



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

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Взаимодействие потоков,**
двигающихся с различными
скоростями

Исполнитель Силинская Юлия Александровна

Руководитель Давыденко Екатерина Владимировна

Консультант к.г.н., доцент Исаев Дмитрий Игоревич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

к.г.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

10 июня 2019 г.

Санкт-Петербург
2019



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

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Взаимодействие потоков,
двигающихся с различными
скоростями**

Исполнитель Силинская Юлия Александровна

Руководитель Давыденко Екатерина Владимировна

Консультант к.г.н., доцент Исаев Дмитрий Игоревич

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

К.Г.Н., ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

« » 20 г.

Санкт–Петербург
2019

Оглавление

	Стр.
Введение	3
1 Взаимодействие руслового и пойменного потоков и его типизация	5
2 Изучение эффекта взаимодействия потоков, движущихся с различными скоростями, в лабораторных условиях	11
3 Расчёт скоростного поля потока по методике В.Н. Гончарова	22
3.1 Описание методики	22
3.2 Расчет скоростного поля потока	27
4 Изучение скоростного поля потока в лабораторных условиях	38
Заключение	50
Список использованной литературы	52

ВВЕДЕНИЕ

На территории России более двух миллионов рек, все они в той или иной степени играют важную роль в структуре водопользования. Большая часть рек, протекающих по равнинной территории нашей страны, - это реки с поймами.

Поймы всегда представляли огромный интерес для хозяйственной деятельности человека, современная гидрология также не стала исключением. Постепенно возрастают темпы строительства гидротехнических сооружений, водохозяйственных объектов и другого использования земель, затрагивающих поймы рек. Необходимо не только обеспечить наличие научного обоснования выбора конструкции, оптимального места размещения вышеперечисленных объектов, но и разработать системы их защиты от неблагоприятных воздействий речного потока.

Наибольший интерес в этой ситуации представляют иногда опасные максимальные расходы воды. В связи с тем, что даже не аномальные поднятия уровня воды в реке, будь то привычное весеннее половодье или дождевой паводок, сопровождаются выходом воды на пойму, огромной проблемой являются корректные наблюдения за максимальными расходами на таких реках. Чаще всего эти расходы либо не фиксируются совсем, либо измеряются не ежегодно по причине того, что паводочные работы по измерению расхода при затопленной пойме сопряжены с рядом трудностей, кроме того, они не всегда надёжны.

Помимо этого, распределение скоростей в русле потока неоднородно. Это связано с различной крупностью донных отложений стречневой и прибрежной фракций, зарастанием берегов, а также влиянием различных мезоформ. При взаимодействии потоков,двигающихся с различными скоростями, возникает так называемый кинематический эффект. Это явление связано с кардинальной

перестройкой поля скоростей, поэтому очень важно уделить внимание изучению именно скоростного поля таких сложносоставных потоков.

Цель работы: изучение взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями, а также разработка рекомендаций по внедрению результатов исследований в учебный процесс.

Задачи:

1. Провести ряд экспериментов в лаборатории водных исследований на кафедре гидрометрии в РГГМУ;
2. Проанализировать полученные экспериментальные данные;
3. Произвести построение кривых зависимости $Q = f(H)$ для сложносоставного русла и проанализировать их;
4. Рассчитать средние на вертикалях скорости потока по методике Гончарова и сравнить результаты вычислений с экспериментальными данными.

Разработка надёжной методики вычисления пропускной способности русел с поймами возможна лишь на основе вскрытия механизмов взаимодействия частей потока, имеющих различные скорости, например, русла и поймы. По этой причине очень важно уточнить значимость эффекта взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями.

1 Взаимодействие руслового и пойменного потоков и его типизация

Наиболее часто встречающийся случай сложносоставных русел – русла с поймами, на которых наблюдаются разные глубины, потоки в таких руслах движутся с различными скоростями, параллельно или под различными углами. Пропускная способность русел с поймами имеет свойство существенно изменяться под влиянием дополнительных сопротивлений, возникающих при взаимодействии руслового и пойменного потоков. При движении потока только по пойме эти явления также имеют место быть, так как и ее глубина, и шероховатость могут резко изменяться по ширине. Кроме того, рассматривают случаи, когда шероховатость русла и поймы резко изменяется без заметного изменения глубин, потому что различие скоростей потоков, которое является основной причиной их взаимодействия, изменения пропускной способности и сопротивлений, даже в таких условиях может быть весьма значительным.

Впервые особенности движения потоков в составных руслах рассмотрел Ф. Форхгеймер, который объяснял уменьшение пропускной способности русла возникновением на границе раздела вихрей с вертикальной осью вращения. Ссылаясь именно на образование вихрей, он указывал, что расчетное значение расхода воды, определённое по формуле

$$Q = Q_P + Q_{\Pi} = C_P \sqrt{h_P J_P} \omega_P + C_{\Pi} \sqrt{h_{\Pi} J_{\Pi}} \omega_{\Pi} \quad (1.1)$$

будет больше фактического.

Позже обширные исследования взаимодействующих потоков на модели Элбзасского канала трапециидального сечения проводил М.Эгли, но особенностей поведения потоков в руслах с поймами не выявил. Он в своих выводах говорил о том, что расход распределяется между частями сечения равномерно и пропорционально глубине и шероховатости каждой из частей.

Наличие же поперечных течений он объяснял тем, что в составном русле режим потока неравномерен.

Б.В. Поляков, занимавшийся исследованиями примерно в это же время, также не дал объяснения факту перегиба кривых расходов и значительного отклонения их влево при уровнях выше уровней выхода воды на пойму.

В конце 50-х годов Г.В. Железняков, проанализировав данные экспериментов, направленных на изучение руслового и пойменного потоков, обнаружил, что средние и поверхностные скорости руслового потока существенно уменьшаются под влиянием пойменного. Это явление он назвал кинематическим эффектом взаимодействия безнапорного руслового и пойменного потоков. Именно эксперименты Г.В. Железняка дали толчок началу широкого изучения этой важной, и с научной, и с практической точки зрения, проблемы.

В дальнейшем большинство исследований в самом начале пути изучения данного вопроса выполнялись на моделях, где моделировались русло и пойма (или поймы) при условии параллельности их динамических осей.

По методике, разработанной в Ленинградском гидрометеорологическом институте, осуществлялось изучение эффекта взаимодействия потоков Н.Б. Барышниковым и А.Л. Радюком. При этом измерялись параметры как взаимодействующих потоков, так и изолированных при режимах движения, близких к равномерному.

Из анализа работ вышеперечисленных деятелей науки вытекает следующее: на границе раздела потоков, движущихся с различными скоростями уже на малых скоростях возникает волновая поверхность, расположенная вертикально. С ростом скоростей от этой волновой поверхности начинают отделяться вихри с вертикальной осью вращения, которые затем по закону Кутта-Жуковского перемещаются в сторону того потока, в котором наблюдаются большие скорости. Эти вихри захватывают массы жидкости более

медленного потока, то есть пойменного, и переносят их в русловой. Таким образом пойменный поток осуществляет торможение руслового потока.

На реке Большой Енисей с односторонней каменистой поймой А.Л. Радюк отмечал наличие вихрей по всей длине соприкосновения руслового и пойменного потоков. Диаметр наблюдаемых вихрей варьировался от пятнадцати до ста пятидесяти сантиметров. Продолжительность их «жизни» составляла всего от двух до шести секунд. Выводы о форме вихрей в момент возникновения и к моменту рассеивания были сделаны Н.Б. Барышниковым и В.Г. Саликовым. Так на основе визуальных наблюдений и анализа фотографий, сделанных через небольшие интервалы времени, были сформулированы выводы о том, что вихри имеют форму фигуры, которая ограничена эллипсом, вытянутой формы. Его большая ось постепенно снижается, а к моменту отрыва вихря приобретает форму фигуры, близкой к кругу.

Исследования, направленные на изучение взаимодействия потоков при непараллельности их динамических осей, впервые выполнены Н.А. Ржаницыным, в лаборатории РГГМУ такими исследованиями занимались с 1959 года В.Н. Гончаров и его ученики.

Большое количество энергии затрачивается на образование, перемещение вихрей и на обтекание их русловым потоком, кроме того, энергия тратится еще и на компенсационные (замещающие) течения. Все эти факторы приводят к значительному уменьшению пропускной способности русла и деформации поля скоростей в нём. Величина дополнительного сопротивления в таком случае пропорциональна градиенту скоростей потока и оценивается по формуле

$$\tau = A_b \frac{\partial v}{\partial b}, \quad (1.2)$$

где A_b – коэффициент турбулентного обмена взаимодействующих потоков; $\frac{\partial v}{\partial b}$ – градиент средних на вертикалях в зоне взаимодействия потоков скоростей.

Таким образом, эффект взаимодействия потоков русла и поймы заключается в возникновении в зоне их раздела турбулентного взаимодействия по причине высоких градиентов скоростей. Вихри, образующиеся в этой зоне, переносят массы жидкости из пойменного отсека в русловой, и наоборот, из русла в пойму. На массообмен, образование, перемещение и обтекание потоком вихрей затрачивается огромное количество энергии, в следствие чего увеличиваются сопротивления пойменных русел, уменьшается пропускная способность руслового отсека таких водотоков.

Натурные исследования в этой области позволили установить особенности морфологии русла и поймы в качестве фактора, который и определяет величину сопротивления и эффект взаимодействия пойменного и руслового отсеков потока. Характер изменения ширины долины и, как следствие, ширины поймы определяют положение динамической оси пойменного потока.

По данным наблюдений на ряде рек Европейской территории России Н.Б. Барышников установил, что взаимное расположение динамических осей руслового и пойменного потоков изменяется с увеличением русловых глубин. При этом кривая зависимости $V_p/V_{p.б} = f(h_p/h_{p.б})$ может менять своё направление даже на обратное.

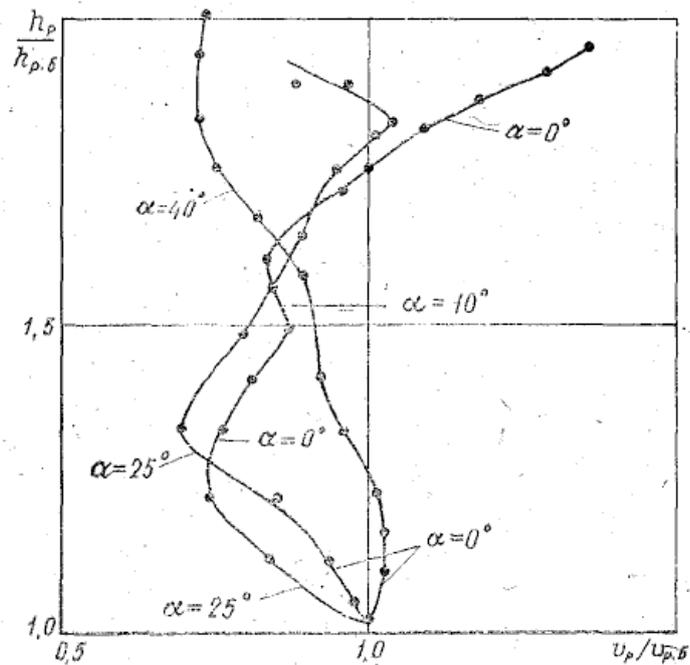


Рисунок 1 – Кривые зависимости $V_p/V_{p,б} = f(h_p/h_{p,б}, \alpha)$ при $\alpha = f(h_p/h_{p,б})$.

Проведённые исследования позволили также выявить наиболее часто встречающиеся случаи взаимного расположения динамических осей руслового и пойменного потоков. На основе этого была разработана типизация процессов взаимодействия руслового и пойменного потоков, первые проработки в которой выполнял Н.Б. Барышников [1].

На первых этапах разработки типизации он выделил 4 типа взаимодействия потоков. Первый тип характеризуется параллельностью динамических осей руслового и пойменного потоков, а, следовательно, и параллельностью геометрических осей русла и поймы. Вторым типом характеризуется расхождением динамических осей, третий – схождением, а четвёртый – пересечением динамических осей руслового и пойменного потоков. Позднее к четырём существующим был добавлен пятый тип взаимодействия потоков. К пятому типу относятся наиболее сложные случаи взаимодействия потоков с двухсторонними, разновысотными поймами и поймами, характер изменения ширины которых по длине потока зависит от конкретного уровня.

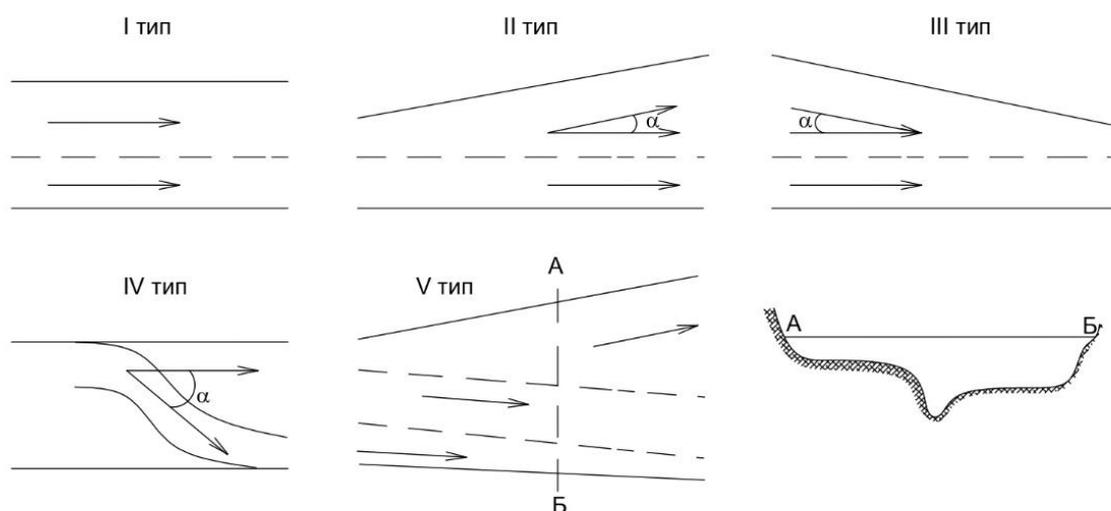


Рисунок 2 – Схема типизации взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Чаще всего в естественных условиях встречается второй тип взаимодействия, так из ста исследованных рек на тридцати двух из них наблюдался именно он. Для естественных потоков характерны значительные изменения морфометрических характеристик, исходя из этого ситуация параллельности динамических осей маловероятна в природных условиях, поэтому логично, что наиболее редкий – первый тип взаимодействия. Но значимостью эффекта взаимодействия в такой ситуации нельзя пренебрегать, ведь большинство створов в системе Росгидромета расположено как раз на прямолинейных участках рек, где ситуация параллельности динамических осей безусловно имеет место быть.

2 Изучение эффекта взаимодействия потоков, движущихся с различными скоростями, в лабораторных условиях

В целях изучения эффекта взаимодействия потоков, движущихся с различными скоростями, была проведена серия экспериментов, в лаборатории водных исследований на кафедре гидрометрии ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрологический университет» был оборудован гидрометрический лоток со стеклянными стенками.

Длина лотка составила 5 метров, ширина - 60 сантиметров, русло лотка прямоугольного поперечного сечения. По всей длине русло лотка было разделено на две части – условно гладкую и шероховатую, ширина шероховатой части – 27 сантиметра, ширина гладкой – 33 сантиметра. Гладкая часть располагалась по левому берегу, шероховатая – по правому. Уклон лотка составил 0,00652 ‰.

При кинематическом эффекте на границе раздела возникают турбулентные вихри с вертикальной осью вращения, перемещающиеся в зону максимальных скоростей и тормозящие ее. Таким образом, пропускная способность объединенного гладкого и шероховатого отсеков должна быть меньше, чем сумма отдельно гладкого и шероховатого.

Для количественного выявления этого эффекта в процессе проведения экспериментов нами было предложено сравнивать между собой кривые $Q = f(H)$ для каждого из этих случаев.



Рисунок 3 – Русло специально оборудованного лотка.

На первом этапе для объединенного, гладкого и шероховатого отсеков была проведена серия экспериментов при различных наполнениях лотка.

На выходе из лотка в зависимости от этапа эксперимента устанавливалась перегородка (либо на сторону гладкой, либо на сторону шероховатой части потока), тем самым один из отсеков изолировался. Также перегородка устанавливалась между частями русла с разной шероховатостью, то есть между гладким и шероховатым отсеками лотка, предотвращая их взаимодействие.

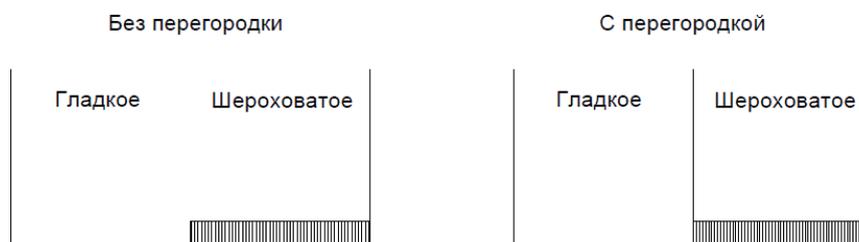


Рисунок 4 – Схема лотка, разделённого на гладкое и шероховатое русла.

Целью экспериментов было получение данных об уровнях и расходах воды в лотке, поэтому моей задачей было измерение уровня воды с помощью шпитцен-масштаба с ценой деления до 1 мм при различных расходах воды.

Расход воды измерялся косвенным методом при помощи треугольного водослива. Он определялся положением уровня воды относительно гребня водослива, измерение напора воды на водосливе производилось также с помощью шпитцен-масштаба с той же ценой деления.

Расход определялся по формуле:

$$Q = 1,4H^{2,5}, \quad (2.1)$$

где H – разница между отсчетом уровня воды в опыте по шпитцен-масштабу и «нулём водослива».

«Нулём водослива» называется такой отсчёт по шпитцен-масштабу, при котором конец мерной иглы уровнемера располагается на отметке гребня водослива. Это положение определяется заранее (до начала проведения экспериментов и наблюдений) с большой точностью. На используемом в опытах водосливе «нуль водослива» составил 36,8 см.

Водослив работал в условиях свободного истечения и был неподтопленным. Таким образом, уровень воды за водосливом не оказывал никакого влияния на определение напора, а, следовательно, и расхода жидкости на самом водосливе.

На 2/3 лотка были назначены три створа через 1 метр, назначать створы на 1/3 лотка показалось некорректным из-за возникающего при подаче воды в русло лотка «бурления» и косоструйности, обусловленной несовершенством самого лотка.

Наблюдения за уровнями производились поэтапно на гладкой и шероховатой частях русла, снимались отметки поверхности воды на каждом

створе и с перегородкой, и без нее. На каждом этапе определялся расход воды, рассчитываемый по формуле (2.1).

Первым этапом было измерение отметок поверхности воды на шероховатой части лотка.

Полученные в ходе опыта результаты измерений на этой части потока представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Результаты наблюдений за уровнями воды H (см) на шероховатой части лотка.

№ п/п	Расход Q , м ³ /с	Отметка уровня H (см)		
		Створ №1	Створ №2	Створ №3
1	0,002	11,2	12	10,5
2	0,003	12,9	13,9	10,3
3	0,007	13,7	14,3	12,6
4	0,007	13,9	14,5	12,9
5	0,006	12,7	13,9	12,7
6	0,007	13,9	14,4	13,5
7	0,005	13,5	13,4	12,8
8	0,004	13,0	12,9	12,6
9	0,003	12,6	12,2	11,6
10	0,001	10,2	10,9	10,5
11	0,002	10,4	11,6	11,7
12	0,003	12,9	13,8	12,2
13	0,012	16,9	17,7	15,7

№ п/п	Расход Q , м ³ /с	Отметка уровня H (см)		
		Створ №1	Створ №2	Створ №3
14	0,018	18,8	20,1	17,0
15	0,019	18,2	19,4	16,3

Затем измерения производились на гладкой части, их результаты представлены в Таблице №2.

Таблица №2 - Результаты наблюдений за уровнями воды H (см) на гладкой части лотка.

№ п/п	Расход Q , м ³ /с	Отметка уровня H (см)		
		Створ №1	Створ №2	Створ №3
1	0,003	8,4	8,9	8,7
2	0,004	8,9	9,45	9,2
3	0,005	9,1	9,55	9,35
4	0,006	9,4	9,7	9,8
5	0,006	9,6	10,4	9,6
6	0,002	8,2	9,3	9,4
7	0,005	9,53	10,1	10,6
8	0,007	10,0	11,5	11,2
9	0,007	9,6	11,0	10,6
10	0,008	10,8	11,5	11,1

№ п/п	Расход Q , м ³ /с	Отметка уровня H (см)		
		Створ №1	Створ №2	Створ №3
11	0,008	10,9	11,2	11,0
12	0,004	9,5	10,2	10,2
13	0,009	11,1	11,3	10,6
14	0,014	13,3	12,5	12,1
15	0,022	15,5	13,3	12,6
16	0,024	17,2	14,1	13,5

После проведения измерений на изолированных потоках, перегородка была убрана и снимались отметки уровней на потоке без перегородки (Таблица №3).

Таблица №3 - Результаты наблюдений за уровнями воды H (см) на лотке без перегородки.

№ п/п	Расход Q , м ³ /с	Отметка уровня H (см)		
		Створ №1	Створ №2	Створ №3
1	0,010	10,4	10,2	9,8
2	0,023	12,3	12,7	12,2
3	0,026	12,6	13,1	12,6
4	0,026	12,8	13,4	12,6
5	0,028	13,1	13,7	12,7
6	0,000	8,5	8,9	8,8

№ п/п	Расход Q , м ³ /с	Отметка уровня H (см)		
		Створ №1	Створ №2	Створ №3
7	0,001	8,8	8,9	9,5
8	0,002	9,3	9,9	9,8
9	0,003	10,0	10,4	10,1
10	0,008	10,7	10,8	10,8
11	0,010	10,4	10,2	9,8
12	0,023	12,3	12,7	12,2
13	0,026	12,6	13,0	12,6
14	0,026	12,8	13,4	12,5
15	0,028	13,1	13,7	12,7

По данным Таблиц №1 - №3 были построены кривые зависимости $Q = f(H)$ для каждого створа (Рисунки 4-6).

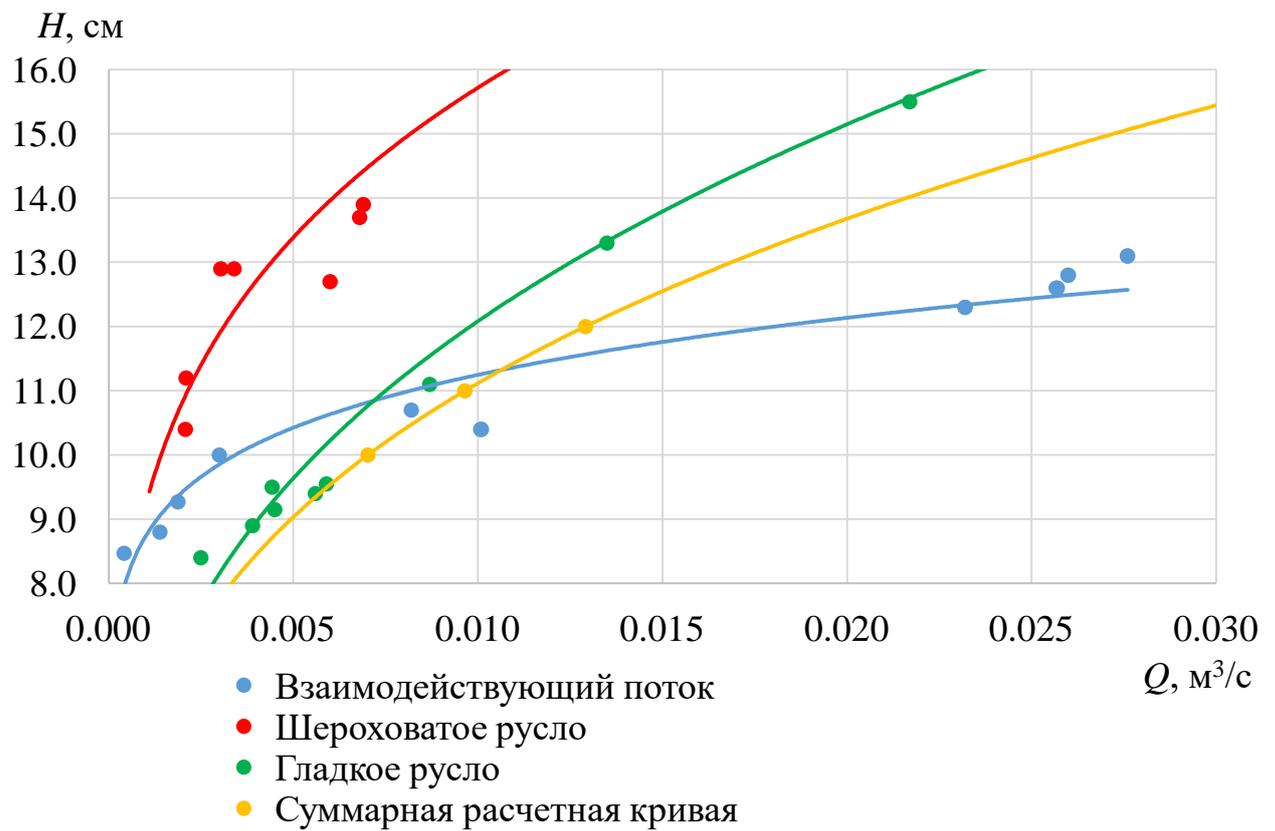


Рисунок 4 – Кривые зависимости $Q = f(H)$ на створе №1.

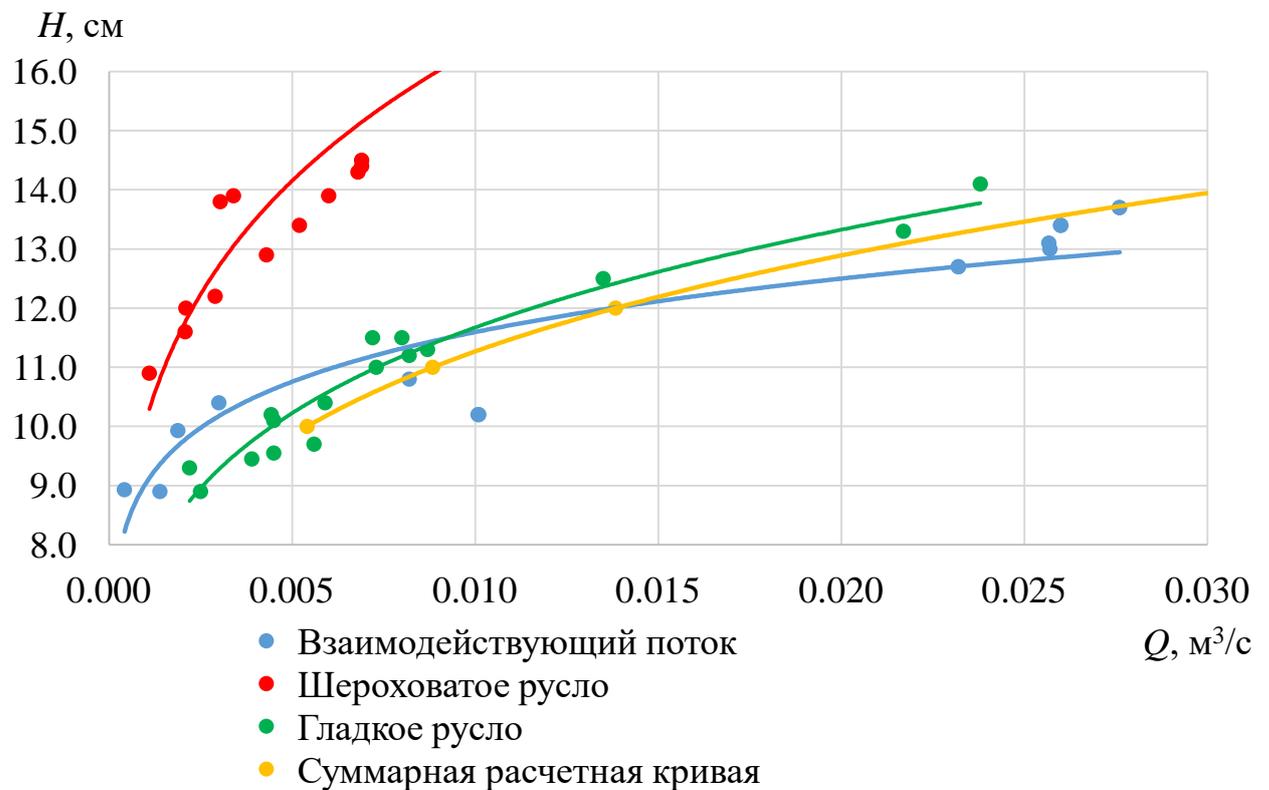


Рисунок 5 – Кривые зависимости $Q = f(H)$ на створе №2.

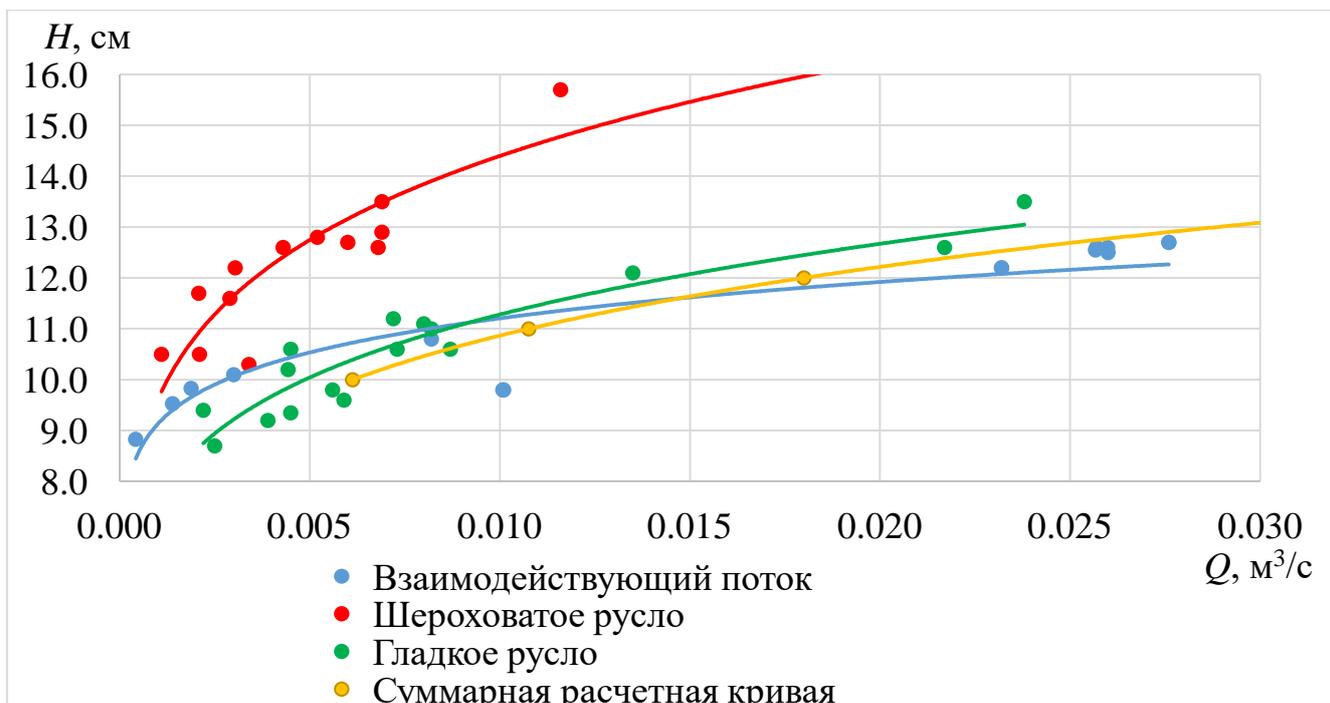


Рисунок 6 – Кривые зависимости $Q = f(H)$ на створе №3.

Анализ полученных кривых показывает, что при малом наполнении лотка, а именно, при уровнях до 11-12 сантиметров, наблюдается соответствие теории взаимодействия потоков русла и поймы, однако при увеличении уровня воды кинематический эффект взаимодействия становится всё менее значимым.

Для количественной оценки скорости, при которой взаимодействие потоков с различными скоростями перестает оказывать влияние на пропускную способность русла был проведен расчет **коэффициента значимости** по формуле:

$$k = \frac{Q_{\text{взаим}}}{Q_{\text{сум}}}; \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{взаим}}$ – расход взаимодействующего потока, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{сум}}$ – сумма отдельных расходов шероховатого и гладкого отсеков, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расчеты были проведены при одних и тех же значениях уровня для каждого из отсеков на всех трёх створах. Кроме коэффициента k , рассчитывалась средняя скорость взаимодействующего потока при различных наполнениях лотка. Результаты расчетов представлены в Таблице №4.

Таблица №4 – Расчет коэффициента значимости k и средней скорости V_{cp} .

H , см	$Q_{пер}$, м ³ /с	$Q_{глад}$, м ³ /с	$Q_{взаим}$, м ³ /с	$Q_{сум}$, м ³ /с	k	h , м	ω , м ²	V_{cp} , м/с
Створ №1								
10	0,001	0,006	0,003	0,007	0,49	0,021	0,013	0,273
11	0,002	0,008	0,008	0,010	0,85	0,031	0,019	0,440
12	0,003	0,010	0,018	0,013	1,40	0,041	0,025	0,735
13	0,004	0,013	0,037	0,017	2,21	0,051	0,031	1,225
Створ №2								
10	0,001	0,004	0,003	0,005	0,47	0,021	0,013	0,203
11	0,002	0,007	0,006	0,009	0,70	0,031	0,019	0,331
12	0,002	0,006	0,014	0,014	0,99	0,041	0,025	0,559
13	0,003	0,018	0,029	0,021	1,38	0,051	0,031	0,940
14	0,005	0,026	0,057	0,031	1,86	0,061	0,037	1,56
Створ №3								
10	0,001	0,005	0,003	0,006	0,46	0,021	0,013	0,221
11	0,002	0,009	0,008	0,011	0,76	0,031	0,019	0,437
12	0,004	0,014	0,022	0,018	1,20	0,041	0,025	0,878
13	0,006	0,023	0,053	0,029	1,83	0,051	0,031	1,73

Результаты вычислений позволяют сделать вывод, что при малом наполнении лотка пропускная способность русла заметно снижается в следствие взаимодействия между русловым и пойменным отсеками, а при увеличении расхода и уровня это взаимодействие не оказывает влияния на расход сложносоставного русла лотка и становится всё менее значимым.

По данным таблицы №4 были построены кривые зависимостей $k = f(V)$ для каждого из створов (Рисунок 7).

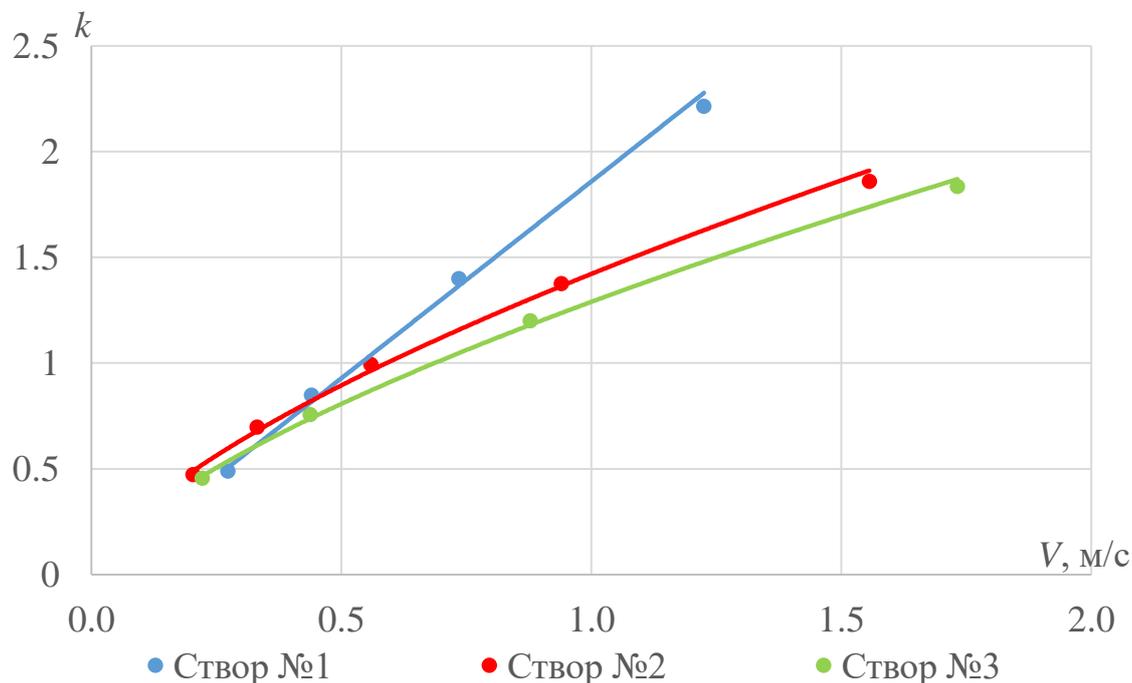


Рисунок 7 – Зависимости $k = f(V)$ для створов №1 - №3.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что при средних скоростях больше 0,6 м/с пропускная способность русла лотка не снижается под влиянием кинематического эффекта взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями.

Для дальнейшего анализа было решено уделить внимание исследованию скоростного поля потока.

3 Расчёт скоростного поля потока по методике В.Н. Гончарова

3.1 Описание методики

На скоростное поле естественного потока оказывают влияние самые различные факторы, такие как шероховатость дна, глубина и уклон водной поверхности, кроме того, существенно влияют растительность в русле, ледовые явления, морфометрические характеристики русла и поймы, русловые деформации, а также ветер и многие другие факторы. Поэтому теоретическое описание скоростного поля естественного русла сопряжено с определёнными трудностями, в то же время расчет эпюры распределения скоростей необходим для решения многих практических и теоретических задач в гидрологии.

Методика расчета полей скоростей была разработана В.Н. Гончаровым для русел прямоугольного сечения.

Несмотря на то, что форма сечения большинства естественных русел описывается параболической зависимостью, в первом приближении возможна её замена прямоугольным сечением.

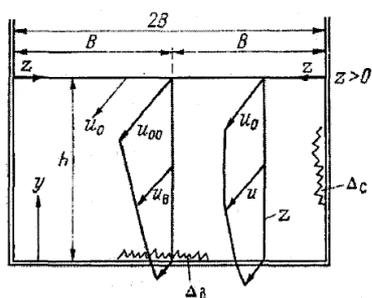


Рисунок 8 – Эпюры скоростей потока в русле прямоугольного сечения.

При рассмотрении методов полей скоростей и сопротивлений равномерных турбулентных потоков на Рисунке 8 приняты следующие обозначения:

$2B$ – ширина потока;

h – глубина потока;

Δ_d – высота выступов шероховатости дна;

Δ_c – высота выступов шероховатости стенок;

y – ордината, имеющая направление от дна к поверхности потока;

z – аппликата, которая направлена от стенок в толщу потока.

Значение z изменяется от 0 у стенок до B в центре потока.

Векторами на рисунке отмечены скорости:

u – местная скорость потока на вертикалях;

v – средняя скорость потока на вертикалях;

u_0 – максимальная скорость потока на вертикалях;

V – средняя скорость всего потока;

u_{00} – максимальная скорость всего потока.

Методика разрабатывалась с учётом следующих допущений:

1 – характер изменения скоростей в левой и правой частях потока идентичен, то есть поток симметричен;

2 – на значение местной скорости на вертикали влияние оказывают только расстояние от этой вертикали до тормозящей стенки и средняя скорость. Поэтому имеем одинаковое влияние на всех частицы жидкости, находящиеся на вертикали, боковых стенок.

Учет этих допущений позволяет применять для расчета полей скоростей по вертикалям и горизонталям пространственного потока формулы, полученные для плоского потока.

Для расчета скоростей на произвольно взятой отдельной вертикали используем логарифмическую зависимость:

$$u = u_l \frac{\ln \frac{r + c}{c}}{\ln \frac{l}{c}}, \quad (3.1)$$

где c – постоянная, имеющая размерность длины и равная $0,06\Delta$;

l – наибольшее расстояние от тормозящей стенки (дна) до точки, в которой наблюдается максимальная скорость;

r – любая координата;

u_l – максимальная скорость потока на вертикали, расположенная на поверхности.

В нашем случае для открытого потока $l = h$, а $u_l = u_0$, $r = y$, поэтому формула (3.1) может быть записана в виде:

$$u = u_0 \frac{\ln \frac{y + c_d}{c_d}}{\ln \frac{h}{c_d}} = u_0 \frac{\lg \left(\frac{16,7y}{\Delta_d} + 1 \right)}{\lg \frac{16,7h}{\Delta_d}}. \quad (3.2)$$

Ранее В.Н. Гончаровым была получена зависимость между средней и максимальной скоростями:

$$\frac{V}{u_0} = \frac{\ln \frac{h}{2,71c}}{\ln \frac{h}{c}} = \frac{\ln \frac{6,15h}{\Delta}}{\ln \frac{16,7h}{\Delta}}. \quad (3.3)$$

Подставляя в (3.2) вместо максимальной скорости из (3.3) значение средней на вертикали скорости, получаем:

$$u = v \frac{\log\left(16,7 \frac{y}{\Delta_d} + 1\right)}{\log \frac{6,15h}{\Delta_d}}. \quad (3.4)$$

Аналогично выполняется расчет распределения скоростей по ширине потока.

Применяем формулу (3.1) к расчёту распределения поверхностных скоростей по ширине потока:

$$u_0 = u_{00} \frac{\ln \frac{z + c_c}{c_c}}{\ln \frac{B}{c_c}} = u_{00} \frac{\log\left(\frac{16,7z}{\Delta_c} + 1\right)}{\log \frac{16,7B}{\Delta_c}}. \quad (3.5)$$

Подставляем (3.5) в (3.2) и получаем:

$$\begin{aligned} u &= u_{00} \frac{\ln \frac{y + c_d}{c_d} \ln \frac{z + c_c}{c_c}}{\ln \frac{h}{c_d} \ln \frac{B}{c_c}} = u_{00} \frac{\ln\left(\frac{16,7y}{\Delta_d} + 1\right) \ln\left(\frac{16,7z}{\Delta_c} + 1\right)}{\ln \frac{16,7h}{\Delta_d} \ln \frac{16,7B}{\Delta_c}} \\ &= u_{00} \frac{\log\left(\frac{16,7y}{\Delta_d} + 1\right) \log\left(\frac{16,7z}{\Delta_c} + 1\right)}{\log \frac{16,7h}{\Delta_d} \log \frac{16,7B}{\Delta_c}}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Необходимо рассчитать расход воды для расчета местных скоростей через среднюю скорость потока:

$$Q = 2 \int_0^B \int_0^h u dy dz = 2BhV. \quad (3.7)$$

Далее методика В.Н. Гончарова предусматривает ряд допущений и предполагает подстановку (3.6) в (3.7), таким образом, получаем:

$$V = u_{00} \frac{\ln \frac{6,15h}{\Delta_d} \ln \frac{6,15B}{\Delta_c}}{\ln \frac{16,7h}{\Delta_d} \ln \frac{16,7B}{\Delta_c}}. \quad (3.8)$$

Преобразуя (3.6) с учётом (3.8), получим:

$$\begin{aligned} u &= V \frac{\ln \left(\frac{16,7y}{\Delta_d} + 1 \right) \ln \left(\frac{16,7z}{\Delta_c} + 1 \right)}{\ln \frac{6,15h}{\Delta_d} \ln \frac{6,15B}{\Delta_c}} \\ &= V \frac{\log \left(\frac{16,7y}{\Delta_d} + 1 \right) \log \left(\frac{16,7z}{\Delta_c} + 1 \right)}{\log \frac{6,15h}{\Delta_d} \log \frac{6,15B}{\Delta_c}}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

С помощью формулы (3.9) можно рассчитать поле скоростей потока прямоугольного сечения. [1]

Подводя итоги, по методике расчёта скоростного поля потока, разработанной В. Н. Гончаровым, для вычисления максимальной скорости потока имеем формулу:

$$u_{00} = V \frac{\log \frac{16,7h}{\Delta_d} \log \frac{16,7B}{\Delta_c}}{\log \frac{6,15h}{\Delta_d} \log \frac{6,15B}{\Delta_c}}. \quad (3.10)$$

Максимальные скорости на отдельно взятых вертикалях вычисляем с помощью формулы (3.5), местные скорости на каждой из этих вертикалей – по формуле (3.9), а затем средние на указанных вертикалях скорости – по формуле:

$$v = u_0 \frac{\log \frac{6,15h}{\Delta_d}}{\log \frac{6,17h}{\Delta_d}}. \quad (3.11)$$

3.2 Расчет скоростного поля потока

Прежде всего для расчета скоростного поля потока в лотке по методике В. Н. Гончарова, описанной в предыдущей главе, нам необходимы данные о средней скорости потока, глубине и ширине, а также высоте выступов шероховатости.

Для получения этих данных были использованы результаты первого этапа экспериментов (Таблицы №1 - №3).

Расчеты выполнялись для створа №3, по причине того, что он испытывает наименьшее воздействие косоструйности и других факторов, обусловленных близким расположением первого и второго створов к началу лотка.

Высоту выступов шероховатости определяли методом подбора с использованием формулы для коэффициента Шези:

$$C = \frac{Q}{\omega \sqrt{hJ}}, \quad (3.12)$$

где Q - расход воды, м³/с;

ω – площадь водного сечения, м²;

h – глубина потока, м;

J – уклон, ‰.

Затем методом подбора обратным путём определяли высоту выступов шероховатости с помощью формулы:

$$C = 4 \lg \frac{6,15h}{\Delta} \sqrt{2g}, \quad (3.13)$$

где Δ - высота выступов шероховатости, м.

Кроме того, было решено определить высоту выступов шероховатости стенки, равной по сопротивлению гладкой, по формуле:

$$\Delta_{\text{гл}} = \frac{h}{\left(\frac{Re + 800}{41}\right)^{0,92}}, \quad (3.14)$$

где Re – число Рейнольдса,

$\Delta_{\text{гл}}$ – высота выступов шероховатой стенки, равной по сопротивлению гладкой, м.

Результаты вышеперечисленных расчетов для гладкого русла представлены в Таблице №5.

Таблица №5 – Расчет высоты выступов шероховатости гладкой части лотка.

№	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	C	$U_{\text{ср}}, \text{ м/с}$	Re	$\Delta, \text{ м}$	$\Delta_{\text{гл}}, \text{ м}$
1	0,003	0,008	0,0026	131,1	0,947	7576	0,000000002	0,0000599
2	0,004	0,013	0,0043	98,7	0,909	11818	0,000000213	0,0000668
3	0,005	0,0145	0,0048	96,7	0,940	13636	0,000000309	0,0000658
4	0,006	0,019	0,0063	80,2	0,893	16970	0,000003447	0,0000713
5	0,006	0,017	0,0056	99,9	1,05	17879	0,000000240	0,0000609
6	0,002	0,015	0,0050	44,9	0,444	6667	0,000267551	0,0001249
7	0,005	0,027	0,0089	38,1	0,505	13636	0,001178011	0,0001226
8	0,007	0,033	0,0109	45,1	0,661	21818	0,000578736	0,0000991
9	0,007	0,027	0,0089	61,7	0,819	22121	0,000054209	0,0000801
10	0,008	0,032	0,0106	52,4	0,758	24242	0,000215271	0,0000875
11	0,008	0,031	0,0102	56,4	0,802	24848	0,000125108	0,0000829

№	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	C	$U_{\text{cp}}, \text{ м/с}$	Re	$\Delta, \text{ м}$	$\Delta_{\text{гЛ}}, \text{ м}$
12	0,004	0,023	0,0076	47,7	0,584	13424	0,000288038	0,0001059
13	0,009	0,027	0,0089	73,6	0,976	26364	0,000011629	0,0000685
14	0,014	0,042	0,0139	58,9	0,974	40909	0,000122783	0,0000718
15	0,022	0,047	0,0155	79,9	1,40	65758	0,000008888	0,0000523
16	0,024	0,056	0,0185	67,4	1,29	72121	0,000053935	0,0000573

Среднее значение Δ составило 0,00018 метра для этой части лотка, $\Delta_{\text{гЛ}}$ – 0,00008 метра.

Результаты расчетов высоты выступов шероховатости шероховатой части русла представлены в Таблице №6.

Таблица №6 – Расчет высоты выступов шероховатости шероховатой части лотка.

№	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	C	$U_{\text{cp}}, \text{ м/с}$	Re	$\Delta, \text{ м}$	$\Delta_{\text{гЛ}}, \text{ м}$
1	0,002	0,026	0,0070	23,0	0,299	7778	0,008069282	0,0001906
2	0,003	0,024	0,0065	41,9	0,525	12593	0,000632322	0,0001168
3	0,007	0,047	0,0127	30,6	0,536	25185	0,005402598	0,0001243
4	0,007	0,05	0,0135	28,3	0,511	25556	0,007760354	0,0001305
5	0,006	0,048	0,0130	26,2	0,463	22222	0,009826968	0,0001418
6	0,007	0,056	0,0151	23,9	0,456	25556	0,015440754	0,0001461
7	0,005	0,049	0,0132	22,0	0,393	19259	0,017272529	0,0001644
8	0,004	0,047	0,0127	19,4	0,339	15926	0,023353675	0,0001864

№	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	C	$U_{\text{cp}}, \text{ м/с}$	Re	$\Delta, \text{ м}$	$\Delta_{\text{гл}}, \text{ м}$
9	0,003	0,037	0,0100	18,7	0,290	10741	0,020032673	0,0002064
10	0,001	0,026	0,0070	12,0	0,157	4074	0,033462290	0,0003205
11	0,002	0,038	0,0103	12,9	0,203	7704	0,043791031	0,0002807
12	0,003	0,043	0,0116	15,6	0,262	11259	0,034610220	0,0002304
13	0,012	0,078	0,0211	24,4	0,551	42963	0,020048678	0,0001277
14	0,018	0,091	0,0246	29,9	0,729	66296	0,011456171	0,0001005
15	0,019	0,084	0,0227	36,5	0,855	71852	0,004460137	0,0000862

Среднее значение высоты выступов шероховатости Δ шероховатой части лотка составило 0,017 метра, $\Delta_{\text{гл}} - 0,0001$ метра.

Для дальнейших расчетов были использованы значения высоты выступов шероховатости, полученные по формуле (3.14).

Расчёты скоростного поля выполнялись и для гладкой, и для шероховатой частей лотка.

По формуле (3.10) вычисляем максимальную скорость потока на гладком и шероховатом отсеках:

- 1) $u_{00} = 1,27 \text{ м/с}$ – гладкое русло;
- 2) $u_{00} = 0,506 \text{ м/с}$ – шероховатое русло;

Затем по формуле (3.5) определяем максимальные скорости на отдельных скоростных вертикалях. Результаты этих расчётов представлены в Таблицах №7 - №8.

Таблица №7 – Расчет максимальных скоростей на отдельных вертикалях гладкого отсека лотка.

№ вертикали	z , м	U_0 , м/с
1	0,00008	0,327
2	0,033	1,01
3	0,066	1,09
4	0,132	1,17
5	0,198	1,21
6	0,330	1,27
7	0,462	1,22

По данным Таблицы №7 построена эпюра распределения максимальных на вертикалях скоростей по ширине гладкой части лотка (Рисунок 9).

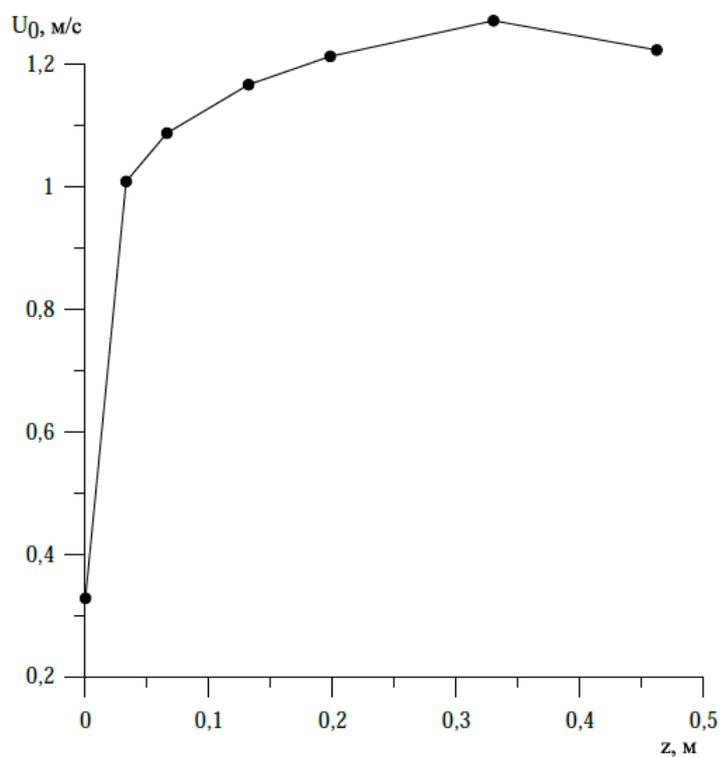


Рисунок 9 – Эпюра распределения максимальных на вертикалях скоростей по ширине гладкой части лотка.

Таблица №8 - Расчет максимальных скоростей на отдельных вертикалях шероховатого отсека лотка.

№ вертикали	z , м	U_0 , м/с
1	0,0002	0,143
2	0,027	0,392
3	0,054	0,426
4	0,108	0,461
5	0,162	0,481
6	0,270	0,506
7	0,378	0,561

По данным Таблицы №8 была построена эпюра распределения максимальных на вертикалях скоростей по ширине шероховатой части лотка (Рисунок 10).

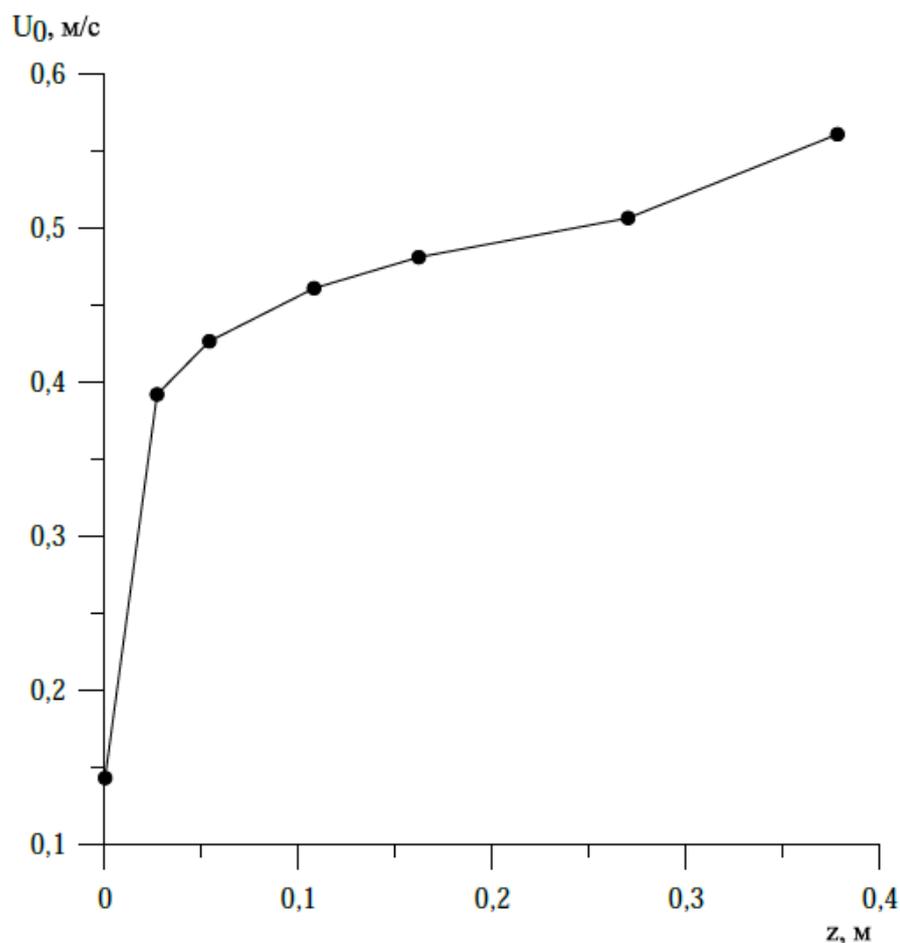


Рисунок 10 - Эпюра распределения максимальных на вертикалях скоростей по ширине шероховатой части лотка.

Следующий этап – расчёт и построение эпюр распределения местных скоростей на каждой из вертикалей, упомянутых ранее.

Расчёт выполнялся по формуле (3.9) отдельно для гладкого и шероховатого отсеков. Результаты расчётов представлены в Таблицах №9 - №10.

Таблица №9 – Распределение местных скоростей на вертикалях гладкого отсека лотка.

№ точек	y, м	u, м/с						
		z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅	z ₆	z ₇
1	0,00008	0,082	0,252	0,272	0,292	0,304	0,318	0,271

№ точек	y, м	u, м/с						
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇
2	0,00270	0,181	0,557	0,600	0,644	0,669	0,701	0,694
3	0,00809	0,212	0,653	0,704	0,755	0,785	0,823	0,831
4	0,01348	0,227	0,698	0,752	0,807	0,839	0,880	0,894
5	0,01618	0,232	0,714	0,770	0,826	0,858	0,900	0,917
6	0,02157	0,240	0,739	0,797	0,855	0,889	0,932	0,953
7	0,02697	0,247	0,759	0,818	0,878	0,912	0,956	0,980

По данным предыдущей Таблицы №9 построена эпюра распределения местных скоростей на вертикалях для гладкого русла (Рисунок 11).

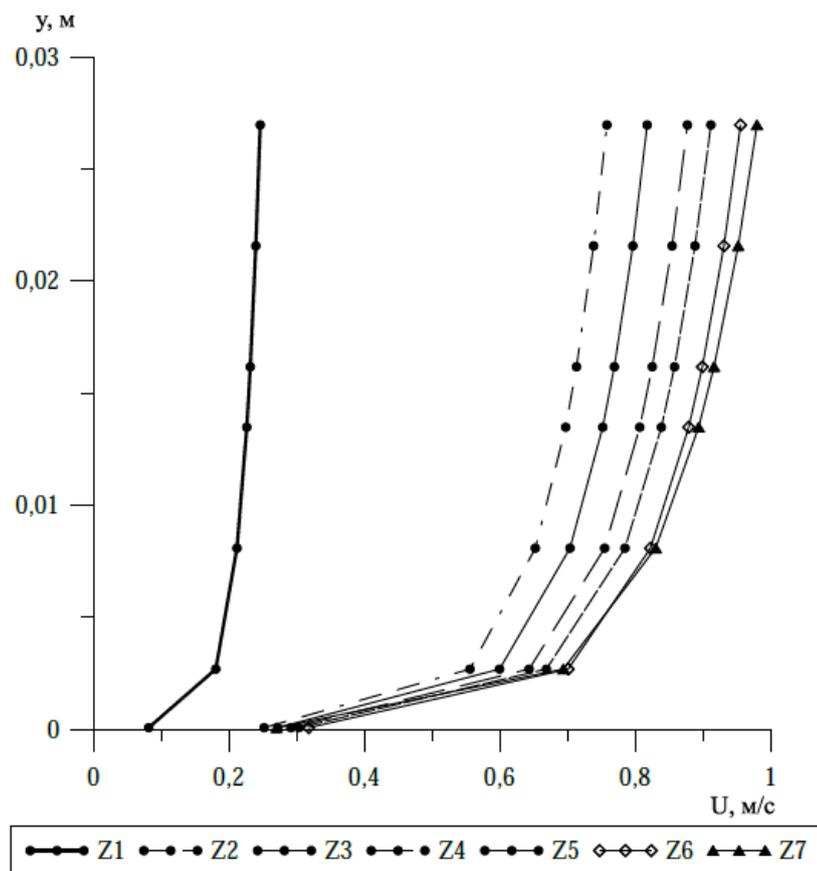


Рисунок 11 - Эпюра распределения местных скоростей на вертикалях для гладкого русла.

Таблица №10 - Распределение местных скоростей на вертикалях шероховатого отсека лотка.

№ точек	y, м	u, м/с						
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇
1	0,00017	0,039	0,108	0,118	0,127	0,133	0,140	0,165
2	0,00496	0,085	0,233	0,253	0,274	0,286	0,301	0,319
3	0,01488	0,100	0,274	0,298	0,322	0,337	0,354	0,370
4	0,02480	0,107	0,293	0,319	0,345	0,360	0,379	0,393
5	0,02976	0,109	0,300	0,327	0,353	0,369	0,388	0,402
6	0,03968	0,113	0,311	0,338	0,366	0,382	0,402	0,415
7	0,04960	0,116	0,320	0,348	0,376	0,392	0,413	0,425

По данным Таблицы №10 построена эпюра распределения местных скоростей на вертикалях для шероховатого русла (Рисунок 12).

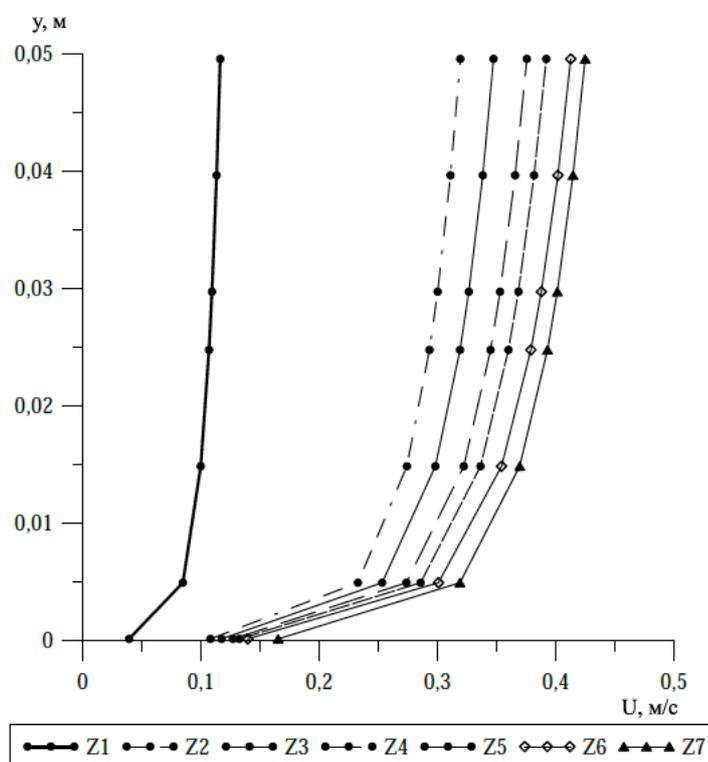


Рисунок 12 - Эпюра распределения местных скоростей на вертикалях для шероховатого русла.

Последним этапом было определение средних скоростей для каждой вертикали и построение эпюры их распределения по ширине отсеков лотка.

Средние скорости на вертикали определялись по формуле (3.11), результаты представлены в Таблицах №11 - №12.

Таблица №11 – Расчет средних на вертикалях гладкой части лотка скоростей.

№ вертикали	z, м	v, м/с
1	0,00008	0,290
2	0,033	0,891
3	0,066	0,961
4	0,132	1,03
5	0,198	1,07
6	0,330	1,12
7	0,462	1,07

Таблица №12 - Расчет средних на вертикалях шероховатой части лотка скоростей.

№ вертикали	z, м	v, м/с
1	0,0002	0,126
2	0,027	0,346
3	0,054	0,376
4	0,108	0,406
5	0,162	0,424
6	0,270	0,447
7	0,378	0,500

Затем результаты расчетов отдельно для гладкой и шероховатой частей были объединены и построена эпюра распределения средних на вертикалях скоростей по ширине всего лотка (Рисунок 13).

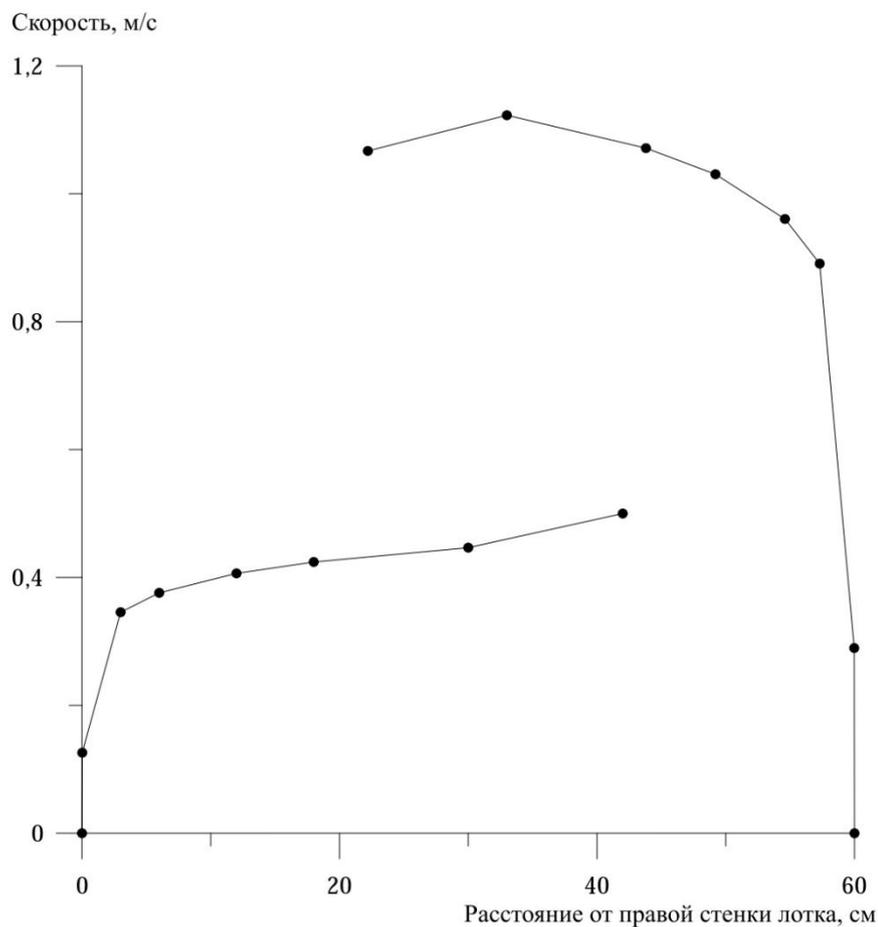


Рисунок 13 – Эпюра распределения средних на вертикалях скоростей по ширине всего лотка.

Таким образом, по методике В.Н. Гончарова было рассчитано скоростное поле потока в русле лотка прямоугольного сечения.

4 Изучение скоростного поля потока в лабораторных условиях

С целью последующего сравнения данных, полученных в ходе расчета в разделе 3.2, с опытными данными было принято решение провести еще одну серию экспериментов, направленных уже на получение экспериментальных данных о скоростном поле потока.

Для проведения эксперимента использовали тот же гидрометрический лоток со стеклянными стенками, с разделенным на две части дном и перегородкой между отсеками с разной шероховатостью.

Уклон лотка остался неизменным (0,00652 ‰).

На трёх створах, назначенных так же на второй трети лотка, но уже через 60 сантиметров, производились наблюдения за скоростью потока.

На каждом створе через полтора-два сантиметра по всей ширине лотка были измерены скорости потока на глубине равной половине от наблюдаемой в этот момент. Скорости измерялись с перегородкой, отдельно на гладкой и шероховатой обособленных частях, затем перегородка была убрана, и изучалось скоростное поле взаимодействующего потока.

Скорости измерялись с помощью гидрометрической микровертушки ГМЦМ-1, которая и предназначена для измерения усреднённой за время наблюдения скорости течения потока воды в точках сечения естественных и искусственных водотоков с открытым руслом.

Уровни для определения глубины и расход воды определялись тем же образом, что и на первом этапе экспериментов, то есть, посредством шпитцен-масштаба и треугольного водослива, соответственно. Расход воды на протяжении эксперимента поддерживался постоянным (0,019 м³/с).

Результаты измерений скорости потока на створе №1 представлены в Таблице №13.

Таблица №13 - Результаты наблюдений за скоростью потока на створе №1.

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
3	0,321	3	0,322
5	0,33	5	0,357
7	0,35	7	0,369
9	0,341	9	0,371
11	0,319	11	0,37
13	0,311	13	0,382
15	0,295	15	0,352
17	0,33	17	0,361
19	0,334	19	0,378
21	0,366	21	0,371
23	0,345	23	0,374
25	0,356	25	0,389
27	0,436	26	0,41
29	0,56	29	0,655
31	0,66	31	0,703
33	0,795	33	0,809

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
35	0,861	35	0,859
37	0,905	37	0,899
39	0,912	39	0,929
41	0,908	41	0,945
43	0,904	43	0,932
45	0,927	45	0,93
47	0,94	47	0,938
49	0,955	49	0,941
51	0,94	51	0,945
53	0,923	53	0,949
55	0,905	55	0,954
57	0,890	57	0,931
58	0,886	58	0,929

По данным Таблицы №13 была построена эпюра распределения скоростей по ширине потока на створе №1 (Рисунок 14).

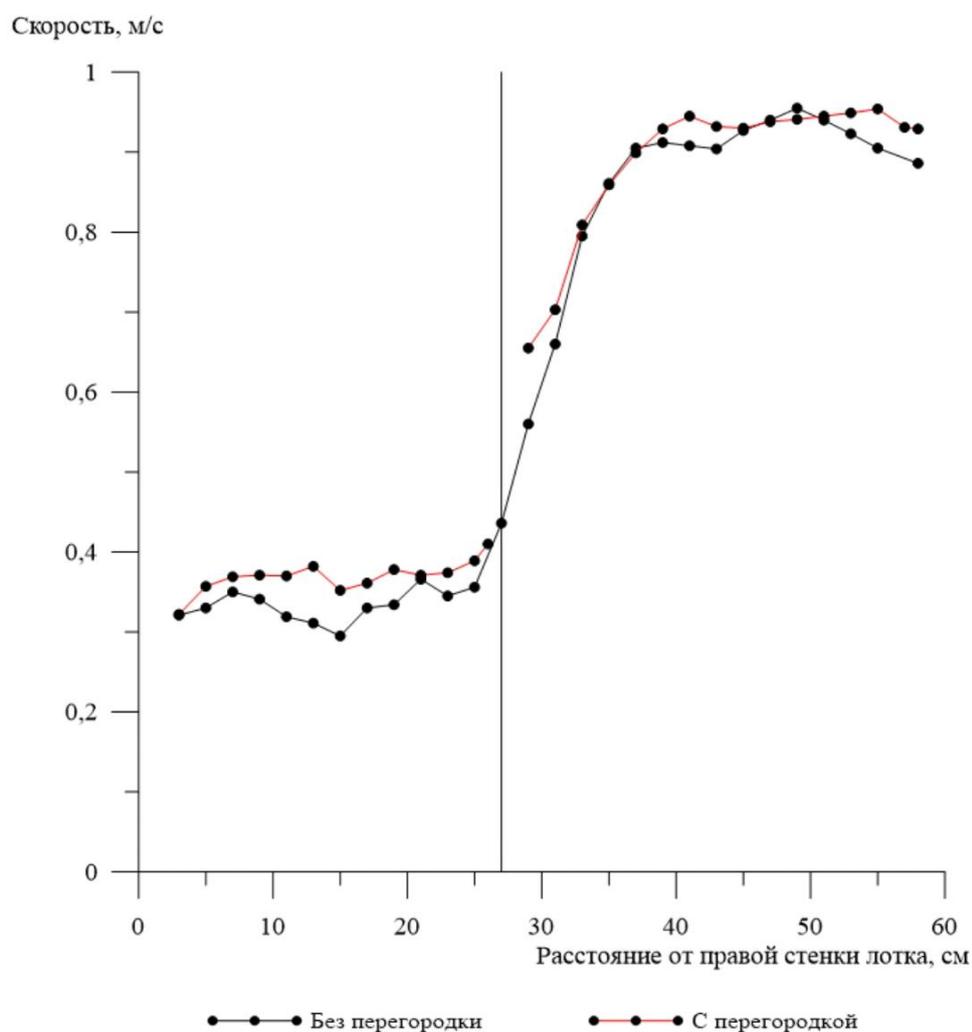


Рисунок 14 - Эпюры распределения скоростей по ширине потока на створе №1.

Результаты измерений скорости потока на створе №2 представлены в Таблице №14.

Таблица №14 - Результаты наблюдений за скоростью потока на створе №2.

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
3	0,405	3	0,420
5	0,430	5	0,438

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
7	0,435	7	0,445
9	0,425	9	0,453
11	0,427	11	0,436
13	0,425	13	0,430
15	0,370	15	0,388
17	0,426	17	0,417
19	0,425	19	0,418
21	0,439	21	0,378
23	0,430	23	0,399
25	0,450	25	0,370
27	0,460	26	0,362
29	0,666	29	0,625
31	0,768	31	0,638
33	0,878	33	0,747
35	0,841	35	0,902
37	0,907	37	0,889
39	0,914	39	0,937
41	0,920	41	0,987

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
43	0,911	43	1,00
45	0,927	45	1,01
47	0,94	47	1,03
49	0,986	49	1,03
51	0,958	51	1,04
53	0,982	53	1,02
55	0,922	55	1,04
57	0,904	57	1,02
58	0,901	58	0,990

По данным Таблицы №14 была построена эпюра распределения скоростей по ширине лотка на створе №2 (Рисунок 15).

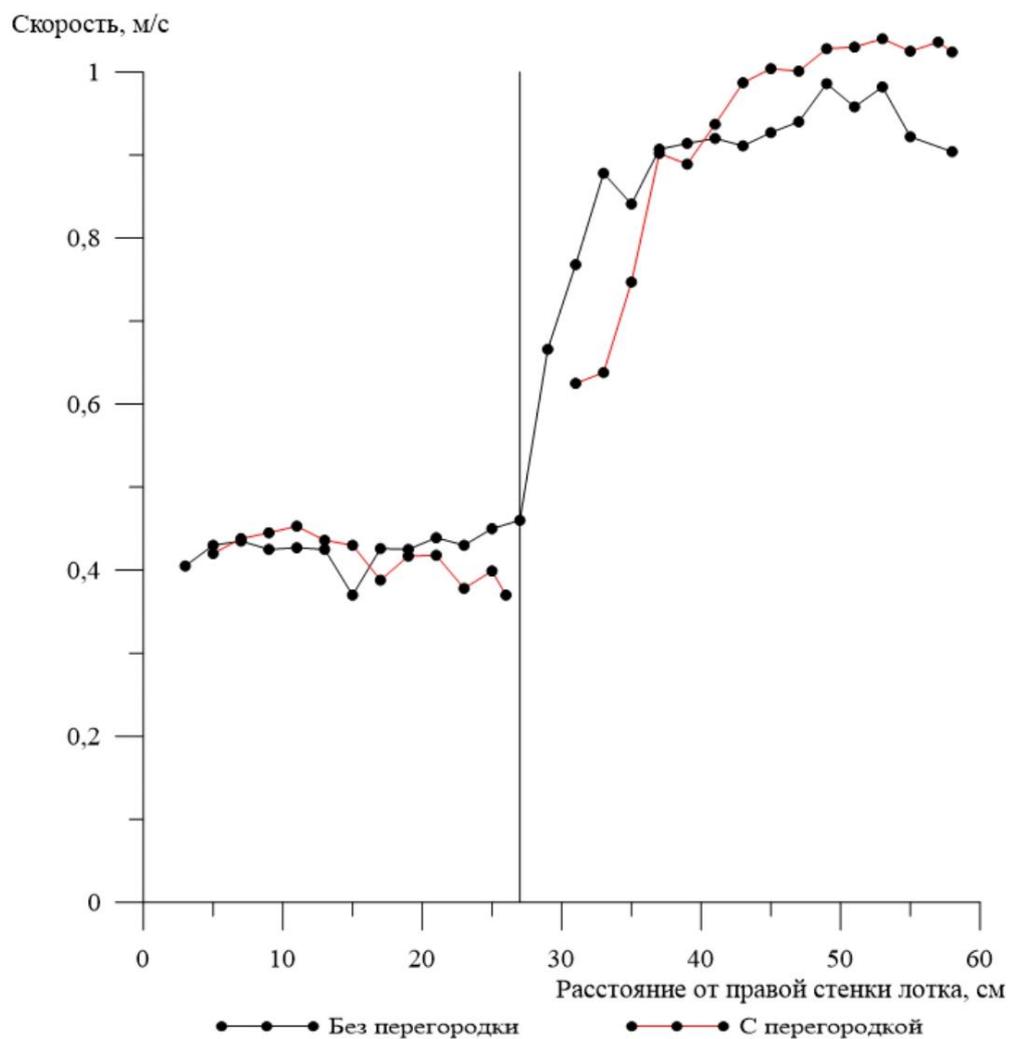


Рисунок 15 - Эпюра распределения скоростей по ширине потока на створе №2.

Результаты наблюдения за скоростями на створе №3 представлены в Таблице №15.

Таблица №15 - Результаты наблюдений за скоростью потока на створе №3.

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
3	0,384	3	0,376
5	0,408	5	0,403

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
7	0,403	7	0,42
9	0,412	9	0,424
11	0,400	11	0,444
13	0,409	13	0,425
15	0,417	15	0,417
17	0,410	17	0,414
19	0,406	19	0,404
21	0,412	21	0,39
23	0,430	23	0,378
25	0,442	25	0,37
27	0,519	26	0,372
29	0,611	29	0,794
31	0,779	31	0,905
33	0,895	33	1,00
35	0,945	35	1,01
37	0,975	37	1,02
39	0,987	39	1,04
41	0,994	41	1,04
43	0,997	43	1,06

Взаимодействующий поток		Изолированные потоки	
Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с	Расстояние от правой стенки лотка, см	Скорость, м/с
45	1,01	45	1,06
47	1,05	47	1,08
49	1,09	49	1,10
51	1,08	51	1,12
53	1,08	53	1,09
55	1,04	55	1,05
57	1,01	57	1,01
58	0,991	58	0,993

По данным Таблицы №15 также была построена эпюра распределения скоростей потока по ширине лотка на створе №3, которая представлена на Рисунке 16.

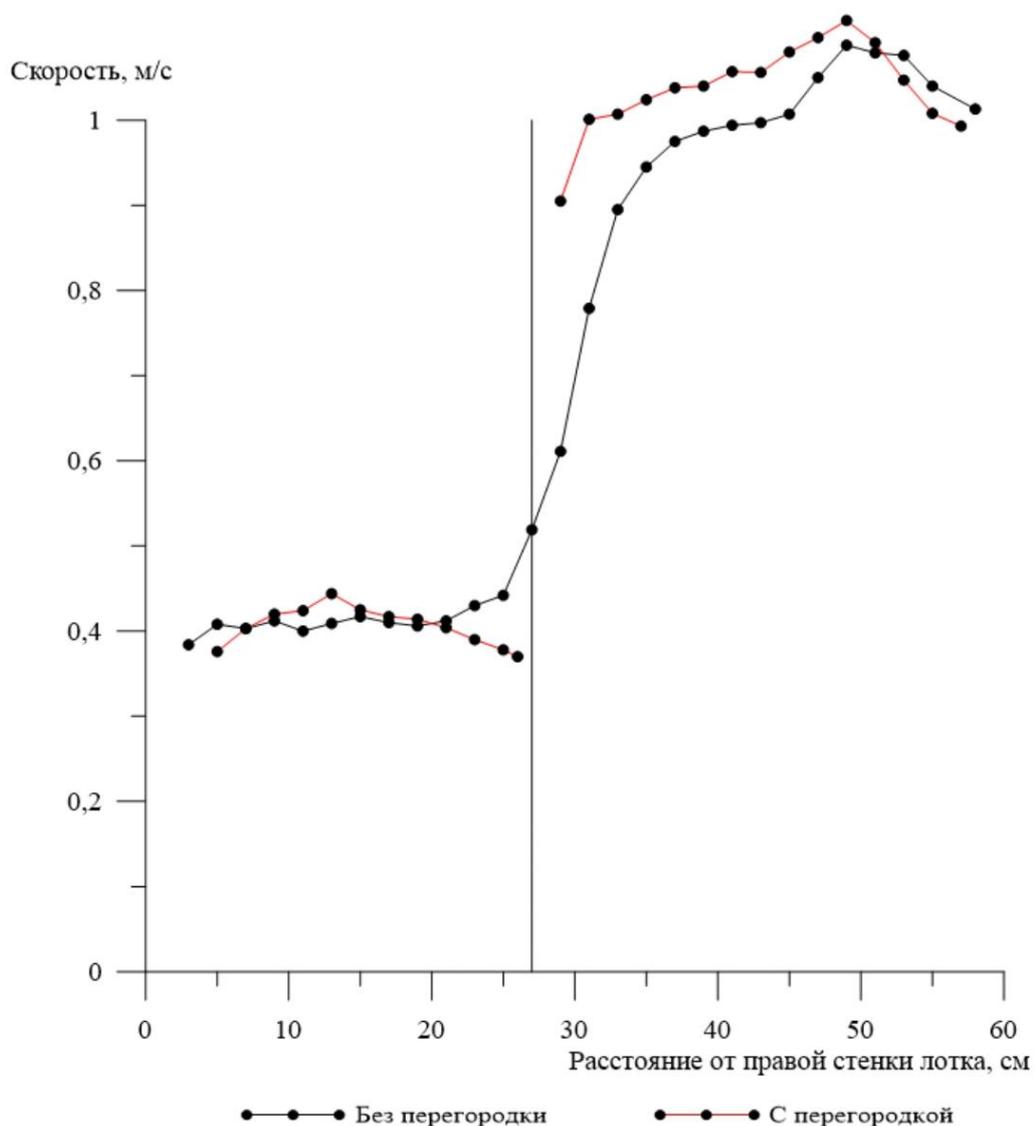


Рисунок 16 - Эпюра распределения скоростей по ширине потока на створе №3.

Исходя из распределения скоростей, можно сделать вывод, что, как и предполагалось, скорости над гладкой частью при измерении скоростей взаимодействующего потока заметно снижаются, если сравнивать их со скоростями изолированных перегородкой потоков.

Из дальнейшего анализа были изъяты результаты наблюдений на створе №1, так как он оказался расположен слишком близко к началу лотка, вследствие чего огромное искажающее влияние на результаты измерений на этом створе оказывала косоструйность.

Следующим этапом работы было сравнение скоростей изолированных и взаимодействующего потоков. На Рисунке 16 представлено относительное отклонение скоростей изолированных потоков от скоростей взаимодействующего на створах №2 и №3.

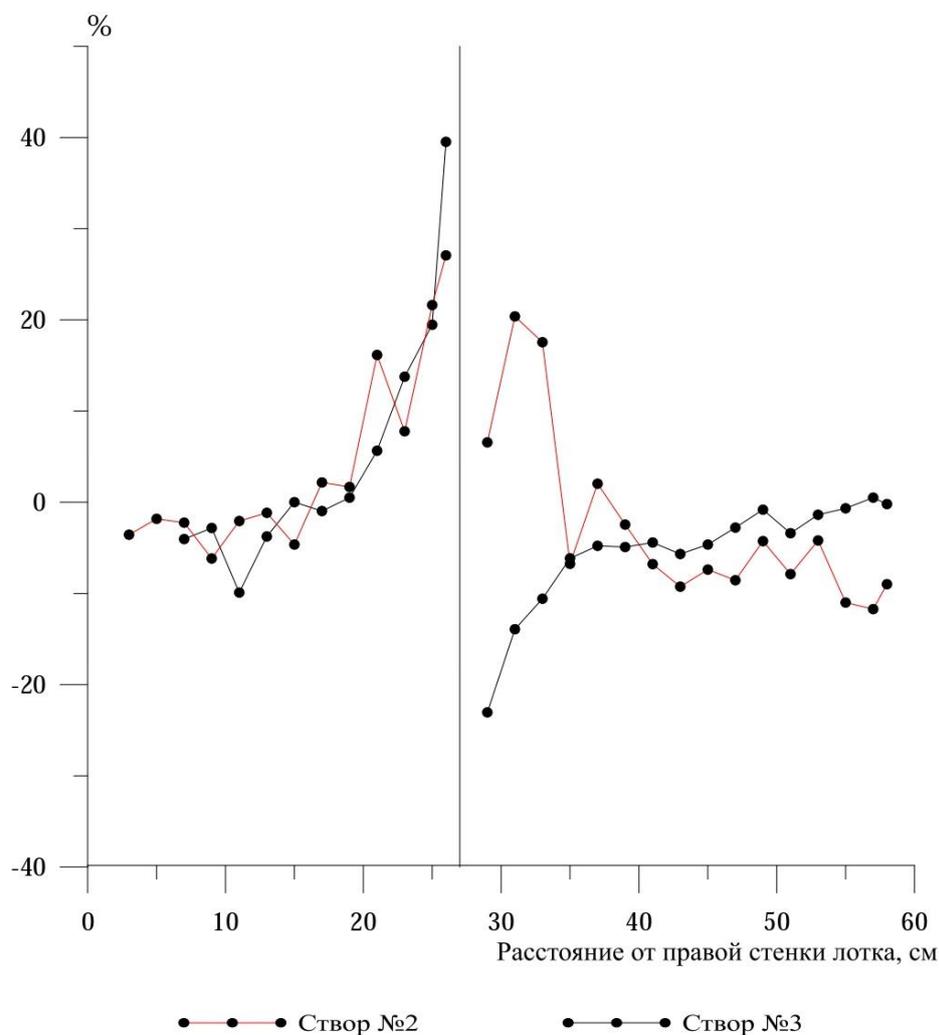


Рисунок 17 - Относительное отклонение скоростей изолированных потоков от скоростей взаимодействующего потока.

Наиболее сильные отклонения наблюдаются в зоне деления потоков, как и предполагалось.

Заключительным этапом стало сравнение опытных данных о скоростях на створе №3 и данных, полученных в ходе расчета полей скоростей потока по методике В. Н. Гончарова (Рисунок 18).

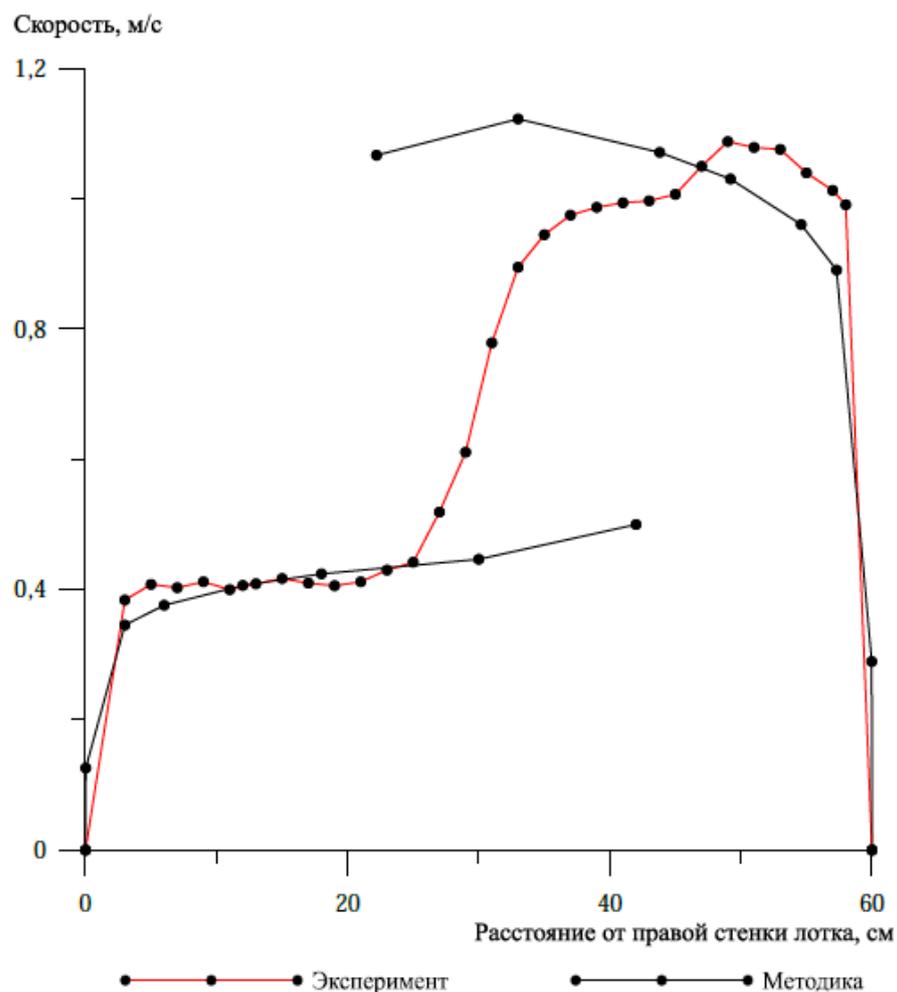


Рисунок 18 – Экспериментальные и расчётные эпюры распределения средних скоростей по ширине лотка на створе №3.

Из рисунка видно, что в целом методика В.Н. Гончарова достаточно точно описывает скоростное поле потока, но в зоне, представляющей наибольший интерес, то есть на границе деления потоков, наблюдаются большие отклонения расчетных скоростей от опытных, так на расстоянии 30 сантиметров от правой стенки лотка величина отклонения составляет около 50 %.

Для качественного описания скоростного поля потоков, движущихся с различными скоростями, необходимо либо уточнение широко используемой методики В.Н. Гончарова, либо разработка кардинально новой методики расчета полей скоростей таких потоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы все поставленные задачи были выполнены. В лаборатории водных исследований на кафедре гидрометрии был оборудован специальный гидрометрический лоток и проведен ряд экспериментов с целью изучения взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями.

По полученным данным были построены кривые зависимости $Q = f(H)$, анализ которых позволил сделать вывод о том, что при малом наполнении лотка пропускная способность русла заметно снижается под влиянием взаимодействия руслового и пойменного отсеков, но с ростом заполнения лотка влияние этого взаимодействия на пропускную способность русла становится все менее значимым. Также были построены кривые зависимости коэффициента значимости кинематического эффекта взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями, от средней скорости потока, исходя из анализа которых был сделан вывод, что при средних скоростях потока больше 0,6 м кинематический эффект взаимодействия потоков не оказывает влияния на пропускную способность русла лотка

В ходе дальнейшей работы было изучено скоростное поле взаимодействующих потоков в лабораторных условиях. Экспериментальные данные сравнивались с результатами расчета по методике В.Н. Гончарова. После чего были построены эпюры распределения скоростей по ширине потока. Выявлены значительные расхождения значений опытных и расчетных скоростей в области взаимодействия потоков, а в пристенных областях эпюры скоростей почти полностью совпали.

Проанализировав полученные результаты, можно предположить, что для более точного описания скоростного поля потока необходимо уточнение методики В.Н. Гончарова, либо разработка кардинально новой методики, направленной на изучение скоростного поля непосредственно в области взаимодействия потоков. Для чего требуется дальнейшее проведение подобных экспериментальных работ и изучение натурных данных.

На основе проведенных исследований в учебный процесс студентов 4-го курса бакалавриата по направлению подготовки 05.03.05 «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная гидрология» была внедрена лабораторная работа по дисциплине «Динамика русловых потоков», направленная именно на изучение эффекта взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями.

Кроме того, результаты работы по изучению взаимодействия потоков, двигающихся с различными скоростями, были доложены на Студенческой Конференции, которая проходила в РГГМУ 25 апреля 2019 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. – СПб.: РГГМУ, 2016.
2. Барышников Н.Б. Морфология, гидрология и гидравлика пойм. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
3. Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. – СПб.: РГГМУ, 2012.
4. Барышников Н.Б., Исаев Д.И., Субботина Е.С. Динамика русловых потоков. Руководство к лабораторным работам. – СПб.: РГГМУ, 2014.
5. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения.
6. Гончаров В. Н. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962.
7. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.