она попадает под третий тип. Для р. Десна аналогичная ситуация, становится неясно, какой тип взаимодействия, первый или второй. Для того что бы более точно определить тип взаимодействия необходимы более е детальные исследования.

Итак, сравнивая средние на вертикалях скорости, измеренные с расчетными, можно в некоторых случаях определить тип взаимодействия руслового и пойменного потоков и оценить величину эффекта этого взаимодействия. Но прежде чем оценивать этот эффект необходимо сначала избавиться от систематической ошибки, которая прослеживается на некоторых графиках (рис. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4), например река Лежа, река Селемжда, река Горынь. Здесь видно, что кривая распределения измеренных и расчетных средних скоростей на вертикалях по ширине русла идут параллельно и отличаются на какую-то постоянную величину. Можно предположить, что эта величина Δh . То есть погрешность, полученная при выборе коэффициента шероховатости по таблицам. Поэтому понижается измерения коэффициента шероховатости в допустимых таблицей пределах соответствующих для данных условий сблизить эти кривые друг к другу. А

это значит надо уменьшить разницу между измеренными и расчетными скоростями.

Таблица 4.2

Река-Пункт	n_n	n_p	C_n	C_p	$Q_n \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_p \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_T \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_f \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma \%$
Двинница - Котлакса	0,033	0,038	30	31	50,4	151	201	249	19,3
Горынь - Оженин	0,015	0,04	59	26	73,7	49,3	123	129	4,6
Десна - Разлеты	0,0333	0,038	35,8	35	833	1137	1970	1976	0,3
Селемджа - Усть-Ульма	0,044	0,022	26,4	37,2	362	7797	8159	8360	2,4
Лежа - Бушуиха	0,076	0,041	14,4	31,1	3,93	166	170	183	7,1
Вычега - Пузла	0,14	0,035	7,9	34,2	16,4	135	151	191	20,9

После того, как мы уменьшили разницу, между измеренными и расчетными средними на вертикалях скоростями был произведен вторичный расчет расходов воды. Расчетные расходы опять сравнены с измеренными расходами и была найдена погрешность. Данные приводятся в таблице 4.2.

Сравнивая с данными полученными при первом расчете до уточнения коэффициента шероховатости можно сделать следующие выводы:

Погрешность расхода для р. Селемжда уменьшается на 40%, р. Лежа уменьшается на 22%, р. Вычегда уменьшилась на 20%, р. Горынь уменьшилась на 34%. Также большие погрешности подтверждают выше сказанное. Большой диапазон значений при выборе из таблицы коэффициента шероховатости субъективизм присущий каждому при выборе коэффициента приводит к таким погрешностям в расчетах. Поэтому что бы исключить это, предлагается при выборе коэффициентов шероховатости строить графические зависимости.

$V_p = f(B)$ и $V_{изм} = f(B)$ на едином совмещенном графике как указывалось ранее и методом, который приводится выше постараться выбрать наиболее близкие к расчетным коэффициентам шероховатости. Это приведет к уменьшению погрешностей при расчетах.

3.1 Построение плана течений

Следующей частью нашей работы является построение плана течений по методу Н.М. Бернадского. Запросы практики нередко ставят задачу построения планов течений на участках, где условия плановой изменчивости движения не соблюдены. Распределения скоростей по ширине поймы представляет большой интерес. Описание метода Бернадского приведено в работах А.В. Караушева и К.В. Гришанина. По Гришанину суть этого метода состоит в следующем: на участке рек, где кривизна берегов невелика и рельеф дна имеет спокойный характер, движение речного потока удовлетворяет условиям плановой изменчивости. Для такого изменяющегося течения действительна гипотеза плоских сечений, то есть положение, согласно которому поверхности, ортогональные линиям тока, без существенной погрешности могут заменяться вертикальными плоскостями. Такие плоскости на плане течения изображаются прямыми линиями. Применение прямолинейных поперечников, которые можно не рассчитывать, а назначать существенно облегчают задачу построения планов течений. Если план течений строится для малых наполнений русла, когда на направление струй оказывает значительное влияние рельеф дна, ориентировка поперечников, должна соответствовать рельефу дна.

В частности, на перекатах направление поперечников должно быть близким к направлению гребня перекатного вала – направление, которое никогда не составляет прямого угла с линиями урезом.

В нашем случае, когда план течений строится для больших наполнений меженного русла, когда течения по всей ширине реки приблизительно параллельны берегам, поперечники проводятся нормально к геометрической

оси русла. В исключительных случаях, когда поток резко расходится вследствие какого либо сжатия в верхнем створе, в главном створе поперечники проводятся нормально к потоку.

Когда поперечники нанесены на план участка, остается разделить каждый из них на части, пропускающие равные доли общего расхода воды. Элементарный расход на вертикале равен

$$q = \frac{\sqrt{I_l}}{n} h^{5/3} \quad (3.1)$$

Суммарный расход первых i струй (считая от уреза, применяемого за начало поперечной оси) выражается интегралом

$$Q(b_i) = \int_0^{b_i} \frac{\sqrt{I_l}}{n} h^{5/3} ab \quad (3.2),$$

где b_i – поперечная координата линий тока, отделяющая эти i струи от общего потока

I_l – уклон реки

На участках рек с плавно изменяющимся движением воды допустимо считать, что продольный уклон, а также коэффициент шероховатости не меняется по ширине реки:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial I_l}{\partial b} &\approx 0 \\ \frac{\partial h}{\partial b} &\approx 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Поэтому в формуле (5.2) величина $\frac{\sqrt{I_l}}{n}$ может быть вынесена из под знака интеграла.

Сделав это, получим

$$Q(b_i) = \frac{\sqrt{I_l}}{n} \int_0^{b_i} h^{5/3} ab \quad (3.4)$$

b_i определяется по формуле

$$\int_0^{b_i} h^{5/3} ab = \frac{i}{N} \int_0^B h^{5/3} ab \quad (3.5),$$

где B – полная ширина реки

N - общее число струй. Интеграл, стоящий справа, будучи умножен на $\frac{\sqrt{I}}{n}$, дает полный расход реки

$$Q = \frac{\sqrt{I}}{n} \int_0^B h^{5/3} ab \quad (3.6)$$

Уравнение можно рассчитать графически. Построив график подынтегральной функции $h^{5/3} = f(b)$ и произведя графическое интегрирование, строят интегральную кривую

$$\int_0^B h^{5/3} ab = f(b) \quad (3.7)$$

И делят ее конечную ординату на N равных частей. Точки деления сносят на интегральную кривую, а затем на ось b . Когда такое построение проделано для всех расчетных сечений, точки деления переносятся на план участка, и соединяются плавной линией. Описанный способ был внедрен в практику расчетов М.А. Великановым и часто называется его именем. Сравнение с гидрометрическими данными показывает, что на участках с плавно изменяющимся движением, где действительными допущениями (5.3) этот способ дает вполне удовлетворительные результаты. В нашем случае формула (5.6) рассчитывается как

$$Q = I \int_0^B h^{5/3} ab \quad (3.8)$$

Это сделано затем, что бы учесть неравномерность распределения шероховатости по ширине поймы. Результаты расчетов приведены в таблице (2.1-2.5), графические зависимости показаны на рисунке (3.1-3.15)

План течений сделан для максимального уровня затопления. Расчеты произведены для пяти рек: Лежи, Селеджмы, Десны, Двинницы и Горынь интегральные кривые строятся для трех створов: верхнего, главного и нижнего.

Это делается для того что бы учесть влияние на главный, верхний и нижний створы. Выполняя анализ распределения стока по ширине (см. приложения) можно сделать следующие выводы.

3.2 Анализ

На реке Десне (рис. 4.2) при $H=566$ см наблюдается первый тип взаимодействия руслового и пойменного потоков отклонение расчетных значений средних на вертикалях скоростей от измеренных (рис. 4.6) объясняется влиянием гидротехнических сооружений находящихся на левом берегу. Основной поток почти равномерно распределен по всей ширине. На пойму приходится примерно 50% стока. Из вышеизложенного можно заключить, что влияние пойменного потока на русловой незначительно. В прирусловой ее части не должно наблюдаться кинематического взаимодействия потоков.

Река Селемджа (рис. 4.1) при $H=802$ см. Здесь наблюдается второй тип взаимодействия. При угле $\alpha = 10^\circ$ по пойме проходит примерно 25% объема стока половодья.

Река Горынь (рис. 4.4) при $H=210$ см, как и предыдущем случае здесь наблюдается второй тип взаимодействия. Верхний створ находится в подпоре. На верхний створ оказывает воздействие железнодорожный мост и насыпь. Поток, вырываясь из-под моста, расходится по пойме. В гидростворе мы наблюдаем 2 тип взаимодействия потоков, на пойму приходится примерно 75% стока. В 400 метрах от постоянного начала по плану участка в

основном створе наблюдается влияние возвышенности островного типа. Это объясняется отклонением кривой на графике $V_{изм} = f(B)$ от $V_p = f(B)$ для рек Селемджа и Горынь в районе гидроствора необходимо учитывать кинематический эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Река Лежа (рис 4.3) при $H=574$ см. План течений свидетельствует, что дно реки в районе гидроствора у деревни Бушуиха наблюдается 3 тип взаимодействия потоков.

Угол взаимодействия $\alpha \approx 25 - 30^\circ$. Происходит сход вод с поймы со смещением всего потока в сторону левого берега. По пойме фактически движение воды не наблюдается. Скорости малы. В русле проходит примерно 97% максимального расхода воды.

Необходимо учитывать кинематическое взаимодействие руслового и пойменного потоков в прирусловой части.

Река Двинница (рис. 4.5) $H=627$ см. Здесь наблюдается более сложная картина. Пойма двухсторонняя со стороны правого берега происходит незначительный сход воды с правой поймы и выход на левую пойму. Но угол взаимодействия невелик, примерно 3° . Этот случай можно отнести к 3 типу взаимодействия потоков. Кроме этого в прирусловой части с левой и правой стороны наблюдаются прирусловые вены (рис. 4.4). Все это исключает кинематический эффект взаимодействия потоков. По пойме проходит примерно 20% максимального расхода воды.

Заключение

Выполненный анализ и расчеты позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение формулы Шези, основанной на теории равномерного движения, к руслопойменным потокам приводит к большим погрешностям в расчетах пропускной способности пойм.

2. Гидравлика пойменных потоков определяется, как морфологическими особенностями строения русла и поймы на участках вблизи данного гидроствора (h , F , B), так и влиянием, этих особенностей на выше и ниже расположенные участки.

3. Выбор коэффициента шероховатости по соответствующим таблицам страдает субъективизмом, что усиливается низким качеством описательных характеристик. Это приводит к снижению качества расчетов.

4. Все известные методики расчетов пропускной способности пойм являются несовершенными и требуют коренной переработки на основе большого объема и более высокого качества исходной информации.

В результате проделанной работы можно сделать следующие предложения и рекомендации.

1. При выборе участка расположения гидроствора необходимо увеличивать размеры участка, который подлежит топографической съемке в крупном масштабе. Длина этого участка должна обеспечивать возможность определения различных морфологических образований.

2. Необходимо назначать несколько морфостворов, на которых на которых определяются планово-высотные характеристики и составляется детальное описание, с целью определения сопротивлений и назначения коэффициента шероховатости по одной их соответствующих таблиц.

3. Определять по топографическим материалам уклон дна долины (уклон свободной поверхности при $H_{p.б.}$)

4. Исключить систематическую погрешность определения коэффициента шероховатости, скорректировать их табличные значения по предложенной в работе методике.

5. Построить план течения по методу Бернадского, для того что бы уточнять тип взаимодействия и выявлять величину кинематического эффекта.

Следует ограничить пределы применения методики.

1. Участок реки в плане должен включать в себя, как сужения, так и расширения русла и поймы.

2. На пойме должен наблюдаться единый транзитный поток.

3. Относительная ширина B_n/B_p не должна превышать $6 \div 8$

ширины русла.

Список использованных источников

1. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. – Л: Гидрометеиздат, 1984г.
2. Барышников Н.Б., Попов И.В. Динамика русловых потоков и русловые процессы. – Л: Гидрометеиздат, 1988г.
3. Барышников Н.Б., Самусева Е.А. Системный подход к оценке сопротивления речных русел – СПб: РГГМИ, 1992г.
4. Барышников Н.Б., Карасев И.Ф., Исаев Д.И., Динамика русловых потоков. – Л: ЛПИ 1987г.
5. Барышников Н.Б. «Речные поймы. Морфология и Гидравлика», Гидрометиздат: Л 1978г.
6. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков – Л: Гидрометеиздат, 1962г.
7. Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление русел – СПб: Гидрометеиздат, 1992г.
8. Карасев Н.Ф., Коваленко В.В. Стохастические методы речной гидравлики и гидрометрии, СПб. Гидрометеиздат 1992г.
9. Расчетные гидрологические характеристики. Сборник научных трудов РГГМИ 1991г.
10. Спицын Н.П. «О взаимодействии потоков основного русла и поймы. Метеорология и гидрология» 1962г.
11. Барышников Н.Б., Исаев Д.И. «Русловые процессы», СПб 2014г.
12. Барышников Н.Б. «Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм», СПб 2012г.

Приложения

Приложение 1

Исходные и расчетные данные

р. Вычегда – Пузла, 17.05.76

номер в.	L, m	h, m	Vизм, м/с	n	C АГР	Vp м/с	h граф	γ	C Павл	V Павл	C	dV
урез	-62,3	0	0,13	0,14	0	0	1,85	0,561	0	0	7,916	0
20	-57	-1,85	0,21	0,14	11,88	0,204	1,96	0,486	9,634	0,17	7,992	0,07
19	-54	-1,96	0,26	0,14	12,32	0,218	1,98	0,486	9,909	0,18	8,006	0,01
18	-51	-1,98	0,22	0,14	12,4	0,211	1,95	0,486	9,588	0,17	7,986	0
17	-48	-1,95	0,21	0,14	12,28	0,217	1,95	0,486	9,884	0,17	7,986	0
16	-45	-1,95	0,18	0,14	12,28	0,217	1,85	0,486	9,844	0,16	7,984	0,01
15	-42	-1,82	0,17	0,14	12,78	0,201	1,9	0,486	9,558	0,16	7,916	0,02
14	-39	-1,85	0,18	0,14	11,88	0,204	1,71	0,486	9,632	0,15	7,958	0,03
13	-36	-1,91	0,1	0,14	12,12	0,212	1,88	0,486	9,785	0,17	7,805	0,03
12	-33	-1,7	0,14	0,14	11,23	0,185	1,9	0,486	9,246	0,17	7,937	0,07
11	-30	-1,88	0,2	0,14	12	0,208	1,92	0,486	9,71	0,17	7,951	0,07
10	-27	-1,9	0,08	0,14	12,08	0,211	1,95	0,486	9,76	0,17	965	0,13
9	-24	-1,92	0,06	0,14	12,16	0,213	1,89	0,486	9,81	0,17	7,986	0,16
8	-21	-1,92	0,06	0,14	12,28	0,217	1,92	0,486	9,632	0,17	7,944	0,16
7	-18	-1,89	0,06	0,14	12,04	0,209	1,85	0,486	9,482	0,17	7,965	0,15
6	-15	-1,92	0,12	0,14	12,16	0,213	1,79	0,486	8,975	0,17	7,916	0,14
5	-12	-1,85	0,21	0,14	11,88	0,204	1,6	0,486	8,558	0,17	7,872	0,08
4	-9	-1,79	0,3	0,14	11,62	0,197	1,45	0,486	8,84	0,17	7,772	0,01
3	-6	-1,6	0,28	0,14	10,76	0,172	1,55	0,486	28,41	0,17	7,6	0,13
2	-3	-1,45	0,32	0,14	10	0,152	0,95	0,486	29,11	0,17	7,985	0,01
1	0	-1,55	0,38	0,14	10,52	0,166	1,08	0,486	34,88	0,16	28,46	0,1
3	10	-0,98	0,28	0,35	28,42	0,356	2,27	0,281	37,48	0,14	32,75	0,2
4	13	-1,08	0,46	0,35	29,16	0,383	3,14	0,243	40,78	0,13	34,59	0,08
5	16	-2,27	0,76	0,35	34,88	0,656	4,23	0,243	40,6	0,36	36,86	0,23
6	19	-3,14	0,8	0,35	38,37	0,823	4,24	0,243	40,94	0,38	36,58	0,01
7	22	-4,23	1,04	0,35	39,67	1,032	4,39	0,243	41,19	0,66	36,78	0,1
8	25	-4,24	1,16	0,35	39,69	1,034	4,4	0,243	41,19	0,85	36,48	0,21
9	28	-4,39	1,29	0,35	39,96	1,059	4,5	0,243	40,9	1,06	36,98	0,18
10	31	-4,5	1,26	0,35	40,15	1,077	4,37	0,243	41,1	1,06	36,32	0,24
11	34	-4,5	1,3	0,35	40,15	1,077	4,46	0,243	41,24	1,09	36,15	0,15
12	37	-4,37	1,22	0,35	39,19	1,056	4,52	0,243	41,24	1,11	36,78	0,03
13	40	-4,46	1,11	0,35	40,08	1,052	4,52	0,243	40,94	1,08	36,49	0,01
14	43	-4,52	1,07	0,35	40,18	1,071	4,39	0,243	38,61	1,1	36,25	0,01
15	46	-4,52	0,82	0,35	40,18	1,081	4,68	0,243	37,08	1,11	36,23	0,24
16	49	-4,39	0,54	0,35	40,18	1,081	4,5	0,243	31,06	1,11	36,56	0,36
17	52	-3,45	0,58	0,35	39,95	1,059	3,45	0,243	27,02	1,09	36,98	0,22
18	55	-2,92	0,54	0,35	38,1	0,895	2,92	0,243	31,06	0,91	35,14	0,15
19	58	-1,14	0,32	0,35	36,82	0,796	1,41	0,243	27,43	0,8	34,17	0,13
20	61	-0,82	0,18	0,35	32,22	0,469	0,82	0,243	27,14	0,47	28,6	0,16
урез	62,3	0	0	0	0	0	0	0	28,57	0	0	0

р. Лежа – Бушуиха, 29.04.55

номер в.	L, m	h, m	Vизм, m/s	n	САГР	Vp m/s	h граф	y	С Павл	V Павл	С	dV
л.б.	13,1	0	0	0,041	0	0	0	0,304	0	0	0	0
0	21	-3,67	0,895	0,041	34,4	0,833	3,67	0,263	34,34	0,83	30,31	0,06
1	26	-5,5	1,03	0,041	37,51	1,113	5,5	0,263	38,2	1,13	32,43	0,08
2	31	-5,68	1,02	0,041	37,76	1,138	5,68	0,263	38,52	1,16	32,6	0,12
3	36	-5,47	0,997	0,041	37,47	1,08	5,47	0,263	38,15	1,13	32,39	0,11
4	41	-5,5	0,897	0,041	37,51	1,113	5,5	0,263	38,2	1,13	32,42	0,22
5	46	-5,44	0,839	0,041	37,43	1,014	5,44	0,263	38,09	1,12	32,29	0,27
6	51	-5,56	0,776	0,041	37,59	1,012	5,56	0,263	38,13	1,14	32,78	0,34
7	56	-3,79	0,632	0,041	34,64	0,853	3,79	0,263	34,62	0,85	30,74	0,22
8	61	-0,93	0,465	0,041	23,89	0,291	0,93	0,263	23,86	0,29	24,1	0,17
9	66	-0,4	0,19	0,076	6,11	0,049	0,4	0,34	9,08	0,07	11,89	0,015
10	76	-0,4	0,128	0,076	6,11	0,049	0,76	0,414	9,08	0,07	11,29	0,041
11	86	-0,76	0,127	0,076	11,05	0,122	0,7	0,414	11,72	0,16	12,87	0,02
12	96	-0,7	0,127	0,076	10,41	0,11	0,4	0,414	11,35	0,12	12,4	0,03
13	116	-0,22	0,06	0,076	0	0	0,22	0,414	7,035	0,04	10,22	0
п.б.	125	0	0	0,076	0	0	0	0,414	0	0	0	0

р. Селемжда – Усть-Ульма, 28.07.72

номер в.	L, m	h, m	Vизм, m/s	n	САГР	Vp m/s	h граф	y	С Павл	V Павл	С	dV
урез	-487	0	0	0,044	0	0	0	0,315	0	0	0	0
7	-470	-2,38	0,75	0,044	29,4	0,574	2,38	0,273	28,79	0,56	26,27	0,15
6	-430	-1,98	0,9	0,044	27,98	0,498	1,98	0,273	27,38	0,49	25,47	0,4
5	-365	-5,48	0,82	0,044	35,82	1,061	5,48	0,273	36,14	1,07	30,19	0,24
4	-225	-1,43	0,36	0,044	25,78	0,385	1,43	0,273	25,06	0,38	24,12	0,03
3	-153	-2,14	0,46	0,044	28,58	0,529	2,4	0,273	27,97	0,52	25,81	0,16
2	-111	-1,95	0,36	0,044	27,87	0,494	1,95	0,273	30,78	0,48	25,41	0,33
1	-67	-3,04	0,36	0,044	31,28	0,69	3,04	0,273	46,3	0,68	27,39	0,61
л.б.	0	-1,1	0	0,022	46,19	0,613	1,1	0,193	66,35	6,1	46,18	0,54
1	40	-7,11	2,58	0,022	60,55	2,043	7,11	0,193	68,58	2,24	63,08	0,57
2	80	-8,7	2,77	0,022	61,83	2,267	8,4	0,193	70,05	2,51	64,85	0,5
3	120	-9,42	2,56	0,022	62,72	2,435	9,42	0,193	71,26	2,71	66,11	0,13
4	166	-10,3	2,74	0,022	63,4	2,575	10,3	0,193	72,93	2,89	67,1	0,17
5	200	-11,61	2,66	0,022	64,32	2,772	11,3	0,193	73,8	3,14	98,45	0,11
6	240	-12,35	2,4	0,022	64,8	2,88	12,6	0,193	71,56	3,28	69,15	0,48
7	280	-10,52	2,58	0,022	63,56	2,608	10,5	0,193	66,58	2,94	67,34	0,03
8	320	-7,24	2,08	0,022	60,69	2,066	7,24	0,193	63,54	2,27	63,26	0,01
п.б.	337	0	0	0,022	0	0	0	0,222	0	0	0	0

р. Десна – Разлеты, 29.04.63

номер в.	L, m	h, m	Vизм, m/s	n	САГР	Vp m/s	h граф	y	С Павл	V Павл	С	dV
урез	-563	0	0	0,033	0	0	0	0,27	0	0	0	0
6	-240	-2,4	0,72	0,033	37,51	0,735	2,4	0,234	37,78	0,74	35,61	0,01
7	-200	-3,25	0,77	0,033	39,84	0,905	3,25	0,234	40,56	0,92	36,86	0,14
8	-150	-2,95	0,69	0,033	39,09	0,846	3,25	0,234	39,65	0,86	35,61	0,08
9	-100	-2,4	0,64	0,033	37,51	0,735	2,95	0,234	37,78	0,74	33,28	0,04
10	-45	-1,6	0,64	0,033	34,39	0,55	2,4	0,234	34,58	0,55	29,18	0,09
12	0	-1,8	0,82	0,038	30,98	0,52	1,6	0,253	30,69	0,52	36,87	0,29
14	35	-7,3	1,23	0,038	41,75	1,427	1,8	0,253	43,72	1,49	37,44	0,2
17	80	-8	1,18	0,038	42,76	1,59	7,3	0,253	44,75	1,6	36,26	0,34
20	125	-6,6	1,22	0,038	40,98	1,322	8	0,253	44,62	1,39	35,45	0,11
п.б.	170	0	0	0,038	0	0	0	0,292	0	0	0	0

р. Горынь – Оженин 7.03.67

номер в.	L, m	h, m	Визм, m/s	n	САГР	Vp m/sh	h граф	y	С Павл	V Павл	С	dV
1	10	-0,4	0,08	0,4	16,23	0,116	0,32	0,3	17,76	0,12	20,67	0,04
2	20	-0,4	0,1	0,4	20,54	0,194	0,56	0,3	21,01	0,2	22,67	0,09
3	30	-0,4	0,3	0,4	23,28	0,263	0,8	0,3	23,38	0,26	24,09	0,04
4	40	-0,4	0,44	0,4	23,28	0,341	0,8	0,3	23,38	0,26	24,09	0,18
5	50	-0,4	0,54	0,4	25,73	0,562	1,1	0,26	25,63	0,34	25,4	0,2
6	60	-0,4	0,62	0,4	30,71	0,583	2,1	0,26	30,32	0,56	28,3	0,06
7	70	-0,4	0,64	0,4	31,07	0,563	2,2	0,26	30,69	0,58	28,52	0,04
8	80	-0,4	0,59	0,4	30,71	0,543	2,2	0,26	29,94	0,56	28,07	0,06
9	90	-0,4	0,46	0,4	30,33	0,543	2	0,26	29,94	0,54	28,02	0,05
10	100	-0,4	0,2	0,4	54,28	0,307	2	0,26	46,9	0,28	50,95	0,08
1	400	-0,015	0,45	0,015	54,28	0,307	0,2	0,184	46,9	0,28	50,95	0,11
2	450	-0,015	0,42	0,015	57,4	0,398	0,2	0,184	53,44	0,37	54,52	0,14
3	500	-0,015	0,69	0,015	53,47	0,287	0,3	0,184	48,65	0,26	50,07	0,02
4	550	-0,015	0,34	0,015	67,3	0,889	0,2	0,184	67,59	0,89	67,63	0
5	580	-0,015	0,32	0,015	63,92	0,676	0,18	0,184	62,44	0,66	62,81	0,02
6	600	-0,015	0,37	0,015	62,74	0,615	1,09	0,184	60,69	0,59	61,22	0,34
7	620	-0,015	0,57	0,015	63,92	0,676	0,7	0,184	62,44	0,65	62,81	0,29
8	640	-0,015	0,62	0,015	65,86	0,658	0,6	0,184	64,23	0,66	63,5	0,31
9	660	-0,015	0,58	0,015	63,92	0,79	0,9	0,184	65,39	0,78	65,25	0,21
п.б.	669	-0,015	0	0,015	0	0	0	0,184	0	0	0	0

р. Двинница – Котлакса 21.04.53

номер в.	L, m	h, m	Визм, m/s	n	САГР	Vp m/s	h граф	y	С Павл	V Павл	С	dV
урез	-173	0	0	0,033	0	0	0	0,272	31,64	0	0	0
5	-100	-1,2	0,265	0,033	31,71	0,439	1,2	0,236	31,51	0,44	31,24	0,17
4	-85	-1,18	0,376	0,033	31,85	0,434	1,18	0,236	29,45	0,43	31,15	0,06
3	-50	-0,9	0,38	0,033	29,49	0,354	0,9	0,272	31,94	0,35	39,77	0,03
2	-25	-1,25	0,432	0,033	32,02	0,453	1,25	0,236	32,24	0,45	31,45	0,02
1	-15	-1,3	0,475	0,033	32,32	0,466	1,3	0,292	20,97	0,45	31,66	0,01
урез	0	-0,46	0,308	0,038	20,34	0,174	0,46	0,253	28,66	0,19	23,12	0,13
1	14	-1,4	0,669	0,038	28,91	0,433	1,4	0,253	38,74	0,43	27,84	0,24
2	24	-4,6	0,806	0,038	38,06	1,033	4,6	0,253	42,92	1,05	33,95	0,23
3	30	-6,5	0,979	0,038	40,72	1,313	6,5	0,253	42,53	1,36	36,11	0,33
4	36	-6,65	0,989	0,038	40,9	1,346	6,65	0,253	42,53	1,38	36,06	0,34
5	42	-6,6	0,961	0,038	40,89	1,345	6,6	0,253	39,06	1,08	34,14	0,34
6	48	-4,75	0,724	0,038	38,31	1,056	4,75	0,253	23,91	0,26	24,91	0,37
7	58	-0,72	0,623	0,038	27,39	0,255	0,72	0,253	27,06	0,37	26,94	0,33
8	70	-1,15	0,48	0,038	27,96	0,372	1,15	0,253	28,12	0,47	27,49	0,37
9	80	-1,3	0,386	0,038	28,33	0,402	1,3	0,253	27,23	0,33	27,02	0,11
10	100	-1	0,357	0,038	26,33	0,33	1	0,292	26,32	0,3	26,32	0,02
п.б.	131,5	0	0	0,038	0	0	0	0,292	0	0	0	0

Приложение 2

Расчет по методу Бернадского для построения плана течений

		р.Лежа						
	L, m	Z, m	H, m	n	F	sum	P%	h, m
v.stv	10	112,5	0	0,041	0	0	0	0
	17,5	108	4,49	0,041	704,3	704,3	4,579	-4,49
	18	0	4,96	0,041	162,59	866,89	5,636	-4,96
	20	-0,25	5,22	0,041	736,18	1603,07	10,42	-5,22
	22	-0,5	5,47	0,041	797,51	2400,58	15,61	-5,47
	38	-0,5	5,47	0,041	6630,7	9031,28	58,72	-5,47
	47	-0,25	5,22	0,041	3588,8	12620,08	82,06	-5,22
	51	0	4,97	0,041	1472,6	14092,68	91,63	-4,97
	51,5	108	4,49	0,041	162,62	14255,3	92,69	-4,49
	58,5	111	1,49	0,041	1059,9	15315,2	99,58	-1,49
g.stv	59	112	0,49	0,041	8,405	15323,61	99,63	-0,49
	104	112,5	0	0,076	56,773	15380,38	100	0
	0	112,5	0	0,076	0	0	0	0
	12,5	108	4,49	0,041	1173,8	1173,8	8,001	-4,49
	13	0	4,96	0,041	162,62	1336,42	9,109	-4,96
	15	-0,25	5,22	0,041	736,3	2072,72	14,13	-5,22
	20	-0,5	5,47	0,041	1993,8	4066,52	27,72	-5,47
	37	-0,5	5,47	0,041	7045,1	11111,62	75,74	-5,47
	41	-0,25	5,22	0,041	1595	12706,62	86,61	-5,22
	42	0	4,97	0,041	368,15	13074,77	89,12	-4,97
n.stv	42,5	108	4,49	0,041	162,62	13237,39	90,23	-4,49
	50	111	1,49	0,041	1135,6	14372,99	97,97	-1,49
	64	112	0,49	0,041	235,34	14608,33	99,87	-0,49
	114	112,5	0	0,076	63,081	14671,41	100	0
	0	112,5	0	0,076	0	0	0	0
	10	108	4,49	0,041	939,06	939,06	6,279	-4,49
	10,5	0	4,96	0,041	162,62	1101,68	7,366	-4,96
	12	-0,25	5,22	0,041	552,23	1653,91	11,06	-5,22
	14	-0,5	5,47	0,041	797,51	2451,42	16,39	-5,47
	33	-0,5	5,47	0,041	7848	10299,42	69,04	-5,47
36	-0,25	5,22	0,041	1196,3	11495,72	77,04	-5,22	
40,5	0	4,97	0,041	1656,7	13152,42	88,12	-4,97	
41	108	4,49	0,041	162,62	13315,04	89,2	-4,49	
48	111	1,49	0,041	1059,9	14374,94	96,29	-1,49	
78	112	0,49	0,076	504,3	14879,24	99,66	-0,49	
118	112,5	0	0,076	50,465	14929,71	100	0	

р.Селемджа

	L, m	Z, m	H, m	n	F	sum	P%	h, m
v.stv	0	176,6	0	0,044	0	0	0	0
	30	173	3,57	0,044	1791,2	1791,2	0	-3,57
	55	174	2,57	0,044	3685,9	5477,1	0,22	-2,57
	250	175	1,57	0,044	14904	20381,1	0,68	-1,57
	280	175,5	1,07	0,044	1083,1	21464,2	2,53	-1,07
	320	175,5	1,07	0,044	1017,6	22481,8	2,63	-1,07
	335	175	1,57	0,044	541,55	23023,35	2,7	-1,57
	350	169	7,57	0,044	4292,6	27315,95	2,86	-7,57
	380	168	8,57	0,022	29537	56852,95	3,4	-8,57
	405	167	9,57	0,022	44859	101712	7	-9,57
	655	166	10,57	0,022	534032	635744	12,6	-10,57
	705	166	10,57	0,022	115792	751536	79,15	-10,57
	715	167	9,57	0,022	21361	772897	93,5	-9,57
	720	168	8,57	0,022	8971,8	781868,8	96,2	-8,57
	730	169	7,57	0,022	14768	796636,8	97,3	-7,57
	740	175	1,57	0,022	5723,4	802360,2	99,1	-1,57
	755	176	0,57	0,022	763,22	803123,4	99,9	-0,57
	765	176,6	0	0,022	56,079	803179,4	100	0
g.stv	0	176,6	0	0,044	0	0	0	0
	65	173	3,57	0,044	3881	3881	0,5	-3,57
	95	174	2,57	0,044	4423,1	8304,1	1	-2,57
	525	169	7,57	0,044	146307	154611,1	20	-7,57
	570	168	8,57	0,022	44305	198916,1	26,1	-8,57
	600	167	9,57	0,022	55381	254297,1	33,2	-9,57
	670	166	10,57	0,022	149529	403826,1	52,9	-10,57
	720	165	11,57	0,022	125067	528893,1	69,3	-11,57
	735	164,5	12,57	0,022	41853	570746,1	74,8	-12,57
	760	164,5	12,57	0,022	72231	642977,1	84,4	-12,57
	775	165	11,57	0,022	41853	684830,1	89,9	-11,57
	790	166	10,57	0,022	37520	722350,1	94,8	-10,57
	795	167	9,57	0,022	10681	733031,1	96,2	-9,57
	805	168	8,57	0,022	17944	750975,1	98,6	-8,57
	810	169	7,57	0,022	7384,2	758359,3	99,6	-7,57
	815	175	1,57	0,022	2681,7	761041	99,9	-1,57
	823	176	0,57	0,022	407,05	761448,1	100	-0,57
	824	176,5	0	0,022	5,6079	761453,7	100	0
n.stv	0	176,5	0	0,044	0	0	0	0
	45	173	3,57	0,044	2686,8	2686,8	0,3	-3,57
	85	174	2,57	0,044	5897,5	8584,3	1	-2,57
	590	169	7,57	0,044	171825	180409,3	21	-7,57
	635	169	7,57	0,044	39825	220234,3	25	-7,57
	690	169	7,57	0,022	73012	293246,3	34,3	-7,57

735	168	8,57	0,022	66458	359704,3	42,1	-8,57
755	167	9,57	0,022	35887	395591,3	46,3	-9,57
780	166	10,57	0,022	53404	448995,3	52,6	-10,57
920	166	10,57	0,022	324219	773214,3	90,5	-10,57
935	167	9,57	0,022	32042	805256,3	94,2	-9,57
945	168	8,57	0,022	17944	823200,3	96,3	-8,57
950	169	7,57	0,022	7384,2	830584,5	97,2	-7,57
990	175	1,57	0,022	22894	853478,5	99,9	-1,57
1005	176	0,57	0,022	763,22	854241,7	99,99	-0,57
1015	176,6	0	0,022	56,079	854297,8	100	0

р.Десна

	L, m	Z, m	H, m	n	F	sum	P%	h, m
v.stv	0	5,94	0	0,033	0	0	0,04	0
	12	5	0,94	0,033	103,29	103,29	0,2	-0,94
	20	4	1,94	0,033	445,21	548,5	0,6	-1,94
	26	3	2,94	0,033	804,3	1352,8	5	-2,94
	68	2	3,94	0,033	9981,2	11334	15	-3,94
	146	2	3,94	0,033	23242	34576	42,5	-3,94
	400	3	2,94	0,033	60362	94938	46,8	-2,94
	470	4	1,94	0,033	9385,5	104323,5	48,3	-1,94
	530	5	0,94	0,033	3339,1	107662,6	50,7	-0,94
	544	4	1,94	0,033	779,12	108441,7	51,2	-1,94
	560	0	5,94	0,038	4431,8	112873,5	51,7	-5,94
	562	-0,25	6,19	0,038	1062,2	113935,7	52,2	-6,19
	564	-0,5	6,44	0,038	1136,2	115071,9	60,1	-6,44
	566	-1	6,94	0,038	1250,2	116322,1	62,3	-6,94
	582	-1,5	7,44	0,038	11285	127607,1	65,6	-7,44
	590	-1,75	7,69	0,038	6141,6	133748,7	69,5	-7,69
	616	-2	7,94	0,038	21072	154820,7	71,5	-7,94
	620	-3	8,94	0,038	3685,4	158506,1	80,3	-8,94
	642	-2	7,94	0,038	20270	178776,1	85,2	-7,94
	656	-1,5	7,44	0,038	11045	189821,1	87,6	-7,44
	676	-1	6,94	0,038	14106	203927,1	90,6	-6,94
	700	0	5,94	0,038	14088	218015,1	97,6	-5,94
	716	4	1,94	0,033	4431	222446,1	99,9	-1,94
	720	5,94	0	0,033	115,21	222561,3	100	0
g.stv	0	5,94	0	0,033	0	0	0	0
	10	5	0,94	0,033	86,074	86,074	0,04	-0,94
	20	4	1,94	0,033	556,71	642,784	0,35	-1,94
	44	2	3,94	0,033	4389,7	5032,484	2,8	-3,94
	160	2	3,94	0,033	34563	39595,48	22,4	-3,94
	176	3	2,94	0,033	3802,3	43397,78	24,6	-2,94
	208	3	2,94	0,033	5852,9	49250,68	27,4	-2,94
	220	2,5	3,94	0,033	2514,7	51765,38	28,8	-3,94

236	2,5	3,94	0,033	3802,3	55567,68	30,94	-3,94
244	3	2,94	0,033	1767,5	57335,18	31,87	-2,94
260	3	2,94	0,033	2926,4	60261,58	33,5	-2,94
274	2,5	3,44	0,033	2933,8	63195,38	35	-3,44
474	4	1,94	0,033	31544	94739,38	52,6	-1,94
484	4,5	1,44	0,033	726,33	95465,71	53,1	-1,44
494	5	0,94	0,033	404,97	95870,68	53,32	-0,94
504	4,5	1,44	0,033	404,97	96275,65	53,5	-1,44
514	4	1,94	0,033	726,33	97001,98	53,95	-1,94
534	4,5	1,44	0,033	1453,5	98455,48	54,76	-1,44
540	5	0,94	0,033	742,98	99198,46	54,9	-0,94
548	4,5	1,44	0,033	323,98	99522,44	55,08	-1,44
554	4	1,94	0,033	436,04	99958,48	55,32	-1,94
634	0	5,94	0,038	22159	122117,5	67,32	-5,94
654	-1	6,94	0,038	11740	133857,5	74,19	-6,94
670	-1,5	7,44	0,038	11285	145142,5	80,4	-7,44
678	-1,75	7,69	0,038	6141	151283,5	83,8	-7,69
704	-1,5	7,44	0,038	19960	171243,5	95,01	-7,44
710	0	5,94	0,038	3752,8	174996,3	97,1	-5,94
728	4	1,94	0,038	4985,8	179982,1	99,8	-1,94
736	5,94	0	0,038	230,42	180212,5	100	0
0	5,94	0	0,033	0	0	0	0
12	5	0,94	0,033	103,26	103,26	0,06	-0,94
20	4	1,94	0,033	445,21	548,47	0,35	-1,94
34	2	3,94	0,033	2560,6	3109,07	1,98	-3,94
126	3	2,94	0,033	21863	24972,07	15,9	-2,94
134	3	1,94	0,033	1463,2	26435,27	16,9	-1,94
192	3	0,94	0,033	10608	37043,27	23,6	-0,94
498	4	1,94	0,033	41019	78062,27	49,9	-1,94
524	5	5,94	0,038	1446,9	79509,17	50,82	-5,94
536	4	6,94	0,038	667,82	80176,99	51,25	-6,94
612	0	7,19	0,038	21051	101228	64,71	-7,19
620	-1	7,44	0,038	4695,9	105923,9	67,71	-7,44
636	-1,25	7,94	0,038	10960	116883,9	74,7	-7,94
648	-1,5	7,44	0,038	8710	125593,9	80,2	-7,44
664	-2	7,94	0,038	12623	138216,9	88,3	-7,94
668	-1,5	7,44	0,038	3155,5	141372,4	90,3	-7,44
682	0	5,94	0,038	8766,5	150138,9	95,9	-5,94
700	4	1,94	0,033	4989,8	155128,7	99,15	-1,94
746	5,94	0	0,033	1324,9	156453,6	100	0

n.stv

р.Двинница

L, m	Z, m	H, m	n	F	sum	P%	h, m
0	121,6	0	0,033	0	0	0	0
180	121	0,58	0,033	692,7	692,7	3,9	-0,58

v.stv

	188	121	0,58	0,033	97,77	790,47	4,45	-0,58
	203	120	1,58	0,038	480,37	1270,84	7,1	-1,58
	206	119	2,58	0,038	264,65	1535,49	8,6	-2,58
	208	118	3,58	0,038	343,29	1878,78	10,6	-3,58
	210	117	4,58	0,038	248,55	2127,33	13,7	-4,58
	211	116	5,58	0,038	395,27	2522,6	15,94	-5,58
	220	114,9	6,65	0,038	4846	7368,6	43,28	-6,65
	231	116	5,58	0,038	5922,9	13291,5	76,69	-5,58
	233	117	4,58	0,038	790,54	14082,04	81,15	-4,58
	235	118	3,58	0,038	548,55	14630,59	84,28	-3,58
	236	119	2,58	0,033	183,73	14814,32	85,26	-2,58
	238	120	1,58	0,033	205,46	15019,78	86,44	-1,58
	306	121	0,58	0,033	2342,7	17362,48	99,6	-0,58
	322	121,6	0	0,033	61,578	17424,06	100	0
g.stv	0	121,6	0	0,033	0	0	0	0
	41	121	0,58	0,033	157,8	157,8	0,7	-0,58
	191	120	1,58	0,033	51,67	209,47	24,1	-1,58
	199	119	2,58	0,038	763,9	973,37	27,5	-2,58
	203	118	3,58	0,038	686,5	1659,87	30,6	-3,58
	204	117	4,58	0,038	274,2	1934,07	31,9	-4,58
	206	116	5,58	0,038	790,5	2724,57	35,4	-5,58
	215	114,9	6,65	0,038	4846	7570,57	57,3	-6,65
	225	116	5,58	0,038	5384,4	12954,97	81,8	-5,58
	227	117	4,58	0,038	790,54	13745,51	85,3	-4,58
	229	118	3,58	0,038	548,55	14294,06	87,8	-3,58
	232	119	2,58	0,038	514,93	14808,99	90,19	-2,58
	233	120	1,58	0,033	95,496	14904,49	90,62	-1,58
	291	121	0,58	0,033	1998,2	16902,69	99,67	-0,58
	310	121,6	0	0,033	73,124	16975,81	100	0
n.stv	0	121,6	0	0,033	0	0	0	0
	58	121	0,58	0,033	223,22	223,22	0,7	-0,58
	159	120	1,58	0,033	3479,6	3702,82	11,8	-1,58
	167	119	2,58	0,033	821,84	4524,66	14,4	-2,58
	169	118	3,58	0,033	395,3	4919,96	15,7	-3,58
	171	117	4,58	0,033	631,6	5551,56	17,71	-4,58
	172	116	5,58	0,033	455,6	6007,16	19,16	-5,58
	174	115,8	5,81	0,033	1101,1	7108,26	22,68	-5,81
	188	115	6,6	0,033	8894,4	16002,66	51,06	-6,6
	203	115,8	5,81	0,033	9529,7	25532,36	81,46	-5,81
	204	116	5,58	0,033	550,67	26083,03	83,22	-5,58
	206	117	4,58	0,033	910,37	26993,4	86,12	-4,58
	208	118	3,58	0,033	631,66	27625,06	88,14	-3,58
	212	119	2,58	0,033	790,61	28415,67	90,66	-2,58
	231	120	1,58	0,033	1951,9	30367,57	96,89	-1,58
	260	121	0,58	0,038	728,72	31096,29	99,85	-0,58
	274	121,6	0	0,038	46,79	31143,08	100	0

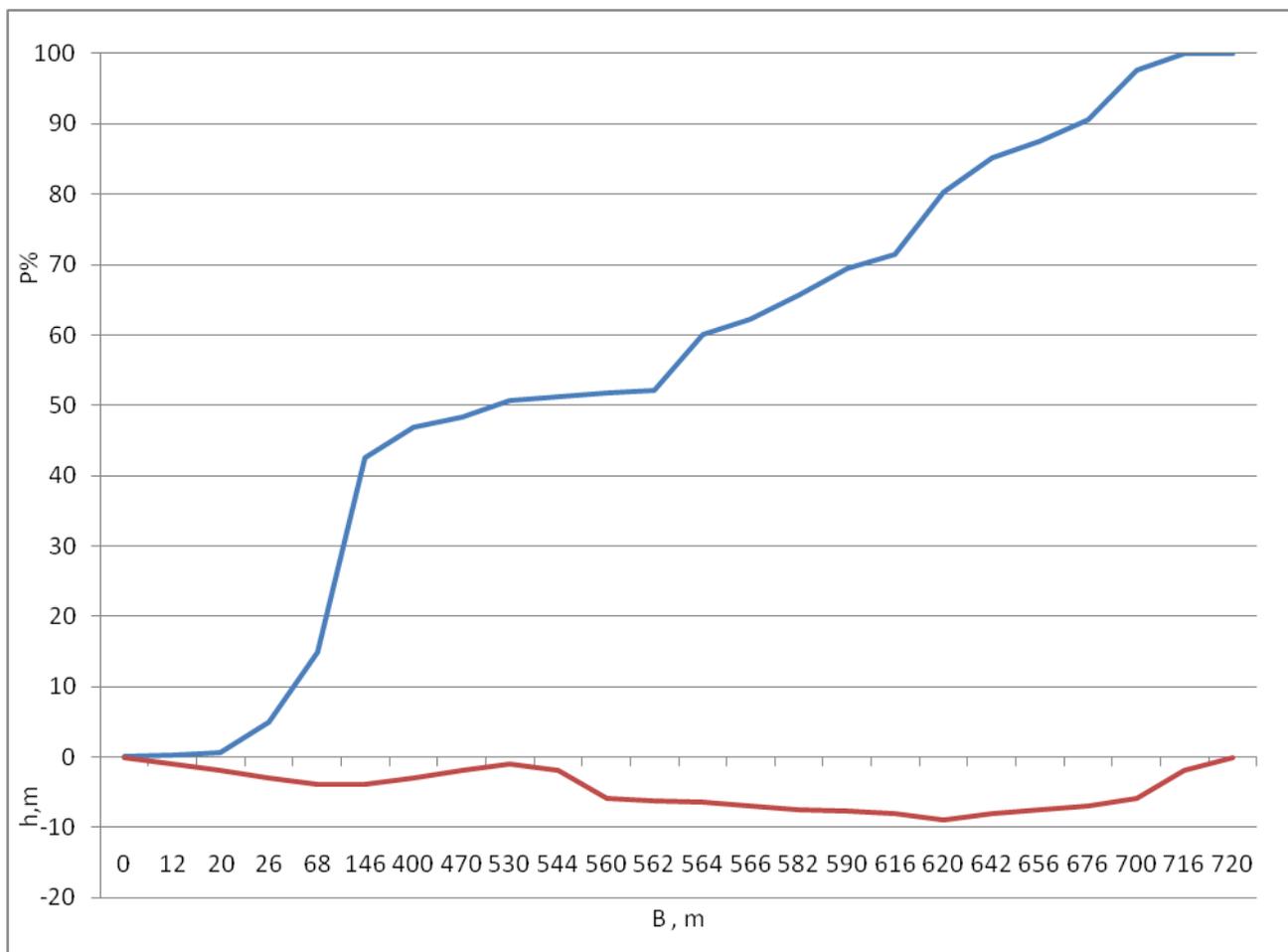
р.Горынь

	L, m	Z, m	H, m	n	$h^5/3/n$	sum	P%	h, m
v.stv	0	2,638	0	0,04	0	0	0	0
	8	0,6	2,038	0,04	206,37	206,37	6,66	-2,038
	120	2,638	0	0,04	2889,2	3095,57	99,9	0
g.stv	0	2,638	0	0,04	0	0	0	0
	24	0,62	2,018	0,04	609,03	609,03	2,46	-2,018
	92	0,63	2,008	0,04	5457	6066,03	24,5	-2,008
	100	2	0,638	0,04	318,91	6384,94	25,8	-0,638
	322	2,5	0,138	0,015	1665,7	8050,64	32,6	-0,138
	390	2,5	0,138	0,015	166,95	8217,59	33,2	-0,138
	426	2	0,638	0,015	495,21	8712,8	35,3	-0,638
	678	1,5	1,138	0,015	13782	22494,8	91,14	-1,138
n.stv	762	2,638	0	0,015	2187,2	24682	100	0
	0	2,638	0	0,04	0	0	0	0
	132	0,62	2,018	0,04	3349,7	3349,7	6,16	-2,018
	164	0,63	2,008	0,04	2568	5917,7	10,88	-2,008
	180	2	0,638	0,015	927,74	6845,44	12,59	-0,638
	216	2	0,638	0,015	1134,6	7980,04	14,69	-0,638
	226	2,5	1,138	0,015	137,56	8117,6	14,93	-1,138
	232	2,638	0	0,015	4,63	8122,23	19,94	0
	266	2,638	0	0,015	0	8122,23	14,94	0
	276	2,5	0,138	0,015	7,73	8129,96	14,95	-0,138
	296	2	0,638	0,015	275,12	8405,08	15,46	-0,638
	364	2	0,638	0,015	2143,2	10548,28	19,4	-0,638
	518	1,5	1,138	0,015	8422	18970,28	34,89	-1,138
	666	1	1,638	0,015	17043	36013,28	66,23	-1,638
	878	2	0,638	0,015	17532	53545,28	98,47	-0,638
	936	2,5	0,138	0,015	797,85	54343,13	99,9	-0,138
	980	2,638	0	0,015	34,19	54377,32	100	0

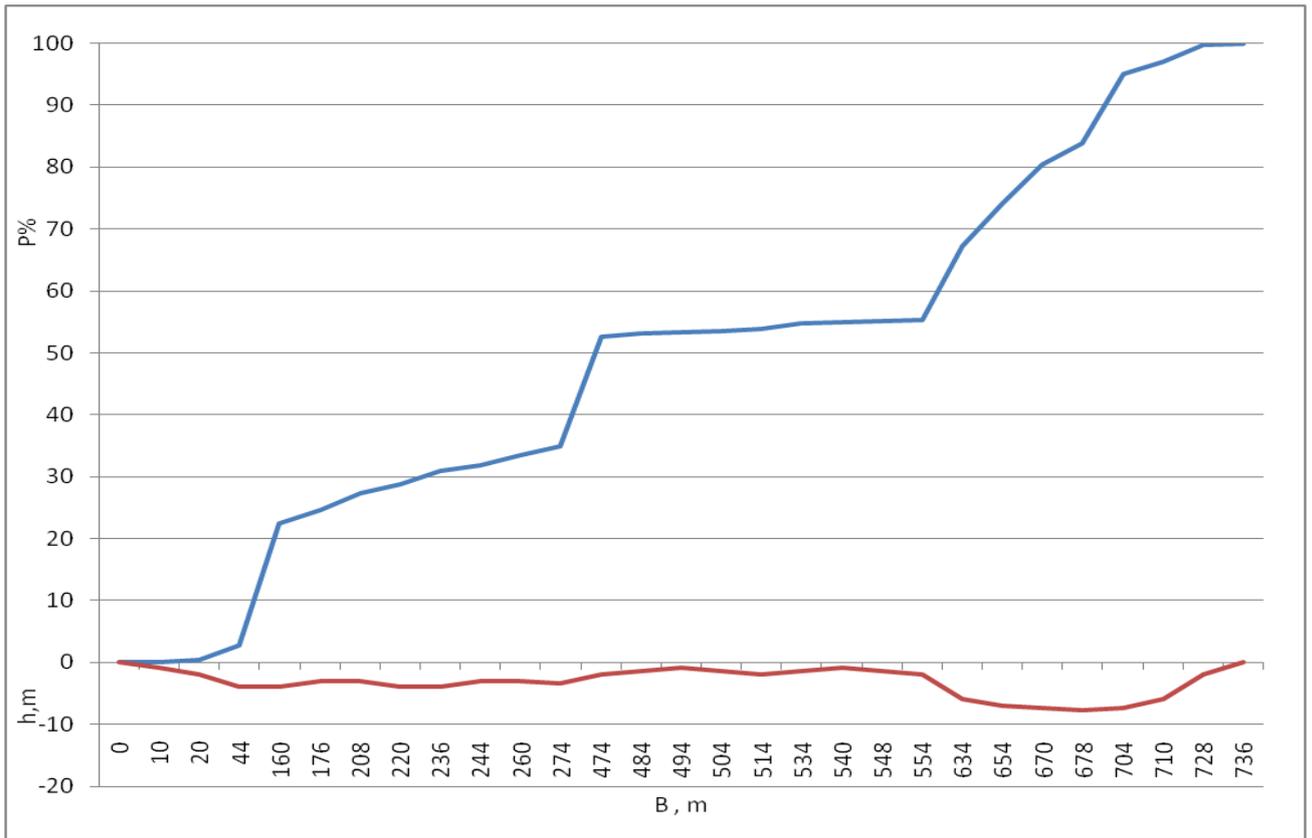
Приложение 3

Графики подынтегральной функции для построения плана течений по Бернадскому

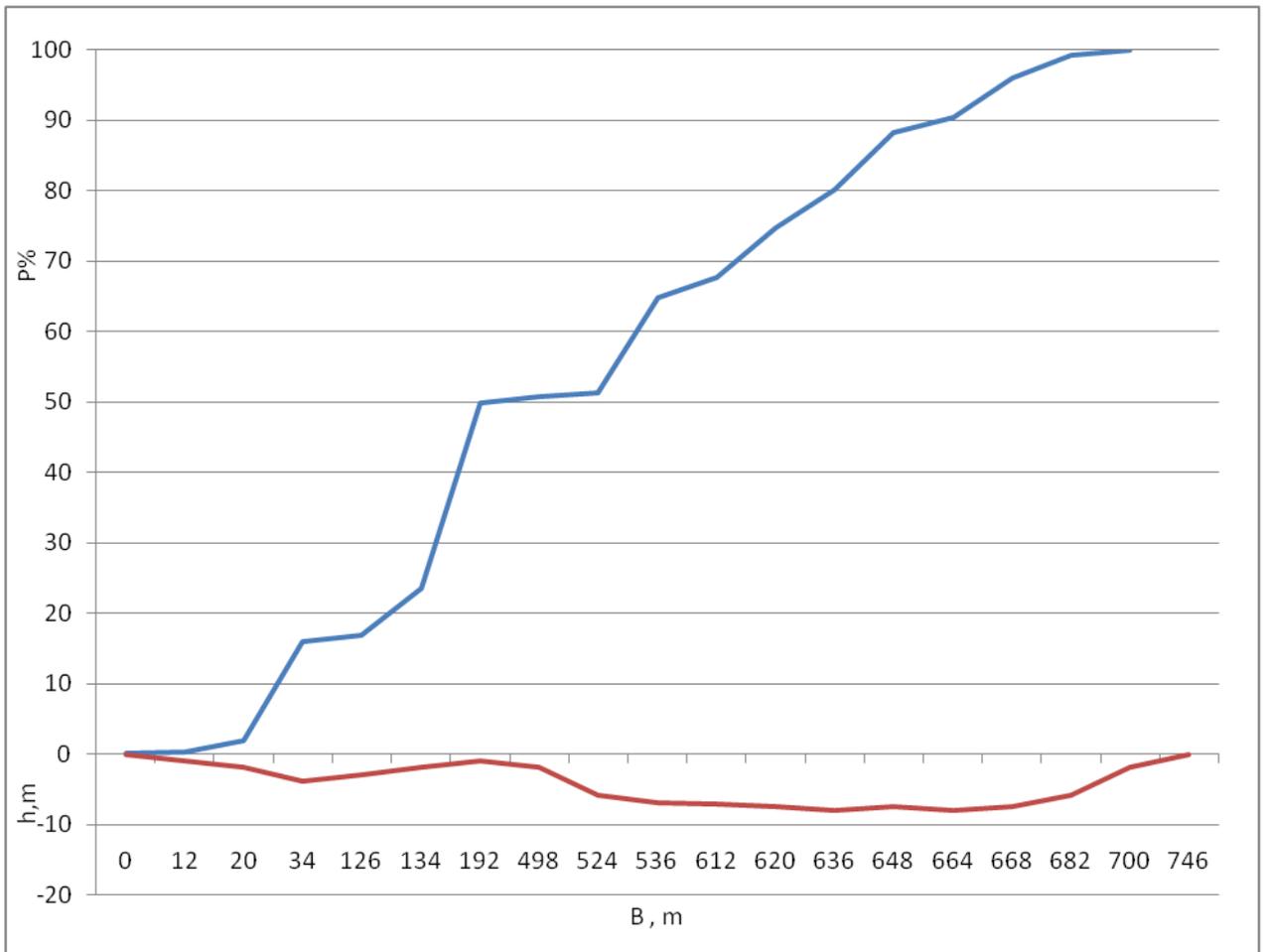
р. Десна – v.stv



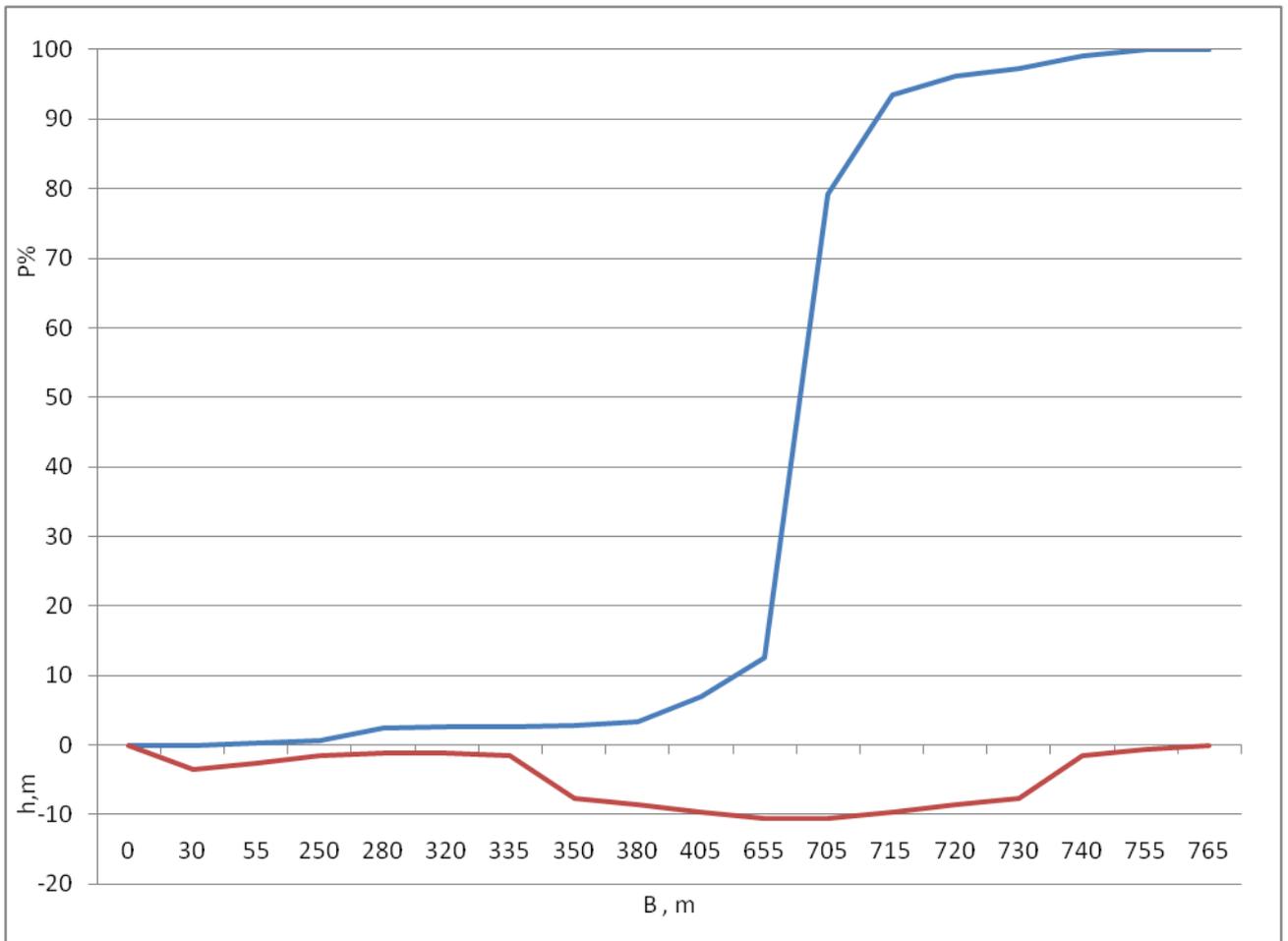
р. Десна - g.stv



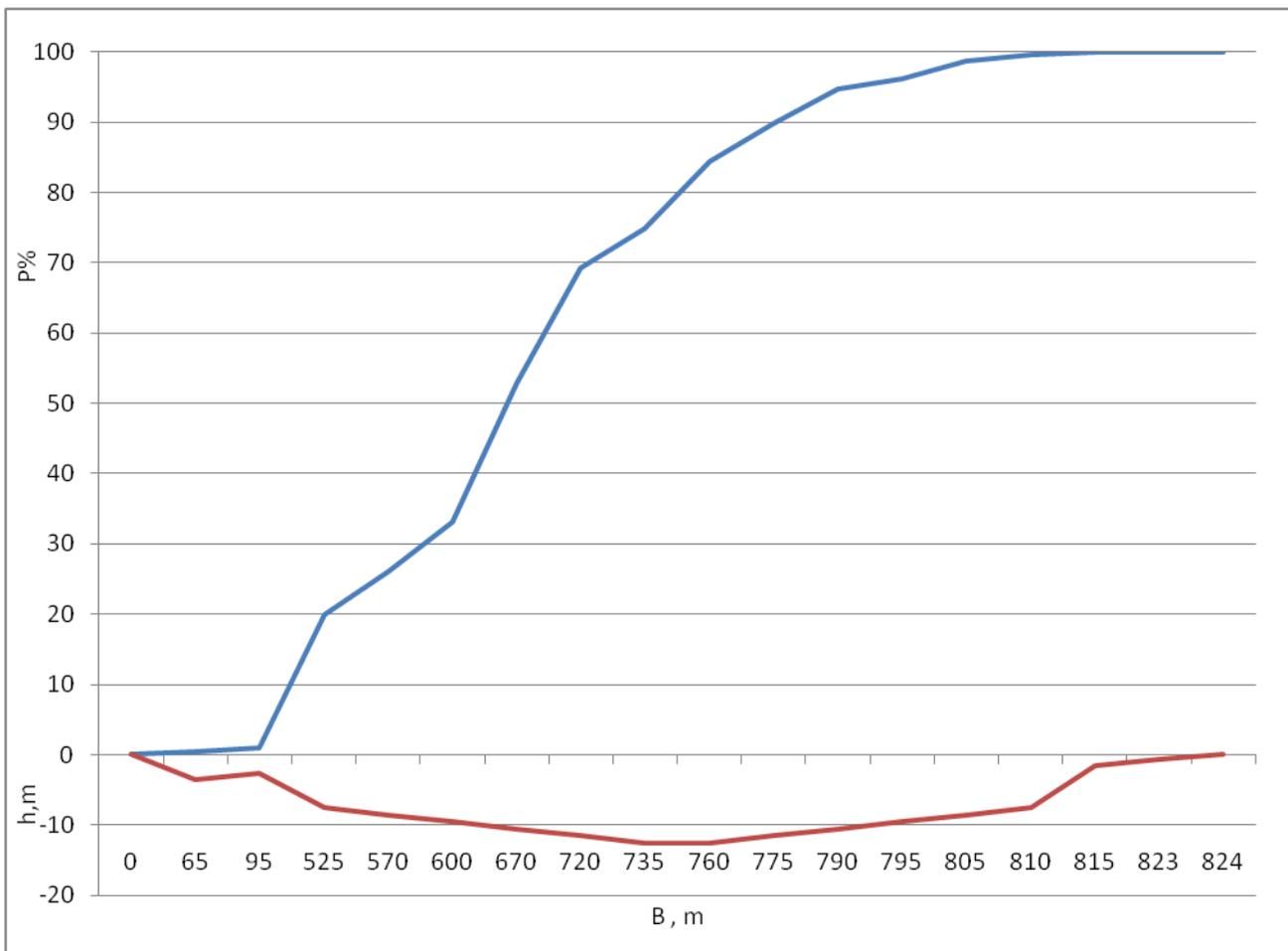
р. Десна – n.stv



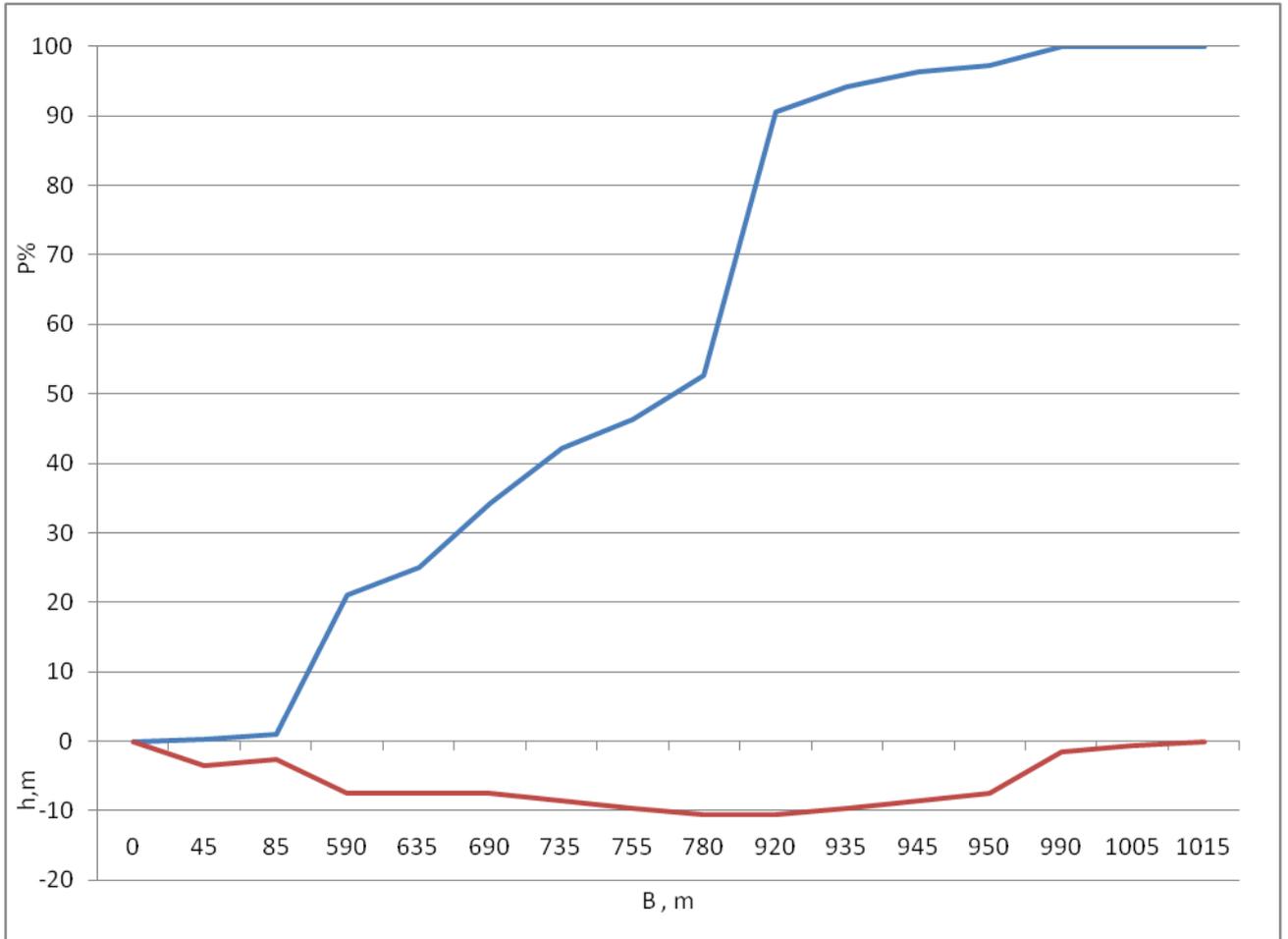
р. Селемджа - v.stv



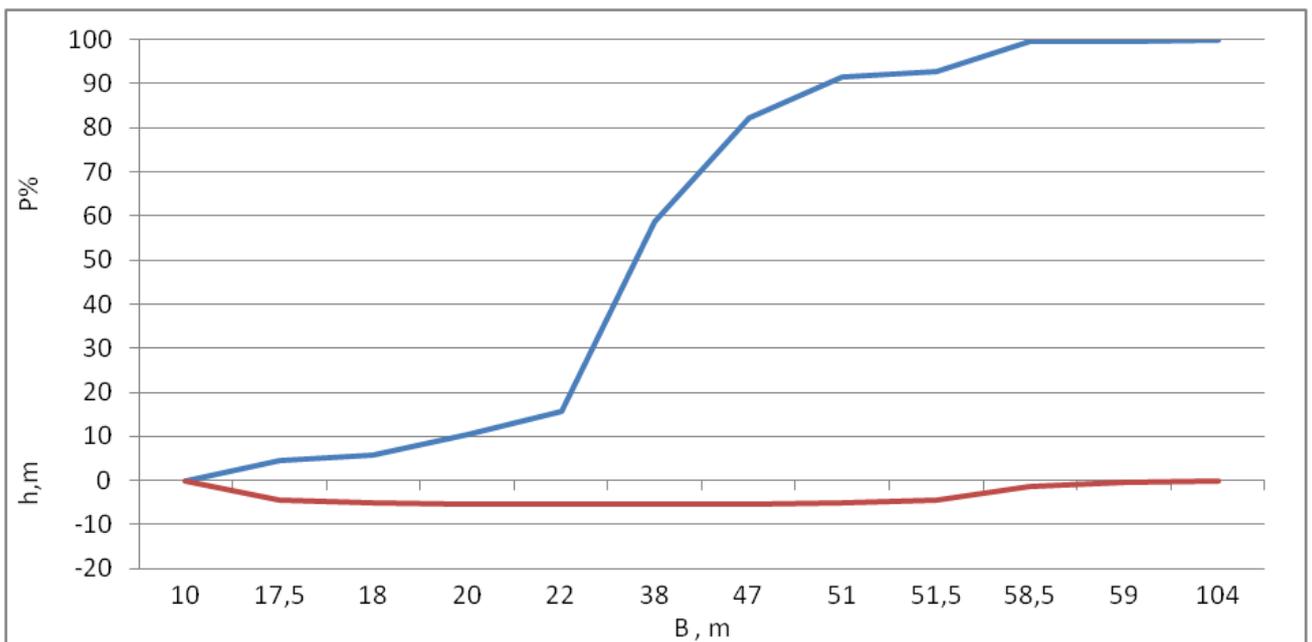
р. Селемджа – g.stv



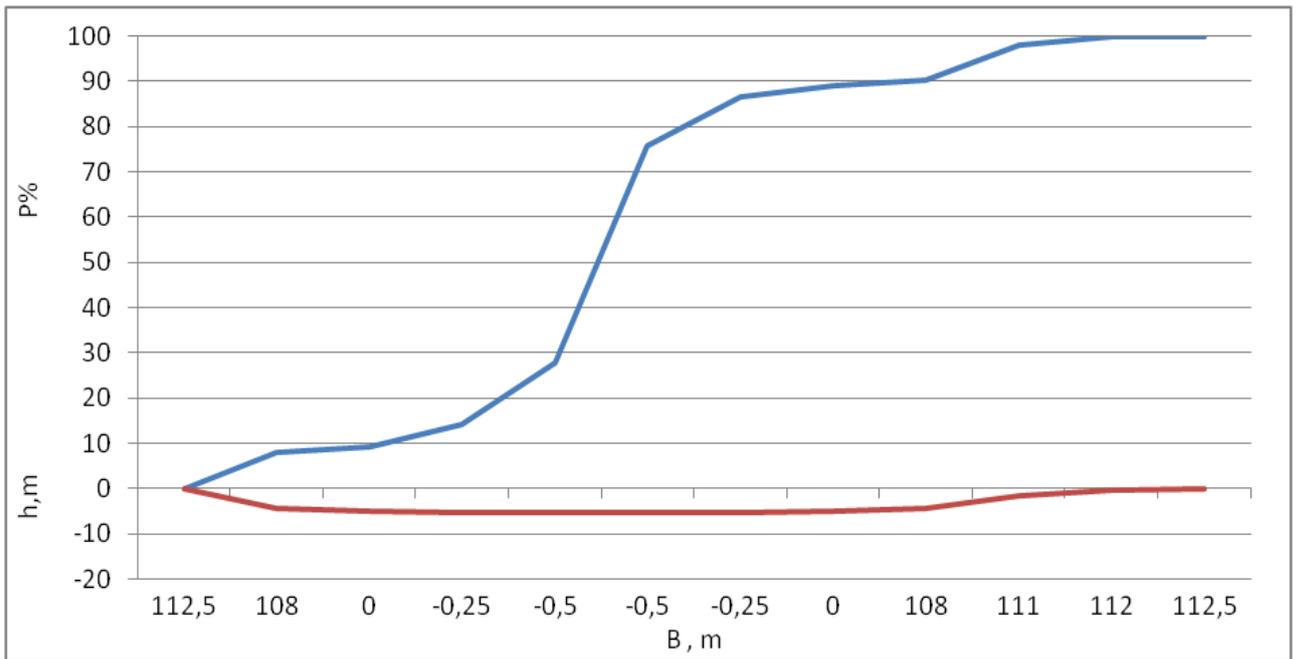
р. Селемджа - n.stv



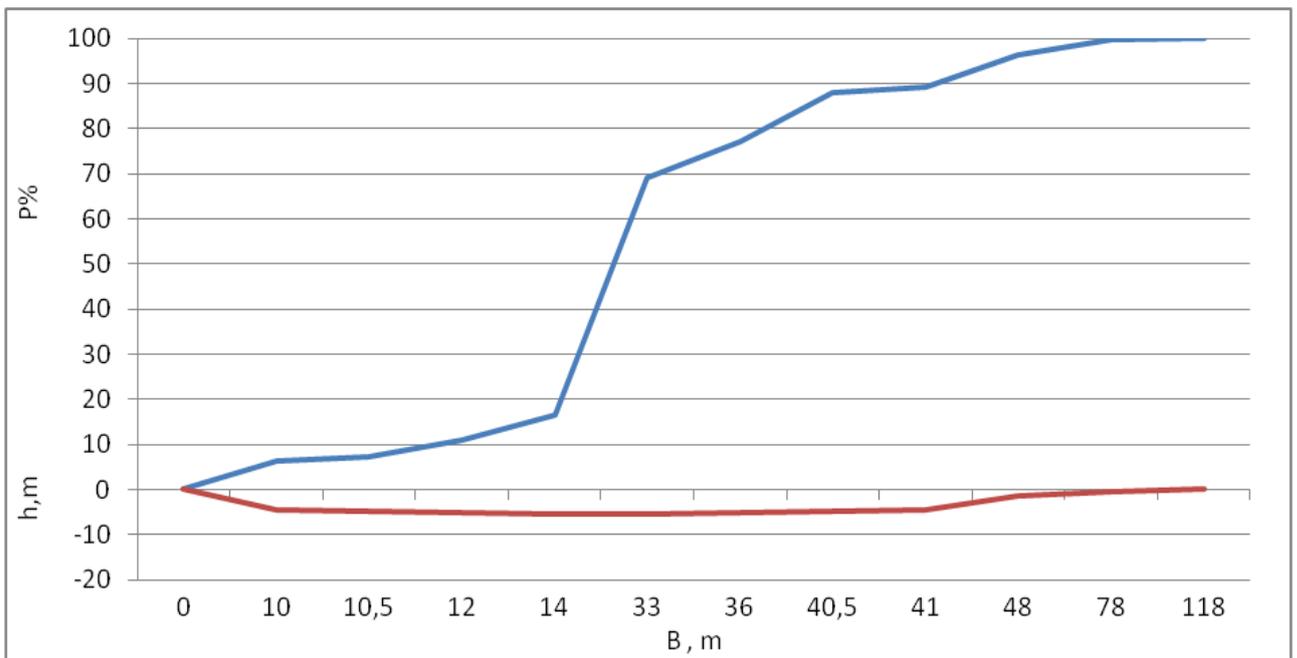
р. Лежа – v.stv



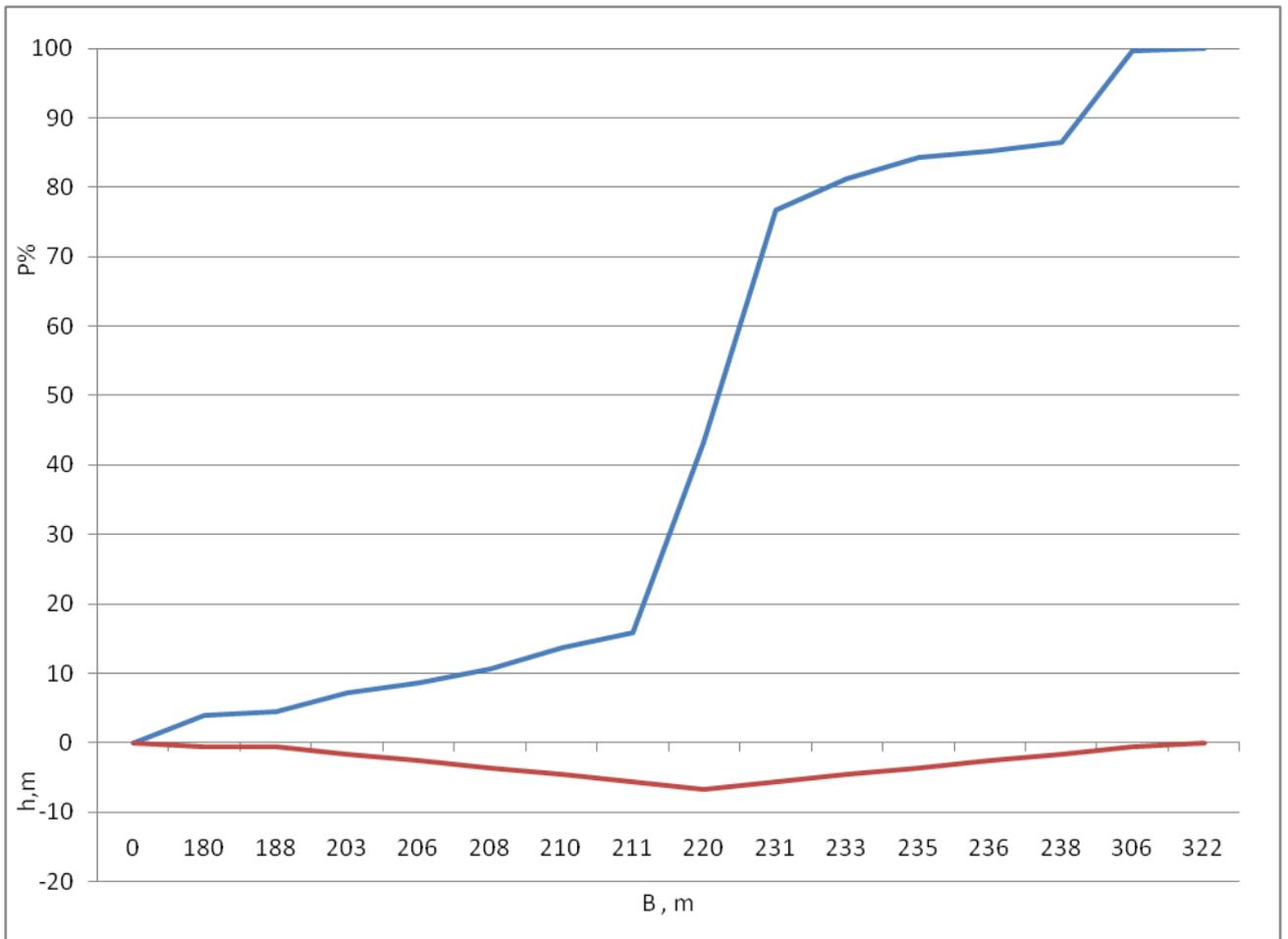
г. Лежа - g.vst



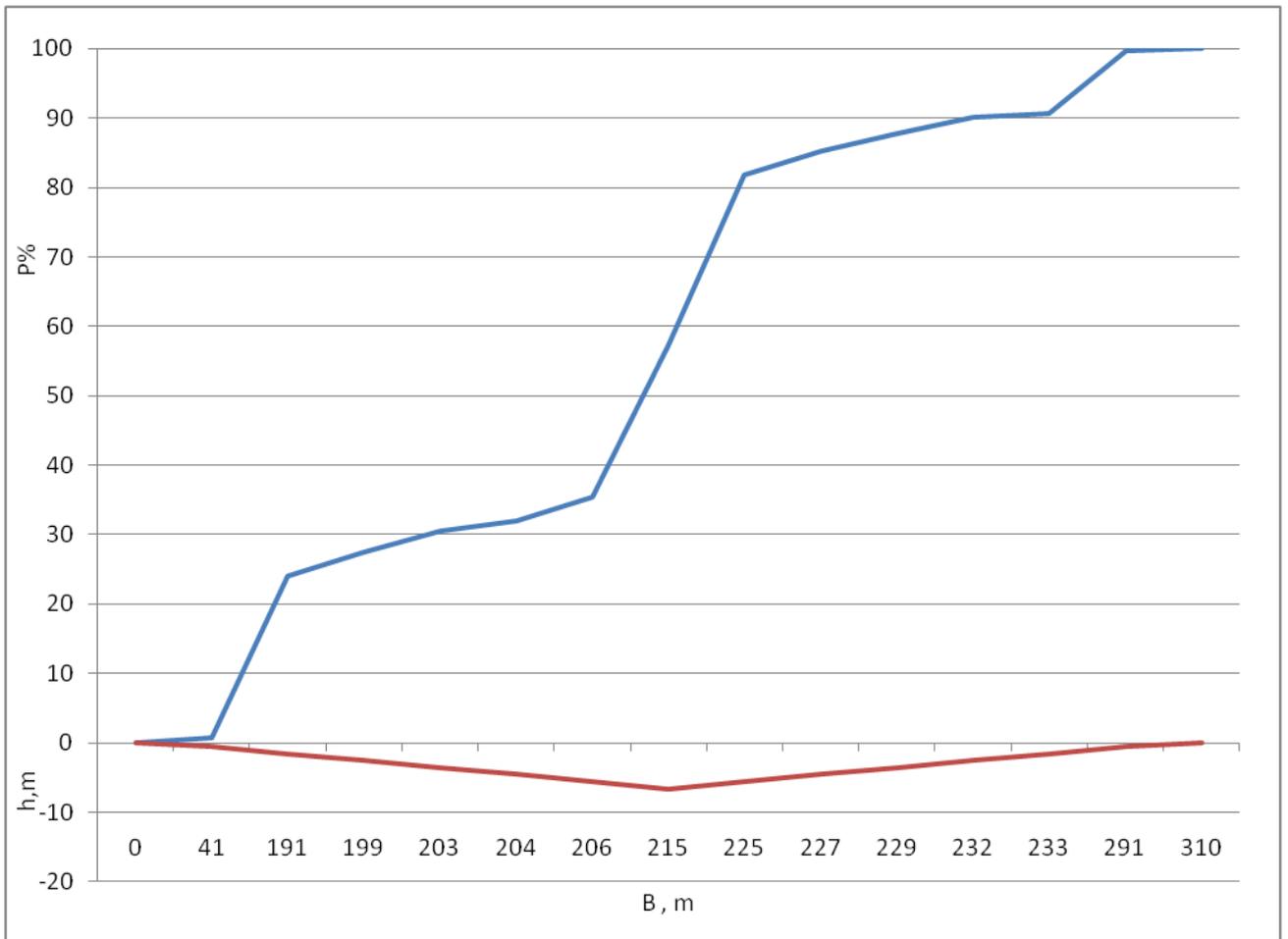
р. Лежа – n.stv



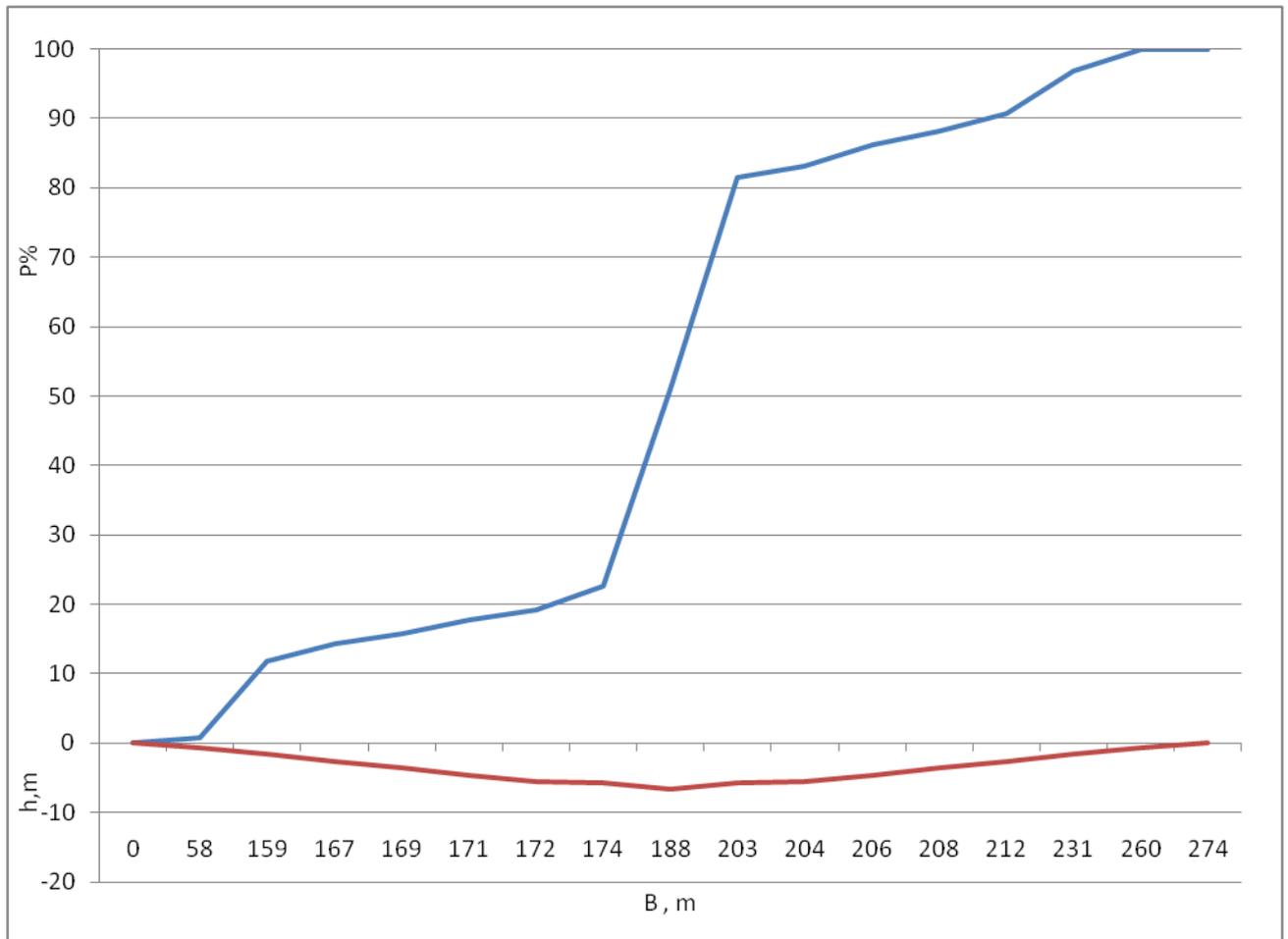
р. Двинница – v.stv



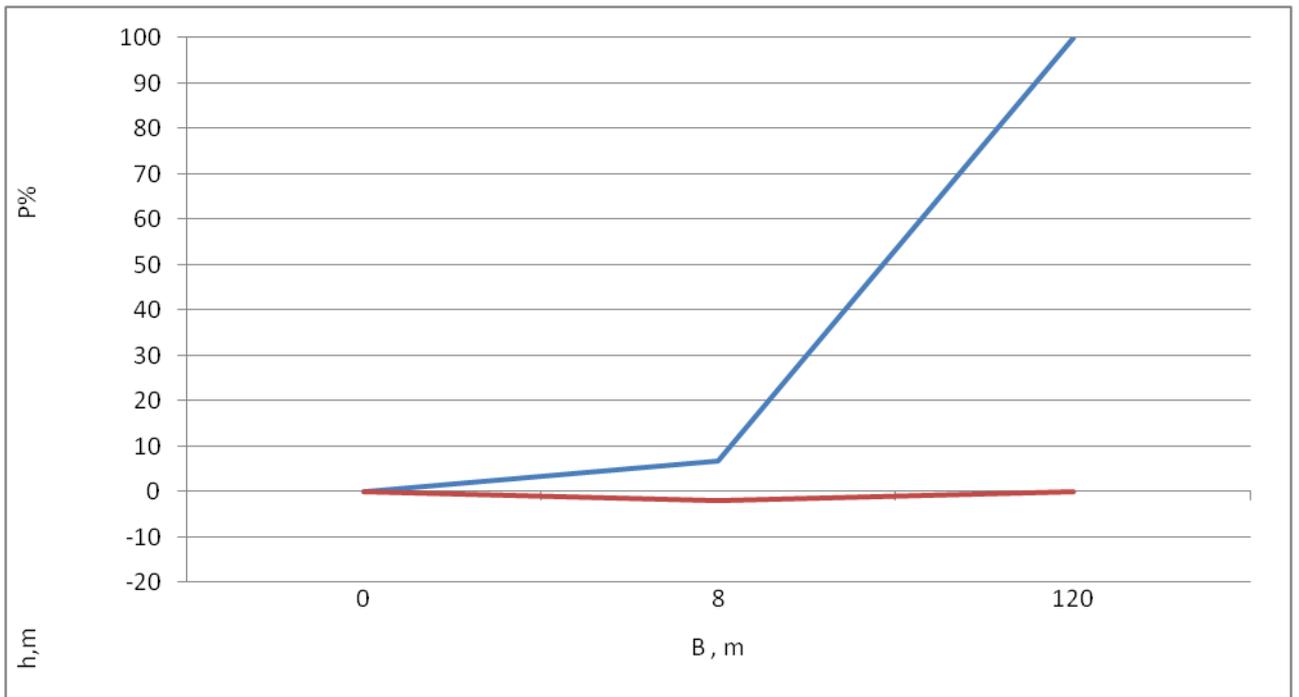
р. Двинница - g.stv



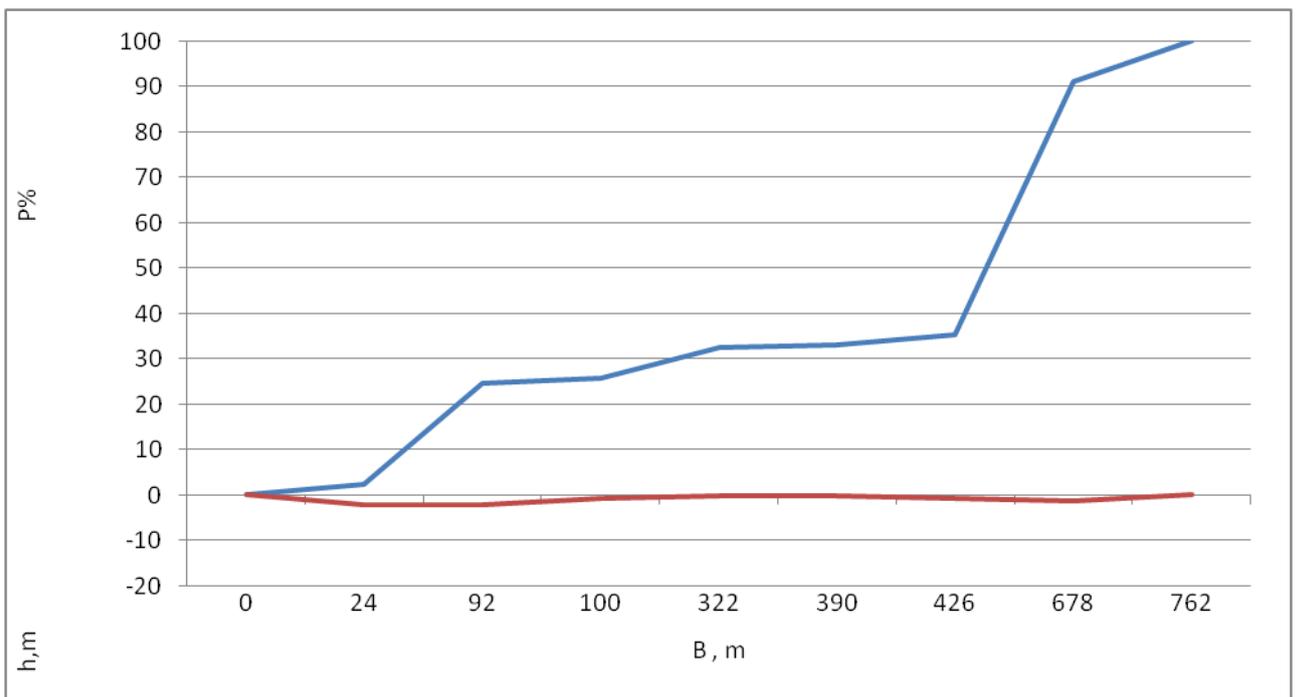
р. Двинница -п.stv



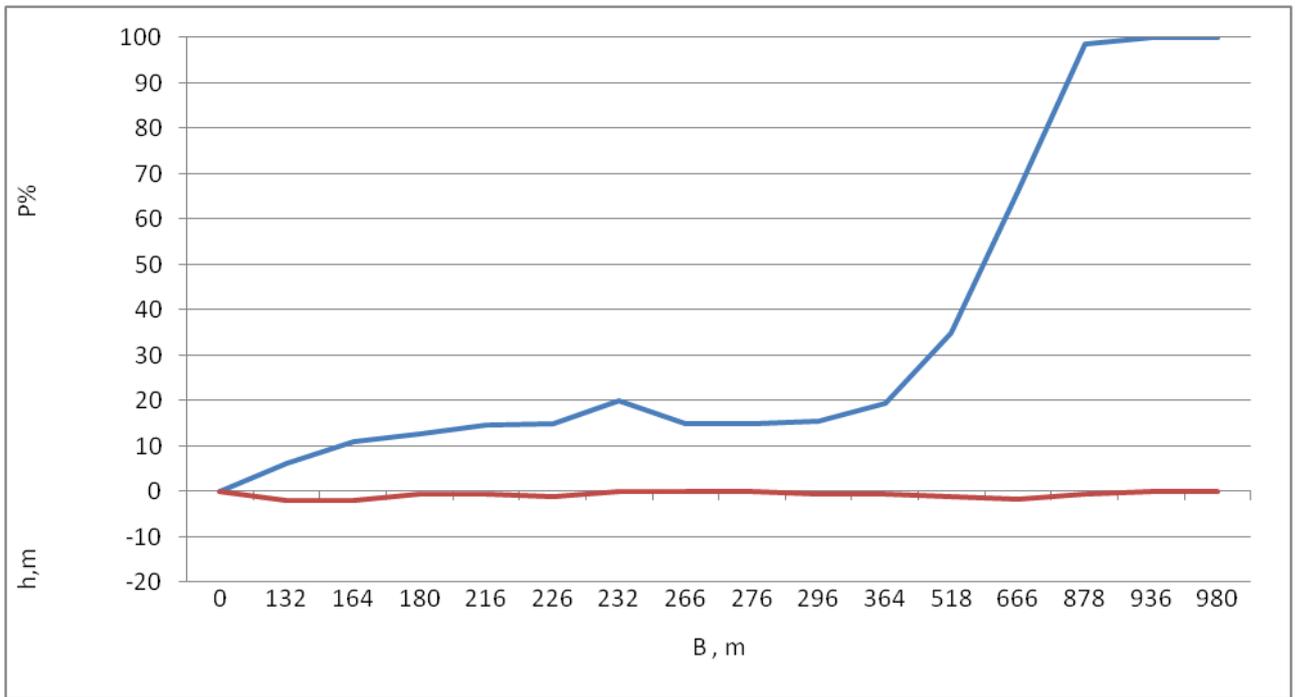
р. Горынь – v.stv



р. Горынь - g.stv



р. Горынь – п.stv



Приложение 4

Планы течений