

Виталий Знаменский

Два мифа о воде

Турбулентная диффузия, переохлаждение



Красноярск
2013 г.

УДК 532:556:628.314

ББК

3-72

Рецензенты:

;

.

3-72 Виталий Знаменский

Два мифа о воде. Турбулентная диффузия, переохлаждение/В. А. Знаменский.- Красноярск, : ???, 2013. - 61 с.

ISBN

Выполнен анализ информации, противоречащей существующей гипотезе турбулентной диффузии сточных вод в речные воды. Доказано отсутствие турбулентности в струях водотока и, следовательно, отсутствие турбулентной диффузии. Обоснована гипотеза о структуре скоростного течения в открытых водотоках и движения жидкостей и газов в трубах. Предложена схема передачи масс веществ из струи в аналогичную окружающую среду.

Отсутствие турбулентности делает невозможным применять существующие приёмы описания ледостава. Предложена гипотеза изменения молекулярной структуры воды при ускорении струи с одновременным увеличением теплосодержания воды. Разработана термодинамическая схема ледостава.

Приведено объяснение появлению аэро- гидравлической пробки в трубах и возникновению кольца частиц газа (аттрактора). Разработаны алгоритмы самозащиты реки от неблагоприятного изменения состояния природы.

Рассчитано на лиц всех технических специальностей и экологов.

© Вит. А. Знаменский, 2013

ISBN

ВОДА В БИОСФЕРЕ — важнейшее составляющее
живого вещества, без которого жизнь невозможна.
Н. Ф. Реймерс. Азбука природы

Информационные потоки стали уже заметным фактором жизни населения Земли. В этих условиях достоверность научных знаний о воде приобрела социальное значение.

Результат наблюдения, в силу несовершенства инструментов и нестабильности процессов, выражается разбросом искомых величин. На основе гипотезы, которую стремится подтвердить каждый исследователь, он волен выбирать инструмент для своих наблюдений, разрабатывать методику и формировать свой набор полученных результатов. Если бы этого не было, то не было бы и великих открытий в науке. Но такие же действия сопровождают ошибочную гипотезу. И это тоже необходимо. Гипотеза не возникает в пустоте. Неверный ответ — всё таки ответ. Он нужен, пока накапливается информация, не подтверждающая гипотезу.

В каждой научной школе возникает невольное преклонение перед авторитетом основателя школы. Это приводит к тому, что некоторые гипотезы продолжают существовать будучи признанными наукой без достаточного обоснования. Последователи игнорируют результаты наблюдений, оказавшихся не соответствующими признанным представлениям. Изредка противоречивые данные проникают в печать, в лучшем случае, без какого либо объяснения.

Существующие результаты наблюдений, выполненных многими естествоиспытателями, содержат убедительные данные против двух мифов о воде: о силах, порождающей турбулентную диффузию струй и о переохлаждении. Применение этих мифов в науке и практике приводит к искажению информации и неверному управлению антропогенными воздействиями на воду.

Настало время обсудить информацию, накопленную против гипотез, ставших мифами с момента возникновения. Время воспринять ошибочность гипотез о смещении и переохлаждении.

Глава 1. Миф о смешении струй в реке

Понятие смешения возникло в результате поиска способа нормирования нагрузки на реку. Сто лет назад нагрузка выражалась только внедрением струи сточных вод в поток реки. Задача состояла в определении предельного состава растворённых веществ в сточных водах, сброс которых в реку не нарушал бы требований к качеству воды в реке.

1.1. Смешение струи с речным потоком

Иллюстрацию процесса смешения можно найти в интернете, например, по адресу <http://www.youtube.com/watch?v=x0r9kwppicw>, видеозапись «струя под водой». Кадр из этой записи показан на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Демонстрация процесса турбулентной диффузии струи

Здесь воспроизведён прибор, который обеспечивает впуск в бак подкрашенной струи воды. В баке вода движется во много медлен-

нее струи или совсем не движется. Окрашенная струя вначале перемещается с небольшим увеличением диаметра. Затем увеличение динамично возрастает. Струя ускоренно распределяется в стороны, образуя облако. Оно охватывает сечение, площадь которого во много раз больше площади выпускного отверстия. Какая-то сила вызывает турбулентную диффузию — внедрение частиц струйки в воду, заполняющую бак.

Предполагалось, что в реке струя расположится в виде расширяющейся воронки, в каждом поперечном сечении которой концентрация вещества уменьшается пропорционально площади её сечения за счёт вовлечения в процесс возрастающего объёма речной воды. В России такое предположение известно под именем «смешение».

Принципиальные решения по реализации этого предположения для рек дали учёные В. М. Маккавеев, А. В. Караушев, В. А. Фролов, И. Д. Родзиллер и Л. Л. Пааль и другие. Много учёных работали над обоснованием процессов турбулентности водотоков.

Маккавеев В. М. разработал общие принципы процесса и дифференциальное уравнение турбулентной диффузии (1931 г.). Караушев А. В. решил это уравнение в частных производных (1945 г.). Фролов В. А. предложил аналитический метод, который был усовершенствован Родзиллером И. Д. (метод ВОДГЕО, 1954 г.). Пааль Л. Л. ввёл в расчёт вероятностное распределение концентрации вещества в акватории (метод ТПИ, 1972 г.).

Всего с 1941 по 1978 г. было разработано 9 методов расчёта допустимой концентрации вещества в сточных водах и расчёта распределения его по акватории. Десятый метод, метод расчёта норматива допустимого сброса (НДС) на основе норматива допустимого воздействия (НДВ), появился 2007 г. В методике его расчёта нет способа вычисления, зато предоставлена возможность применять любые из упомянутых способов¹.

¹Стиль дальнейшего изложения будет отличаться от существующего стиля научных работ. Главной и единственной причиной «яканья» служит необходимость явно отделять установившиеся толкования физических процессов от толкований, составляющих моё инженерное самосознание. В дальнейшем тексте, если иное заранее не объявлено, безличная форма предложения или начала абзаца относится к устоявшимся понятиям, а личная — ко мной осознанным формулировкам.

Совершенно чётко представляю себе ответственность за покушение на фундаментальные понятия физики, которое может отразиться, особенно, на гидро- и аэродинамике. Мне не с кем делить ответственность. Поэтому применяемый стиль изложения подтверждает мою единичную готовность принять возражения против популяризации моих воззрений.

1.2. Выбор типа диффузии

Ещё в девятнадцатом веке физики уже знали о втором законе А. Фика (1855 г.), выражающем диффузный перенос частиц массы вещества в пространстве [23]. Он записывается дифференциальным уравнением

$$\frac{\delta S}{\delta t} = D \nabla S, \quad (1.1)$$

где S — концентрация вещества, г/м³; t — время, с; D — коэффициент диффузии, численно измеряемый массой вещества, диффундирующего через единичную площадку за единицу времени ($t=1$ с) при градиенте концентрации, равном 1 см²/с; ∇ — (набла) оператор Лапласа: $\nabla = \left(\frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2} + \frac{\delta^2}{\delta z^2} \right)$.

Диффузия растворяющихся веществ из земли в будущую речную воду происходит под землёй ещё до истока воды на поверхность. Речная вода, как и вообще вода в природе, никогда не бывает без растворённых веществ. Это соответствует второму закону А. Фика. В этом уравнении нет речи о турбулентной диффузии.

Чтобы пояснить различие между молекулярной (ионной) диффузией и турбулентной диффузией поставьте простейший опыт, результаты которого будут использованы в дальнейшем не один раз. Приготовьте 0,5 л чистой воды, имеющей комнатную температуру, два одинаковых стакана, самую маленькую чайную ложку и сахар в количестве двух ложек, наполненных вровень с краями. Температура воды важна потому, что нам предстоит хранить растворы несколько часов. При отсутствии разницы температур воздуха в комнате и воды процесс растворения сахара будет зависеть только от диффузии.

Рекомендованной массы сахара достаточно, чтобы заметить остаток его кристаллов на дне стакана. Его концентрация не превысит концентрацию суммы всех растворённых веществ в пресной воде рек (меньше 0,001 грамма на грамм воды).

Засыпьте в каждый стакан по чайной ложке сахара, заполняя её не выше краёв ложки. В каждый стакан воду надо наливать так, чтобы не шелохнулась ни одна крупинка сахара. Заметьте время и перемешайте ложкой воду в первом стакане, пока растворится весь сахар. Вам потребуется 2-3 секунды. Вода станет сладковатой. Говорят, что в этом стакане была активирована турбулентная диффузия

сахара в воду.

Оставьте стаканы в покое на 2 часа. По истечении этого времени вы обнаружите, что во втором стакане сахар растворился не весь. Можете убедиться, что верхний слой воды в стакане № 2 всё ещё не сладкий. Концентрация вещества нелинейно убывает с удалением от дна. Процесс молекулярной диффузии не завершен. За 7200 секунд диффузный процесс не достиг уровня турбулентного процесса, который в первом стакане продолжался 3 секунды. Не хватило в 2400 раз большего времени.

Второй закон А. Фика описывает молекулярную диффузию от твёрдого тела в жидкость, как во втором стакане, а требовалось определить диффузию между струями воды. Закон оказался не пригодным для решения рассматриваемой проблемы.

Для придания турбулентности воде в стакане пришлось применить физическую силу. Для решения задачи смешения требовалось найти в природе такой процесс, при котором в воде самопроизвольно возникала сила, создающая турбулентность.

1.3. Сила турбулентности

В опытах О. Рейнольдса, опубликованных в 1883 г. (рис. 1.2) крашенная ламинарная струйка воды при возрастании скорости течения в трубе 5 вдруг диффундировала (проникла рассеиваясь) во всё сечение большой струи.

Явление изменения окраски воды названо турбулентной диффузией струйки в окружающую струю. Момент начала диффузии отмечен критерием турбулентности Re_k , а динамическое состояние дальнейшего движения воды при $Re \geq Re_k$ названо турбулентным. Предполагалось, что сохранение распределения окраски в воде по мере движения обеспечивается естественными силами, которые поддерживают вновь приобретённое вихревое состояние.

Результат опыта Рейнольдса позволял зрительно представить себе изменение концентрации вещества в процессе смешения окрашенной струйки с неокрашенной. Гипотезу Рейнольдса учёные приняли за основу разработки метода турбулентной диффузии сточных вод в речные воды.

Вообще диффузия определяется как медленное проникновение одного вещества в другое при их непосредственном соприкоснове-

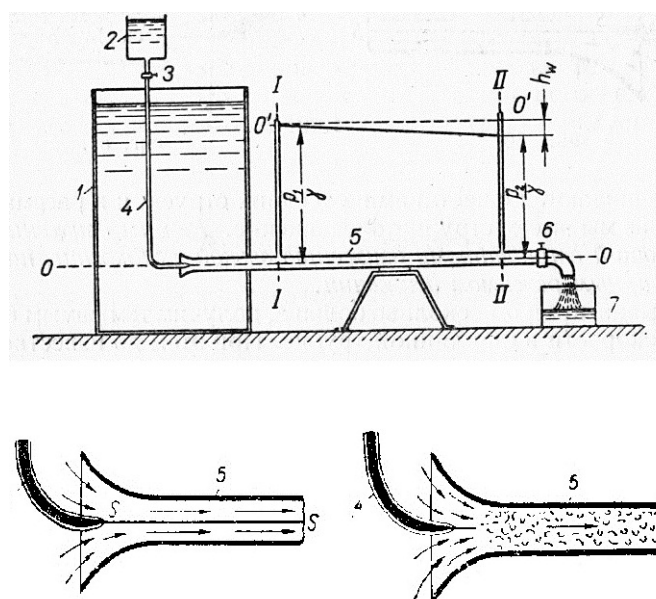


Рис. 1.2. Установка для демонстрации опыта Рейнольдса. 1, 2 — сосуды соответственно для жидкости: исследуемой и подкрашенной; 7 — мерный сосуд; 3, 6 — регулирующие краны; 1-1 и II-II — пьезометры. Внизу показаны моменты ламинарного и турбулентного движения

нии. Полагаю, что сочетание слов «турбулентная» и «диффузия» несовместимы в соединении стремительного и медленного действий. Но это одна их слабостей гипотезы смешения.

Учёных не смутило, что в приборе Рейнольдса принимающая струя имела скорость, превышающую скорость струйки. Она создавала соответствующее динамическое состояние принимающей струи. В натуре же и на рис. 1.1, наоборот, бóльшую скорость имела окрашенная струя, которая по своей малости не изменяла динамического состояния принимающей струи. Следовательно, состояние этой, последней, струи должно быть турбулентным, всегда готовым к турбулентной диффузии сточных вод.

К моделированию процесса была принята схема, описанная Рейнольдсом. В качестве источника энергии, создающего и поддерживающего турбулентность, была объявлена пульсация скоростей в русле реки. «Пульсация скоростей в турбулентном потоке связана с интенсивным перемешиванием водных масс. — Так А. В. Караушев и Н. А. Панчурин учили речников [12]. — Это перемешивание в тысячи, сотни тысяч раз и более превосходит интенсивность физической диффузии, т. е. перемешивания, обусловленного молекулярными яв-

лениями».

Мне не удалось найти публикации о связях турбулентности потока с пульсацией скоростей. С другой стороны, соотношение интенсивности между молекулярной и турбулентной диффузиями совпадает с результатом подсказанного мной опыта с растворами вещества в стаканах. Верно и то, что турбулентный поток обеспечивает интенсивное перемешивание водных масс. Гипотеза смешения воды была хорошо защищена.

В процессе реализации этой гипотезы разработана формула для расчёта коэффициента турбулентного обмена (Маккавеев, 1930 г.), а после его деления на плотность воды получена формула коэффициента турбулентной диффузии D ($\text{м}^2/\text{с}$).

$$D = \frac{gHv_{cp}}{MC}, \quad (1.2)$$

где g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H — средняя глубина реки на рассматриваемом участке, м ; v_{cp} — средняя скорость течения в реке, $\text{м}/\text{с}$; M — коэффициент, зависящий от C ; C — коэффициент Шези для речного русла, $\text{м}/\text{с}^2$.

Теперь можно было искать решение дифференциального уравнения турбулентной диффузии В. М. Маккавеева. Уравнение можно записать также, как и второй закон А. Фика².

$$\frac{\delta S}{\delta t} = D \nabla S, \quad (1.3)$$

где D — коэффициент турбулентной диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$. Остальные величины те же, что в уравнении (1.1)³.

Государственный гидрологический институт назвал метод А. В. Караушева основным, хотя учёные понимали, что метод основан не на твёрдо установленных физических принципах [20]. Караушев А. В. учил: «...уравнения турбулентного движения, турбулентной диффузии и турбулентной теплопроводности содержат свойства для этого вида движения параметры, именуемые виртуальными коэффициентами вязкости, диффузии и теплопроводности» [12, с. 94].

²Здесь рассмотрим только члены уравнения, относящийся к растворённым веществам.

³Развёрнутое содержание $\frac{ds}{dt}$ учтено в решении, найденном А. В. Караушевым. Здесь не рассматриваю ход решения.

Сознание виртуальности (не обязательности существования) коэффициента диффузии дополнительно подтверждает мою уверенность в отсутствии строгих доказательств физических основ турбулентной диффузии в речных водотоках.

На основе изложенного полагаю, что гипотеза смешения поддерживается тремя основными теоретическими положениями:

- турбулентность связана с вибрацией скорости;
- турбулентность определяется динамическим состоянием водотока, превышающим уровень $Re \geq Re_k$, и
- динамическое состояние речной воды всегда удовлетворяет условию состояния турбулентности, что означает, что в реке постоянно перемешиваются молекулы воды и она всегда готова к диффузии любой струи.

Привожу избранную часть фактов, подтверждающих несопоставимость результатов наблюдений с перечисленными положениями.

1.4. Наука и жизнь против смешения

Вся гидродинамика начинается с представления элементарной струйки. Рисунок 1.3 взят из учебника [24]



Рис. 1.3. Элементарные струйки в струе

Элементарная струйка обладает следующими свойствами, необходимыми для обеспечения неразрывности:

1. Форма элементарной струйки постоянна во времени при установившемся движении;
2. Поверхность непроницаема для жидкости из соседних струек;
3. Скорости во всех точках поперечного сечения одинаковы.

Такая струйка может существовать только в ламинарном режиме течения, так как при турбулентном движении частицы среды совершают неупорядоченные хаотические перемещения по сложным

траекториям. При таком режиме не выполняются, по крайней мере первое и третье свойства элементарной струи. Теряется неразрывность струи и, следовательно, нельзя применять уравнение Бернулли для движущейся жидкости или газа. Успехи применения уравнения Бернулли были бы невозможны, если бы не существовала неразрывность струй. Её существование свидетельствует против турбулентности течения в реках и трубах.

Следующие примеры взяты из научных публикаций и результатов собственных наблюдений. Они иллюстрируют отклонение поведения струй от принятых гипотез при движении в квадратичной зоне сопротивления. Примеры сопровождаются моей интерпретацией которая, иногда, отличается от принятой в источнике и, как правило, не зависит от установившихся гипотез. Но когда оригинальные оценки исследователя совпадают с моими, то я их заключаю в кавычки.

1.4.1. Линейное движение в турбулентной области

Опыты Владимира Знаменского

Привожу некоторые результаты опытов Владимира Аполлоновича Знаменского⁴, поставленных с целью изучения кинематической структуры водотоков и нахождения выражения для гидравлического сопротивления [10]. Визуализация течения, — разъяснял исследователь, — отмечалась с помощью шариков сополимера стирола диаметром 0,8 – 1 мм и плотностью, равной плотности воды при данной температуре (рис. 1.4).

Нужно учитывать, что переходный слой образуется также и при вертикальных стенах опытной установки. Так что снимки сделаны сквозь более тонкий пристенный переходный слой, что могло снижать качество изображения.

Изображение шариков получено при одинаковой величине экспозиции, а цепочки изображения шариков представляют непрерывные струйки. Скорость течения вычислена по длине изображения шарика и времени экспозиции.

Верхняя часть течения выражена линейными струями. Они отличаются от ламинарных струй отчётливо выраженной деривацией

⁴Обращаю внимание, что фамилия и инициалы совпадают моими. Поэтому в дальнейшем его называю Вл. Знаменский.

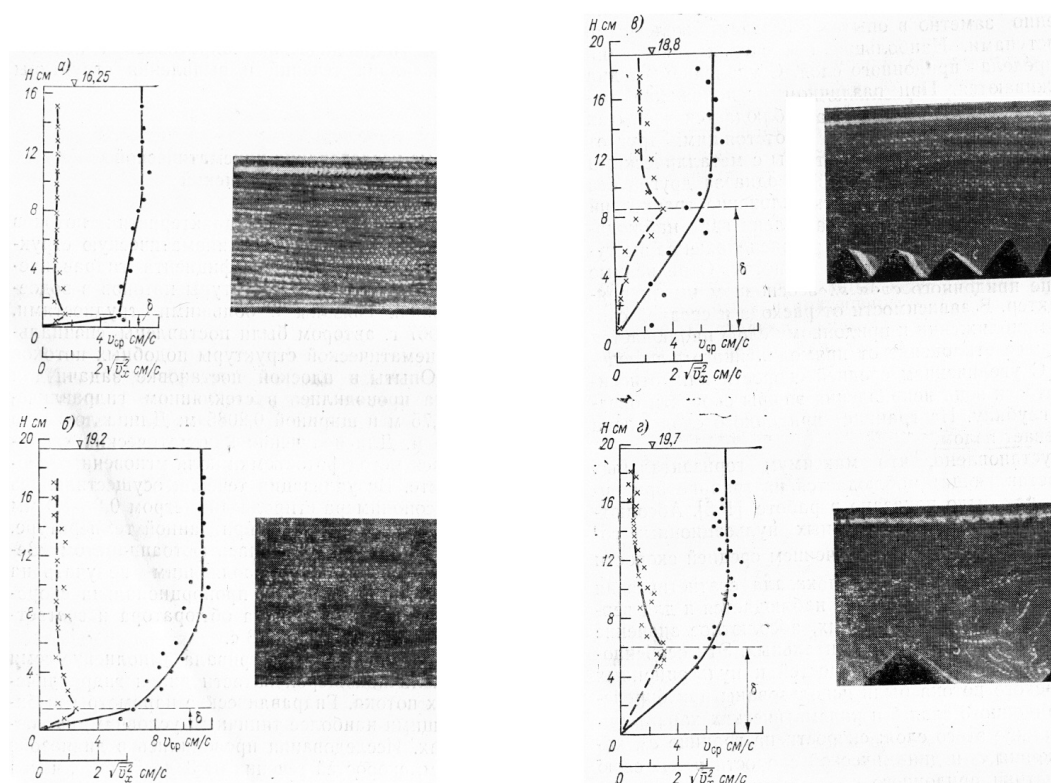


Рис. 1.4. Не турбулентные и турбулентные струи в лотке при $Re = 3500 \dots 18000$ и распределение скоростей по глубине течения. $a - г$ — номера опытов

направления. Но это явно не турбулентное течение. Частицы воды не выполняют неупорядоченных, хаотических движений по сложным траекториям, хотя динамические состояния водотоков характеризуется превышением $Re_k = 2320$.

Турбулентное состояние обнаружено только в переходной зоне, где поступательная скорость изменяется от нуля до скорости, наблюдаемой в нижней плоскости линейно направленного потока.

Высота переходной зоны в опытах составляла от 6 до 43 % от глубины в зависимости от шероховатости дна и скорости течения. Средняя поступательная скорость воды в переходной зоне примерно в два раза меньше скорости линейного течения. Отсюда вывод: чем мощнее переходный слой, тем меньше пропускная способность живого сечения.

Переходная зона работает как смазка для основного водотока. Сравнивая опыты $б$) и $г$) отмечаю, что мощность переходного слоя δ уменьшается при разнесении препятствий. Между препятствиями образуется «корыто», движение над которым происходит с меньшей

потерей энергии, так как в поступательное движение почти не вовлекается вода из «корыта».

Вл. Знаменский подтвердил зависимость толщины переходного слоя от шероховатости ложа и скорости течения.

Исследования Франца Поппела

Профессор Франц Поппел руководитель Института гигиены при Штутгартском технологическом университете (Германия) подписал 15 марта 1952 г. Доклад о предварительных исследованиях геликоидальных труб различной конфигурации. Сокращённое изложение доклада приведено в [26, с. 284-313]. В сущности доклад фиксировал признание поражения Ф. Поппела в несогласии с В. Шаубергером о неприемлемости классической механики при рассмотрении движения струи воды по извилистой траектории. Это интересный документ, сопровождаемый таблицами и 14-ю чертежами графиков.

В. Шаубергер предоставил для испытания несколько видов труб, изготовленных по технологии, впоследствии закреплённой патентом №196680 Австрийского бюро патентов, действительного с 15 августа 1958 г. Схемы конструкции труб по патенту приведены на рис. 1.5.

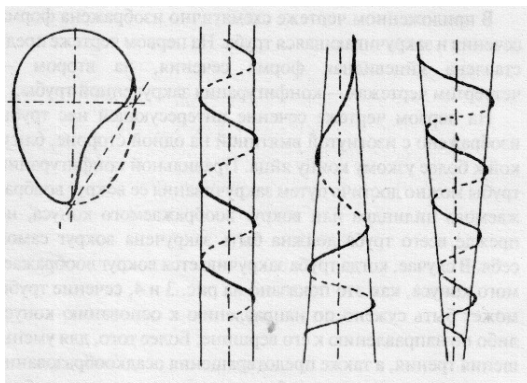


Рис. 1.5. Чертёж трубы с двойной спиральной конфигурацией — патент №196680

Из рисунка видно, что в цилиндрической трубе воспроизводится две искусственные шероховатости: спирали и вмятина. Причём, вмятина противодействует закручиванию переходного слоя по поверхности трубы. На внутренней поверхности трубы образуются спиралевидные «корыта».

По классической механике искусственные шероховатости должны привести к увеличению сопротивления движению. Испытание

показало, что, наоборот, потери давления получились существенно меньшими. Результат исследования потерь давления помещён в таблице [26, с. 301], часть которой привожу в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Расход воды и потеря давления в трубах с разной шероховатостью стен (медная изготовлена в соответствии с патентом)

Расход л/с	Спиральная медная см	Стеклянная см
0,12	0,50	1,85
0,13	0,20	2,07
0,14	0,23	2,20
0,15	0,33	2,48
0,16	0,45	2,35
0,17	0,70	3,25
0,18	1,20	3,75
0,19	1,85	4,25
0,20	2,25	4,65
....
0,25	3,24	5,79
....
0,30	4,30	7,30
....
0,32	4,90	7,30

Числа в таблице показывают, что вихревой периферийный слой уменьшает потери давления от 10 до 1,5 раз, облегчая перемещение центральной струи, которая движется поступательно или поступательно с вращением вокруг оси.

Результаты измерения потерь напора, выполненные Ф. Поппелом привели меня к заключению, что с увеличением расхода воды, протекающего по трубам, различие между потерями в медной и стеклянной трубках будет исчезать. Это, вероятно, вызвано тем, что с увеличением энергии струи возникает увеличение вихревого слоя вплоть до заполнения всего сечения трубы. Предполагаю, что момент перехода к полностью вихревому движению в любых трубах будет энергетически проигрышным, так как большая часть энергии (или вся она) будет израсходована на создание турбулентного переходного слоя на всем сечении трубы.

Результаты исследования имеют тем большую надёжность, что Ф. Поппел был заинтересован в получении иных результатов.

[10, с. 107]. Комментарий объясняет изменение ширины струй, показанных на рис. 1.6.

Исследователь не обнаружил смещения самой струи по пути следования её в водохранилище.

1.4.4. Игнорирование турбулентности в описаниях опытов

Физики уделили большое внимание изучению турбулентности и успехи, достигнутые ими, обеспечили развитие техники от насосов и компрессоров до космических аппаратов. Явление турбулентности описывается очень сложными математическими конструкциями, так как вихри развиваются внутри вихря, как дочерние в несколько «этажей».

Учёные, работающие над проблемой отрывной струи в диапазоне $Re = 80 - 10\,000$ и превышающей критерий Re_k , изображают турбулентные потоки, как спокойные, а потоки, не превышающие Re_k , изображают беспокойными.

Автор книги «Отрывные течения» П. Чжен приводит следующий чертёж (рис. 1.7)

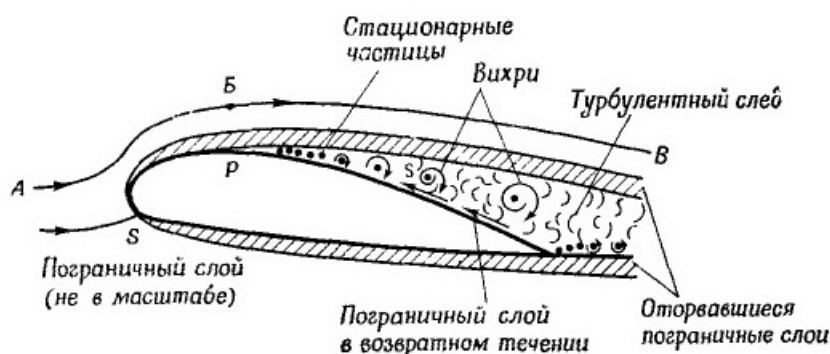


Рис. 1.7. Диффузия под отрывной струёй

Хорошо видно, что потоки, обтекающие крыло, изображены равномерными. Вихревая зона смешения расположена не в струях, а под оторвавшейся струёй. Но ведь там проходит отрицательная скорость и, следовательно, имеется нулевая, при которой $Re = 0$, что заведомо ниже любого положительного Re_k . Название «Турбулентный слой» не соответствует определению турбулентности по Рейнольдсу ($Re > Re_k$). Полагаю: что определение турбулентности по

Рейнольдсу не совпадает с определением понятия турбулентности по состоянию струй. То, что названо «турбулентный слой» действительно турбулентно по наличию вихрей, а не по признаку Рейнольдса. Значение критерия Re_k выражает начало перехода к какому-то иному динамическому состоянию воды (газа) при движении.

1.4.5. Внедрение притока в водоприёмник

В августе 1976 года при выполнении гидрохимической экспедиции мы с Лашинским К. В. наблюдали паводковое внедрение притока в реку Чулым. Местный паводок был вызван ливнями, локально охватившими небольшой водосборный бассейн притока. Мутность воды притока резко отличалась от мутности воды в реке. Это позволило организовать измерение параметров ситуации. Схема внедрения показана на рис. 1.8.

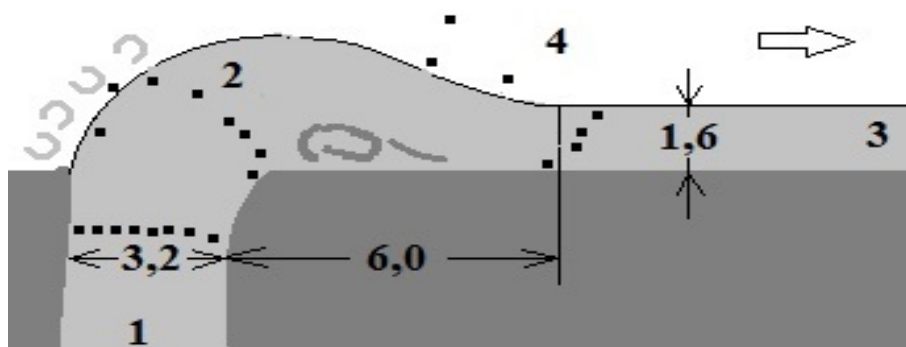


Рис. 1.8. Схема паводкового внедрения притока в реку. 1 — приток; 2 — турбулентный пузырь; 3 — остаток притока

Ширина ручья 3,2 м. Мы перебросили жердь через ручей. На неё уложили 8 поплавков из оструганных щепок. Их одновременно сбросили в воду. Процесс внедрения снимали 8 мм кинокамерой Экран-3. Большая зернистость плёнки не позволяет распечатать разборчивые изображения. Положение поплавков и форма струи реконструированы по проекции фильма на экран. Объединены три кадра: момент сброса поплавков, выход поплавков в речной водоток и начало остаточной струи.

Большая мутность воды притока позволила рассмотреть, что активной стороной процесса являлся приток. Вода притока, в пределах его ширины, надавила на речную струю и образовала в ней выпуклость («пузырь»), которая течением реки сместилась вниз. Процесс

турбулентного перемешивания в пузыре осуществлялся только за счёт энергии притока, река, наоборот, противодействовала внедрению. Из остатков энергии притока и его расхода образовалась струя, прижатая к берегу. Процесс длился около часа. Затем вода в ручье стала чистой, а границы струй в реке — незаметными.

1.4.6. В природе нет смешения

Существуют зрительные доказательства обособленности струй и водотоков. Мне енисейские речники около 40 лет тому назад демонстрировали сверкающую бликами вертикальную плоскость, отделяющую водоток Енисея от водотока Ангары. Ограничивающая пленка подобна плёнке поверхностного натяжения. Она просматривалась на глубину прозрачности (3-5 м). Эта плёнка препятствует перемешиванию вод Енисея и Ангары на протяжении 30 километров. Впоследствии я наблюдал её неоднократно. Описанное явление было подтверждено аэрофотографиями, а позднее — снимками из космоса.

Снимки из космоса позволили так же рассмотреть другие струи в реках. Для этого необходимо, чтобы масштаб изображения был не больше 300 м в 1 см. При иных масштабах струи не выделяются. Цвет струи притока обычно темно серый, редко — голубой; на реке Мисисипи — жёлтый (но там и цвет воды в русле светло коричневый а не синий до чёрного).

На снимке рис. 1.9 показана струя реки Мурожная в Ангаре. В пойме этой реки почти сто лет добывают золото. Возможно поэтому такой яркий цвет воды притока. Внешний вид места внедрения притока сходен со схемой, приведённой в п. 1.4.5. После начального разбавления в «пузыре» струя не смешивается с водой реки. Эта струя наблюдается текущей вдоль берега Ангары на протяжении 30-40 км. Постепенно истончается, а её след при дальнейшем пути прижимается к струе притока Ангары Татарки. Обе они следуют далее до порога, расположенного недалеко от устья Ангары. Вибрация скоростей не проявляется смешением.

Подобных снимков накопилось более 40 со всех континентов мира, кроме Австралии, на которую нет снимков нужного масштаба, и Антарктиды. Всюду струя притока прижимается к берегу и существует до встречи с вихревой зоной реки. Не выявлено турбулентного смешения по пути движения воды.



Рис. 1.9. Устьевая часть реки Мурожная и её струя в Ангаре. 1- зона внедрения, 2 - начало прибрежной струи, 3 - струя



Рис. 1.10. Струя сточных вод бывшего Красноярского ЦБК (1) сворачивает с главного русла реки Енисей (2). 2009 г.



Рис. 1.11. Струи сточных вод Усть-Илимского ЦБК в р. Ангаре и струи газов, оставленных двухмоторным самолётом, летящим над Ангарой

Аналогично сосредоточенно текут в реке сточные воды, но их редко видно из-за недостаточного масштаба съёмки. На рис. 1.10 показана мощная струя сточных вод. Она получилась немного расширяющейся потому, что выходит на мель. Миновав дамбу струя сваливается в мелководье, а затем, миновав архипелаг островов, широким фронтом внедряется в основное русло почти по нормали к течению и теряется из виду.

Ещё один уникальный сюжет из космоса. На снимке (рис. 1.11) запечатлена струя сточных вод от Усть Илимского лесопромышленного предприятия. Выпуск сточных вод осуществлялся по трём насадкам, расположенным под водой на некотором удалении от берега. Через 13 километров струя прижалась к берегу постепенно истончаясь, но не рассеиваясь.

Следы от двигателей самолёта — это копьевидные «белые» струи газовой смеси, соответствующие по виду и физическим процессам струям сточных вод в Ангаре.

1.5. После Рейнольдса

Постепенно в распоряжении ученых появились более мощные устройства типа, показанного на рис. 1.2, позволяющие рассматривать большой водоток в трубе 5, или в лотке, а также усиливать энергию окрашенной струи.

Демонстрирую отличие результатов наблюдений от результатов, полученных Рейнольдсом. Последовательность изменения ламинарной струи показана на рис. 1.12 слева.

На фрагментах *а*, *б*, *в* видно прямолинейное движение тонкой струи — ламинарное и дальнейшее движение её в виде ломаной линии — переходного типа (*г*, *д*). При некоторой скорости струя «исчезает, слегка окрашивая водоток» [2]. Считалось, что эта скорость определяет момент перехода от ламинарного режима к турбулентному.

В данном эксперименте окрасился не весь водоток. На фрагменте *е* по оси трубки изображена окрашенная струя смеси, которая обособлена от не окрашенной части струи. Здесь образуется не одна, а две струи. Одна в центре трубы, а другая окружает её кольцом. Обе струи находятся не в ламинарном режиме. Явно видно, что кольцевая струя препятствовала распространению центральной

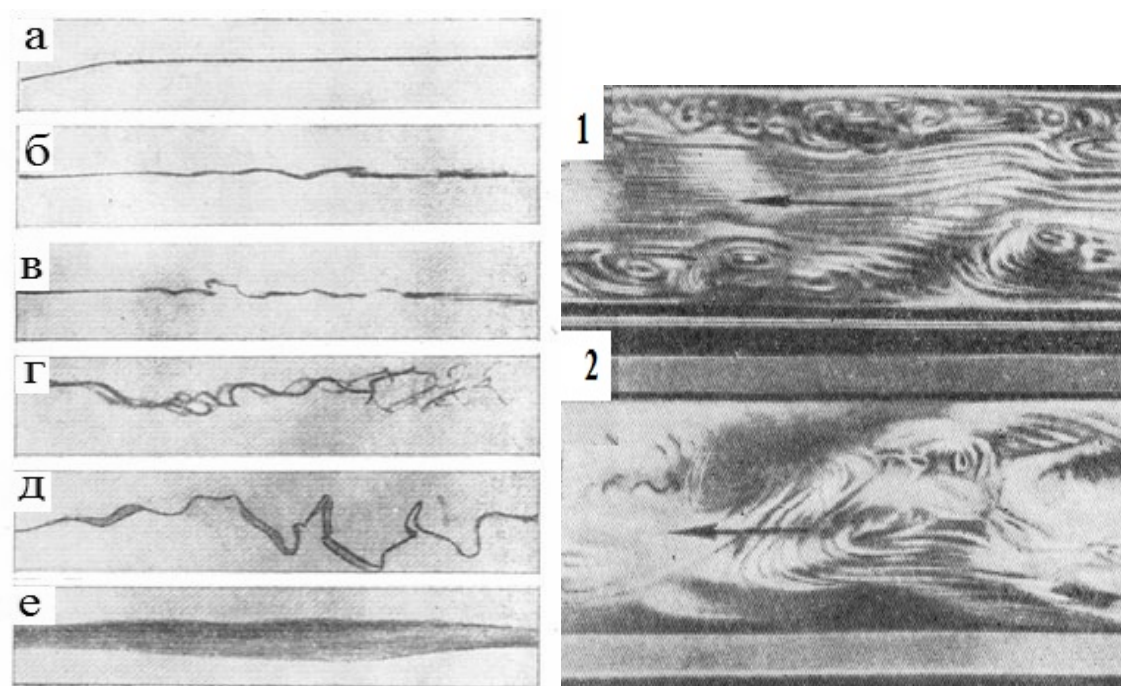


Рис. 1.12. Результаты опытов, взятые из книги Б.А. Аполлова [2], а ... е - процесс в трубе, 1, 2 — процесс в лотке. Пояснения в тексте

струи. Это отличает результат от представленного О. Рейнольдсом.

Поверхность центральной струи как-то изолирована от окружающей кольцевой струи. Диаметр струи не стабилен. По мере движения её диаметр возрастает, а потом уменьшается. Картина подобна сжатой по оси струе изображённой на рис. 1.11.

По форме струй заключаю, что скорость окрашенной струйки превышала скорость неокрашенной, иначе было бы невозможно получить такой результат. В этом состоит существенное отличие рассматриваемого опыта от опыта О. Рейнольдса.

На фрагменте 1 (рис. 1.12) я рассмотрел три макроструи: у берегов в виде вихревой турбулентности а посредине — линейная струя. Краевые струи, вследствие отклонения траектории струек (вихрей), имеют меньшую скорость поступательного движения, чем скорость центральной струи. Центральная струя находится в скоростном режиме. Это пояснение процесса вполне согласовано с интерпретацией рис. 1.6: вихри возникают на смоченном периметре скоростного потока. Оно не противоречит также опыту (рис. 1.4).

На фрагменте 2 показан водоток, который за счет избыточной приложенной энергии доведён до вихревого состояния по всему объ-

ему. Это действительная форма турбулентного процесса. Можно представить затраченную мощность, которой не выявляется на подавляющей части течения всех рек.

1.6. Оценка информации

Вышеизложенная часть собранной информации достаточна, чтобы показать основания для выработки следующих главных положений.

1. Течение реки представляет собой неуравновешенную систему с падением удельной энергии течения по пути следования к устью. В ней нет стабильной свободной энергии, которую можно привлечь для смешения сточных вод с речной водой. Вибрация скоростей осуществляется в направлении течения, следовательно не нарушает его направленности (с. 11) и не способна возбудить турбулентность. Результаты измерений не подтверждают турбулентности потока воды в реке при превышении Re_k .

2. Турбулентная диффузия в реке возникает на участках образования вихрей и водоворотов, которое происходит в переходных зонах течения на контуре смоченного периметра и на границах скоростных струй, на шиверах и порогах. Турбулентное течение не возникает в самих струях водотока (п. 1.4.2).

3. Внедрение струи в водоток с берега начинается с вихревого перемешивания части воды притока с водой реки (п. 1.4.5). Этот турбулентный процесс является начальным разбавлением. Он мгновенен и заслуживает детального рассмотрения.

Сила давления струи притока [13, с. 50]

$$P = 2\gamma\omega_1 \frac{v^2}{g}, \quad (1.4)$$

где γ — объёмный вес воды, т/м³; ω — площадка воздействия, м²; v — скорость течения притока, м/с; g — ускорение силы тяжести, м/с².

Струя притока затрачивает усилия на преодоление тангенциального давления речной воды, выражаемое формулой (1.5), в которой нет аргумента v — скорости течения, следовательно нет участия динамической энергии течения реки в сопротивлении внедрению струи

[13, с. 52].

$$F = \gamma \omega_2 h_w, \quad (1.5)$$

где h_w — высота слоя воды над центром площадки, м. Остальные величины поименованы выше.

Приняв для двух мерной задачи $\omega_1 = 2h_w b$ и диаметр пузыря, равным $2b$, получил остаточное усилие в сторону берега

$$F - P = 2\gamma\omega_1 \left(\pi h_w - \frac{v^2}{g} \right). \quad (1.6)$$

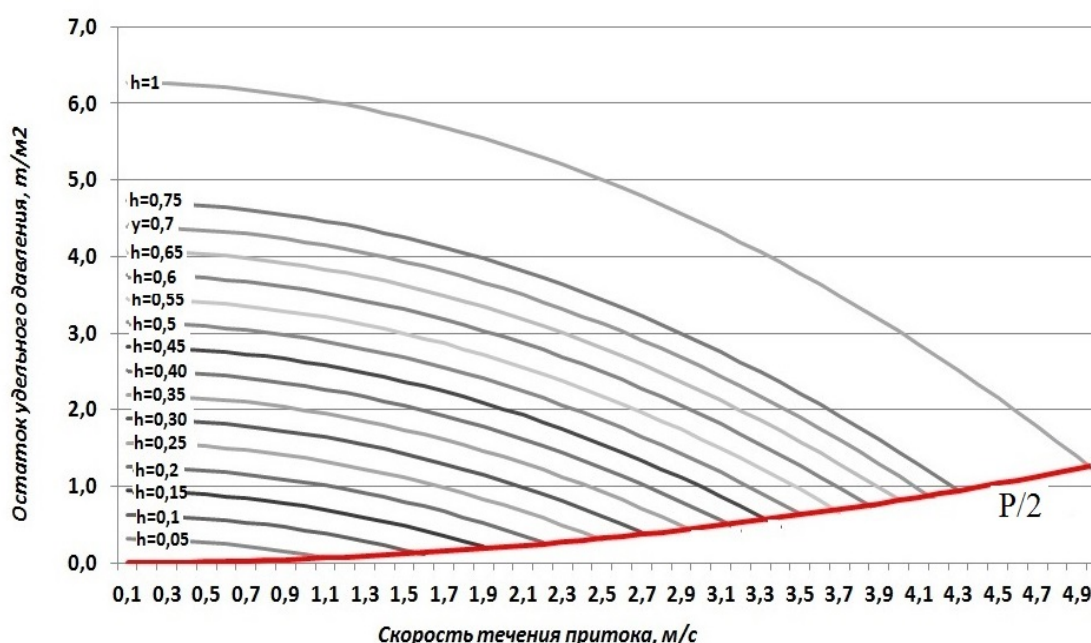


Рис. 1.13. Удельный остаток $(F - P)/\omega$ силы давления к берегу в зависимости от напора в сечении (h_w) и скорости струи (V)

При реальной скорости течения притока и реальной глубине воды, первый член в скобках формулы всегда будет больше второго члена. Это показываю на графике рис. 1.13. График охватывает все реальные глубины притоков (от 0,1 м до 2 м) и скорости течения (от 0,1 м/с до 4,9 м/с).

Кривая $P/2$ пересекает кривые остатков давления в точках, которые фиксируют предельную скорость течения, при которой в прижатой струе останется половина энергии притока. Продолжение кривых до оси абсцисс с рисунка удалено. При скорости превышающей

точку пересечения с осью координат остаток усилия может иметь значение меньше нуля. При отрицательной результирующей силе струя не образует пузыря и продолжится в реке по направлению нормали к течению. Дальнейшее её изменение произойдёт, возможно, подобно показанному на рис. 1.

На уровне пересечения с кривой $P/2$ результирующая сила направлена против течения притока — к берегу. Эта сила и создаст новую струю — струю остатка притока в реке. Остальное уже потрачено на создание турбулентности в «пузыре».

Источником силы турбулентной диффузии (начального разбавления) при внедрении притока в реку является энергия притока, а не принимающего водотока. Поэтому считаю бесполезным применение коэффициента турбулентной диффузии, который рассчитывают по параметрам принимающего водотока.

4. Если водоприёмник недвижим, то струя также создаёт пузырь и растекается аналогично речному внедрению, но в обе стороны, как это как показано на рис. 1.14. Такое поведение струй не зависит от солёности водоприёмника: в озере Байкал струи всех притоков тоже располагаются вдоль берегов.

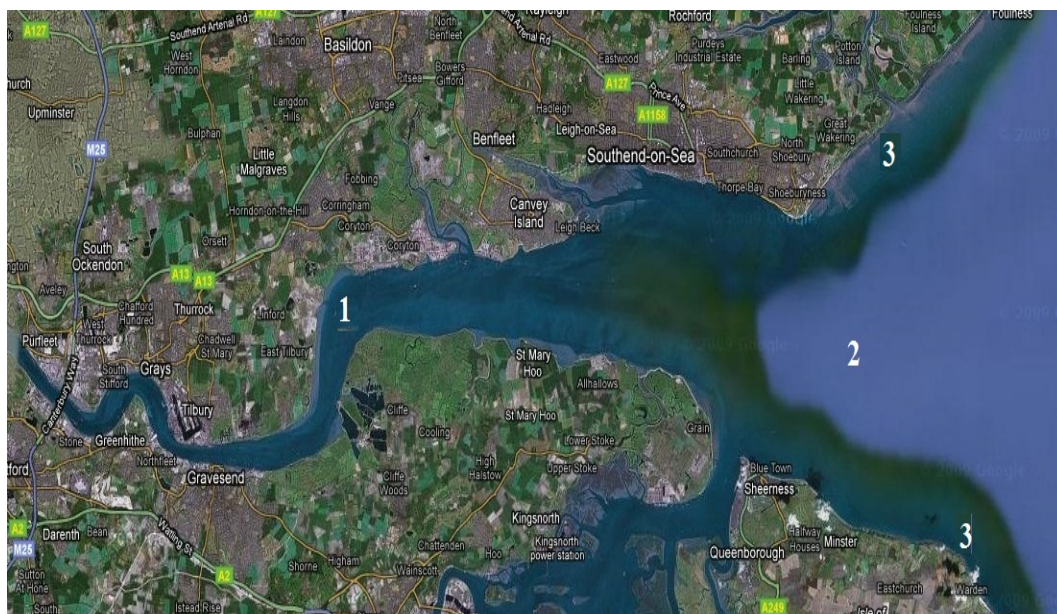


Рис. 1.14. Устье р. Темзы. Струя р.Темзы (1) не может преодолеть неподвижные воды залива (2) и раздваивается вдоль берегов залива (3)

5. Если внедрение происходит внутри объёма, то струе противостоит поверхность воды в виде полусферы, площадь которой возрас-

тает с удалением от места внедрения. На кадре из фильма (см. рис. 1.1) нет берега, но и энергии струи недостаточно для продолжения поступательного движения, поэтому вся энергия струи расходуется на создание облака (пузыря). Реализуется продолжение линии остатка энергии до оси графика (рис. 1.13) — до полной потери энергии.

6. В текучей воде, при скорости истечения окрашенной струи, сравнимой со скоростью окружающего течения, окрашенная струя сохранится без распыления, так как сопротивление среды будет отсутствовать или незначительным. Считаю совершенно неверным существующее предположение о диффузно турбулентном вовлечении расхода речной воды, возрастающего по мере удаления от места внедрения. Сточные воды — это тоже жидкость, состоящая преимущественно из H_2O . Полагаю, что струя сточных вод может существовать в реке столь же долго, как и струя притока.

1.7. Физический смысл путевых потерь давления

При ламинарном течении не образуется переходного слоя. Зато ламинарные струи обтекают препятствие. Удлиняется путь следования, и время протекания. Пропускная способность сечения снижается, что и фиксируется потерями давления. Обтекание хорошо видно на рис. 1.15, сделанному по Б. А. Аполлову.

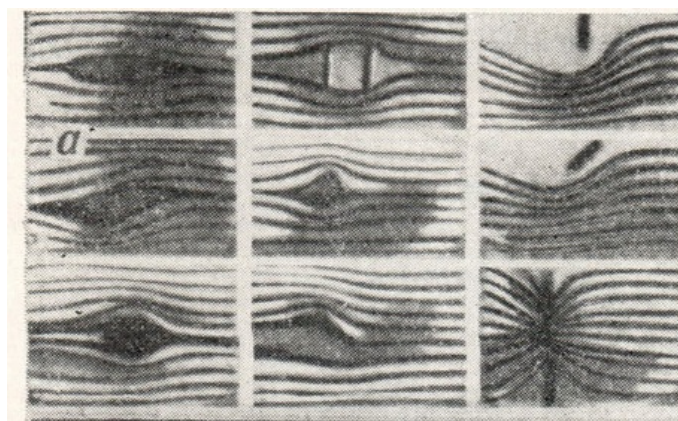


Рис. 1.15. Ламинарная струя обтекает препятствие

Если обратиться к данным из табл. 1.1, то в первой строке потери оказались больше, чем в последующих. Искусственные шероховатости, добавленные к обычным, удлиннили путь ламинарных струй.

При течении в режиме $Re \geq Re_k$ быстрота движения не обеспечивает плавного обхода препятствия. Поэтому на контакте воды с ограничивающей поверхностью возникает переходный слой. Вл. Знаменский подтвердил, что мощность переходного слоя зависит от скорости основного потока и формы шероховатости русла. Только в переходной области проявляется реальная турбулентность, когда вихри - струйки, направлены по нормали к течению, и даже против течения. Средняя поступательная скорость течения в такой области вдвое ниже, чем скорость основной струи. Чем мощнее переходная область, тем меньше пропускная способность живого сечения. В этом вижу причину путевых потерь давления.

Физическая причина квадратичного роста местных сопротивлений не объясняется турбулентностью (п. 1.5). Турбулентность должна, по определению, придавать воде большую подвижность, гибкость. Вместо этого движение в трубах обладает жёсткой направленностью, упругостью. Подобные свойства имеют свободные струи. Свободная струя водопада сохраняет свою целостность, а не распадается в падении.

Для того, чтобы сопротивляться изгибу и другим деформациям русла полагаю, что струя должна иметь структуру, которая имеет только две свободы движения: по направлению и вокруг оси.

Выдвигаю следующую гипотезу: в процессе ускорения течения, в момент достижения скорости, характеризуемой Re_k , струя воды становится сборкой (пакетом) цепочек кристаллов, состоящих из молекул воды (H_2O , $(H_2O)_2$ и $(H_2O)_3$). Сборка упакована в непроницаемую оболочку.

Перераспределение окраски струи в приборе Рейнольдса происходит близ входа в раструб трубы, как только скорость течения в трубе достигнет границы Re_k . В конце участка ускорения течения происходит мгновенное переформирование её молекулярного строения в систему. Это выравнивает окраску в трубе. При дальнейшем движении воды её динамическое состояние находится в пределах условия $Re \geq Re_k$.

Считаю необоснованным название Re_k критерием турбулентности. Условие $Re > Re_k$ не является признаком турбулентности течения.

1.8. Не турбулентное и не ламинарное течение в трубах

Исходя из перечисленных примеров и выводов сделал вывод, что течение в трубе происходит не так, как представляется теоретической гидромеханикой. Течение в трубах, называемое турбулентным, является составным: и турбулентным, и иным, удовлетворяющим условию $Re > Re_k$.

В начале 80-х годов прошлого столетия Ю. Л. Климонтович, профессор МГУ им. Ломоносова, выдвинул гипотезу о том, что турбулентность - это не хаотичное, а высокоорганизованное, упорядоченное течение. Гипотеза было признана ошибочной⁵. Похоже Ю. Л. Климонтович относил к упорядоченному всё живое сечение водотока. Это действительно не правильно.

Предлагаю схему движения жидкости или газа в трубе (рис. 1.16), принципиально отличающуюся от классической [24]. Отличие обосновываю тем, что турбулентный слой возникает на ограждающей поверхности за счёт части энергии поступательного движения жидкости в основном водотоке. Основной поток продукта не называю турбулентным. Действительно, определение «турбулентное» не подходит к характеристике центральной струи. Поскольку условие $Re > Re_k$ выполняется, а само движение упруго поступательное, постольку оно отличается и от ламинарного, и от турбулентного. Я предварительно назвал его скоростным [3], а может не поздно по Ю. Л. Климонтовичу назвать его «<упорядоченным>».

Мощность переходного слоя в общем виде определяется из выражения:

$$\delta_x = f(V_x, K_1, K_2, g), \quad (1.7)$$

где V_x — приведённая скорость течения; K_1 — коэффициент, характеризующий свойства транспортируемого вещества; K_2 — коэффициент, характеризующий свойства ограждающей поверхности, g — ускорение силы тяжести. Приведённая скорость течения продукта выше средней скорости, определяемой на основе измерения его поданного объёма. Так как скорость переходного слоя вдвое меньше скорости скоростного слоя, то приведённая скорость движения про-

⁵Википедия, Диффузия описание и значение.

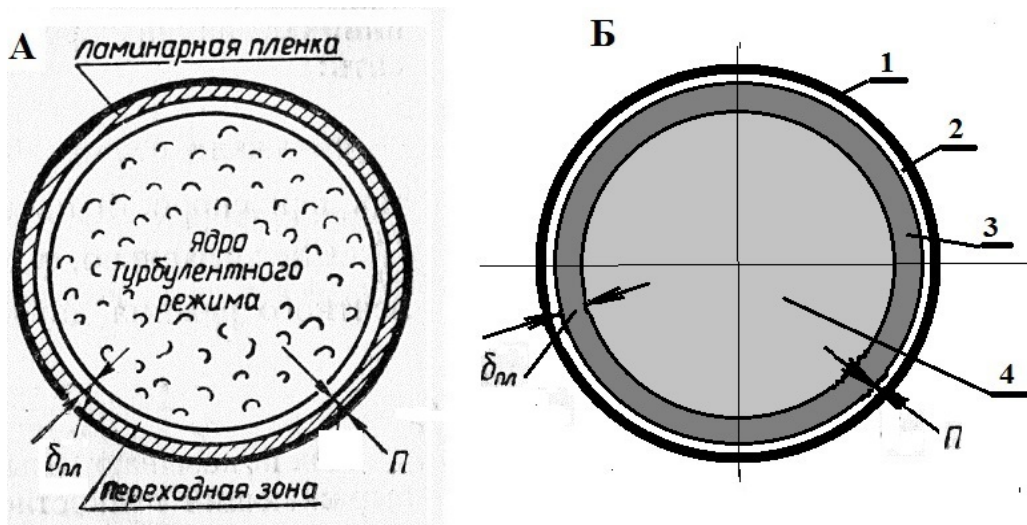


Рис. 1.16. Схемы течения воды в трубе: А — существующая, Б — предлагаемая. 1 — труба. 2 — прилипший слой (Прандтля), 3 — переходный (вихревой, турбулентный) слой, 4 — скоростной (не турбулентный) слой; $\delta_{пл}$ и Π — толщины слоёв на схемах

дукта равна

$$V_x = \frac{Q}{\omega_x + 0,5\omega_\delta} \quad (1.8)$$

В связи с созданием переходной области сокращается площадь живого тока, следовательно, возрастает скорость центральной струи. Это приводит к росту размеров переходной области, дальнейшему сокращению площади живого тока продукта и новому повышению скорости течения скоростной струи. При этом потери представлены статическим давлением остающегося объёма продукта ($h_\omega = \delta$), нарастающего по пути следования. Нетрудно заметить, что потери живого сечения нелинейно зависят от скорости течения.

1.9. Аэрогидродинамическая пробка

Существует предел толщине переходного слоя. На каком-то уровне, например при $\delta = 0,25$ диаметра трубы, происходит резонансное возбуждение всего течения до уровня турбулентного. Скорость турбулентного течения существенно меньше требуемого, что приводит к снижению пропускной способности продуктопровода — возникновению аэрогидродинамической «пробки». Показатель, ко-

торый появится для динамической характеристики начала этого явления, будет бесспорным критерием турбулентности.

Мне рассказывали о том, как попытка увеличения подачи воздуха к металлургическим печам Норильского горно-металлургического комбината по существующим воздухопроводам привела к возникновению аэродинамической пробки. Для обеспечения нужд процесса пришлось построить параллельную воздухопроводную систему. Однако, проблему можно было решить просто: увеличить диаметр воздуховода на 1-2 торговых размера. Падение скоростей движения газа, привело бы к уменьшению переходной зоны и свободному поступлению требуемого объема воздуха без образования пробки.

1.10. Разоблачение аттрактора

Изложенное понимание течения в трубах позволило мне найти объяснение аттрактору: появлению кольца при выхлопе газов во время запуска двигателя внутреннего сгорания.

На рисунке 1.17 показываю процесс формирования кольца. При движении потока газа образуется переходный турбулентный слой между стенками трубы и скоростным блоком газа.

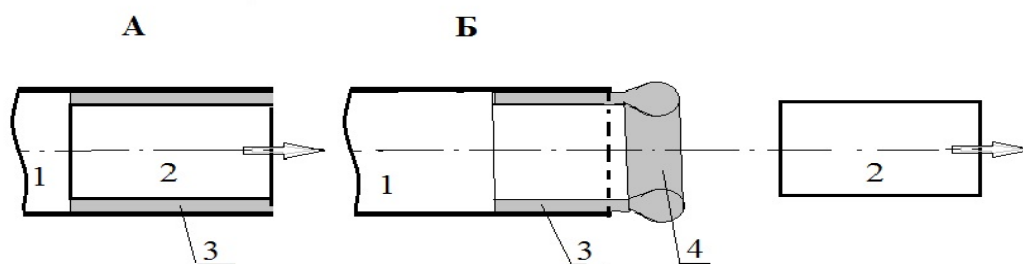


Рис. 1.17. Кольцо выхлопа. А — начало отрыва скоростного блока газа, Б — образование турбулентного кольца газа. 1 — труба; 2 — скоростной блок; 3 — турбулентный переходный слой; 4 — кольцо, подпитываемое переходным слоем

Скорость его поступательного движения вдвое ниже скорости движения основного потока. При резком прекращении подачи газа

основной поток отрывается от переходного слоя и уходит в атмосферу. Цилиндр турбулентного переходного слоя продолжает движение в трубе. На выходе из трубы он встречает сопротивление атмосферного воздуха и накапливается за обрезом трубы в виде кольца. Дальше кольцо свободно плавает в атмосфере.

Для появления кольца необходимо соблюдать следующие условия:

- выхлоп газа должен осуществляться с ускорением до выполнения условия $Re \gg Re_k$;
- конец выхлопа должен резко отсекал поток газа, но не останавливать движение турбулентного переходного слоя;
- за концом блока в трубе должны сохраняться условия атмосферы.

Предложенная схема логически объясняет физическое явление, которое обычно толкуется как необъяснимое устремление (аттрактор) частиц газа из общего потока в кольцо. На самом деле происходит вполне объяснимый физический процесс, который некоторые курильщики воспроизводят много раз.

1.11. Что рассчитывают по методикам

Практически все методы расчёта разбавления сточных вод речными водами предусматривают применение коэффициента турбулентной диффузии, рассчитываемого по параметрам принимающего водотока. В главе 1.6 показано, что источником энергии всякого процесса перемещения струи в реке является энергия самой струи, а не водоприёмника. Даже только поэтому коэффициент турбулентной диффузии применяется необоснованно.

Значение коэффициента турбулентной диффузии оказывается бесконечно малым относительно уровня заявленного виртуального перемешивания. На основании отсутствия данных в справочной информации пришёл к выводу, что виртуальные коэффициенты диффузии, вязкости и теплопроводности были только объявленными. Несмотря на явную потребность, они остались не определёнными за период, превышающий 80 лет. Невозможно измерить то, чего физически не существует.

Можно легко доказать, что виртуальность турбулентной диффузии ни как не реализована в методах расчёта изменения качества

речной воды. Так что каждая методика расчёта смешения⁶ моделирует какой-то иной процесс, далёкий от виртуальности, но, в каких-то условиях, какая-то из методик может оказаться близкой к реальному не турбулентному процессу, имеющему место в реке.

Методы расчёта трубопроводов и течения в реках основаны на применении уравнения Бернулли, и, по сути, не связаны с турбулентностью. Турбулентность не создаёт энергии для поступательного движения.

На с. 8 было отмечено, что если поток турбулентный, то вода всегда перемешивается. Но речной поток воды оказался не турбулентным. Гипотеза о смешении струй в реке была даже не виртуальной. Она была мифом с самого момента возникновения и осталась им.

Миф привёл к рассмотрению числа — концентрация вещества — в качестве физической величины, что позволило в системе мониторинга вычислять средне арифметическую концентрацию. Такое действие приводит к искажению действительности в размере до 70 % [9].

В научных текстах перестали применять для речных вод слово «струя» ([1], [21], [20] и др.), так как в турбулентном водотоке не может существовать такого элемента.

Из методических рекомендаций исчезло слово «масса». Когда в нём возникла нужда, то Мороков В. В. [21] обосновывал свои предложения на формуле условного расхода воды, объявив его удельной массой. Специалисты некоторых центров разработки норматива в своих расчётах вместо массы ($M = CQ\tau$, г) применили расход массы вещества ($\Omega = CQ$, г/ч), который следовало называть массоток [3].

Метод расчёта норматива допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты стал ярким выражением ущербности гипотезы смешения и кризиса системы управления. Метод основан на суммировании массы вещества, накопленного в русле за некоторый промежуток времени, и равномерно распределённой в накопленном же объёме воды. Такие масса вещества и объём воды в реке не способны накапливаться по причинам недостаточного места в ложе реки и существовании речного стока. Массоток вещества не задерживается в русле, а немедленно стекает с водой далее вплоть до океа-

⁶Исключая методику расчёта НДС, которая даже не содержит собственного метода расчёта.

на. Равномерное распределение массы невозможно вследствие разновременности образования её частей с разными плотностями массотка в каждой из них. К этому следует добавить причину отсутствия процесса смешения. Гипертрофированное применение смешения привело к искажённому представлению естественных процессов в пользу мистики.

1.12. Объединение струи с окружающим потоком

На основе вышеизложенного было разработано теоретическое решение задачи [8], которое даёт возможность привести следующее описание схемы процесса объединения струи с окружающей подобной средой⁷.

Остаток энергичной струи после внедрения в неограниченный поток перемещается в нём, постепенно теряя часть своего расхода воды и энергии, расходуемой на осуществление процесса. Потеря расхода поступает в турбулентный переходный слой, примыкающий к поверхности струи. Вместе с расходом воды передаётся массоток. В этом слое происходит перемешивание потери расхода с прилегающей водой. Смесь образует облако конической формы. Сечение его возрастает до момента, когда расход струи становится ничтожным и прекращается обеспечение процесса энергией. Уменьшение плотности потока вещества идёт от оси струи. Затем наступает второй период процесса, состоящий в проникновении частиц из потока в облако. Процесс идет от окружения к центру и завершается уничтожением облака — восстановлением состояния потока, близкого к исходному. Общая схема процесса дана на рис. 1.18.



Рис. 1.18. Принципиальная схема процесса ассимиляции внедрённой струи. 1 — струя, 2 — результат первого этапа (облако), 3 — результат второго этапа

⁷Концентрация вещества в струе выше, чем в принимающем потоке. Струя внедряется не в придонную переходную зону.

Процесс одинаков для водной и воздушной струй (рис. 1.11). Схема, в частности, приводит к выводу, что максимальное значение плотности потока вещества на расстоянии существования струи будет её значением во внедрённой струе. Следовательно, максимальное значение не требуется рассчитывать.

Главное отличие от схемы смешения: струя участвует в процессе отдачей своей энергии и отделением части расхода воды, а не разрушается в турбулентной диффузии.

Анализ метода А. В. Караушева показал, что струя с остатком массотока включёна в полосу максимальных значений плотности массотока. Плотность массотока объединённой струи оказалась пересчитанной по материальному балансу массотоков [8].

Более точным вариантом расчёта распределения плотности потока вещества в речной воде может быть метод расчёта, начинающегося от внедрённой струи ($\frac{\Delta S}{\Delta x} = 0$). Он возможно будет разработан по результатам решения уравнения, подобного второму закону А. Фика

$$\frac{\delta S}{\delta t} = b \nabla S, \quad (1.9)$$

где b — коэффициент массопередачи, численно измеряемый массотоком вещества, отделившимся через единичную площадку за единицу времени ($t=1$, с) при градиенте плотности массотока, равном 1 г/м^3 , $\text{м}^2/\text{с}$. Остальные величины те же, что в уравнении А. Фика. Одним из краевых условий будет зависимость поступления в соседнюю струю массотока Ω от изменения остатка его в струе $\Delta \Omega = \Delta(\mu_x \Omega_x)$, где μ_x — коэффициент остатка.

Если решить дифференциальное уравнение методом конечных разностей, то, даже при равенстве коэффициентов турбулентной диффузии и массопередачи, результаты расчётов первого этапа по А. В. Караушеву и по новому методу не будут одинаковыми.

Миф о смешении струй в реке послужил достаточно. Сейчас его существование приносит массу неверной информации, очевидный психологический ущерб, воспитывая пренебрежение природными процессами, и определённый материальный ущерб. Пришло время от него отказаться.

Глава 2. Миф о переохлаждении воды

Появление мифа о переохлаждении воды оправдано существованием процесса ледостава, не поддающегося логически непротиворечивому объяснению.

2.1. Установившееся описание процесса ледостава

Представление о процессе ледостава на реках в наиболее обобщённом виде обнаружено в интернете, в тексте «Методические указания “Основы Гидрофизики”» [14]. Его автор, Козлов Д. В., большое внимание уделил льдообразованию. Привожу цитаты из этой работы. «М. Матоушек предложил наиболее полное объяснение причин возникновения внутриводного льда и сала, в соответствии с которым при достижении переохлаждения воды около $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ на поверхности водоема возникают зародышевые кристаллы (начальные формы ледяных образований) в виде игл или пластинок. Если течение способно увлекать эти кристаллы в водную толщу, образуется внутриводный лёд, если оно не обладает такой способностью, зародышевые кристаллы остаются на поверхности воды, образуя пятна или тонкий сплошной слой серовато-свинцового цвета, внешне напоминающие вылитый на воду жир

Условия возникновения внутриводного льда определяются М. Матоушекком следующим образом: температура воды $t_{\text{в}} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура поверхности воды $t_{\text{пов}} < -0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость течения $V > 0,066 [(0,7 \cdot C + 6) C]^{0,305} \cdot R^{0,5}$, где C - коэффициент Шези, R - гидравлический радиус.

Таким образом, для образования внутриводного льда вода должна непременно иметь температуру ниже температуры замерзания (кристаллизации), то есть быть переохлажденной, температура льда должна быть равна температуре кристаллизации (А. И. Пехович)». И далее, ссылаясь на В. А. Милошевича: «Форма частиц шуги зависит от скорости потока. До скоростей $0,35\text{ м/с}$ образуются пластины, выше $0,5\text{ м/с}$ - шары, в промежуточной области - эллипсоиды».

Д. В. Козлов поясняет также, что «Процесс замерзания пресной и соленой воды происходит скачком с выделением теплоты кристаллизации. Обратный процесс, т. е. таяние льда, происходит с поглощением того же количества теплоты, но без скачка, постепенно ... Удельная теплота кристаллизации воды $L_{кр}$ — это количество теплоты, которое выделяется при кристаллизации 1 кг воды при постоянной температуре. Для дистиллированной воды она равна $33,3 \cdot 10^4$ Дж/кг». В то же время: «Удельная теплоемкость воды — это количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг дистиллированной воды на 1°C в пределах $14,5 — 15,5^\circ\text{C}$. Удельная теплоемкость воды слабо зависит от температуры, поэтому в практических расчетах ее значение может быть принято постоянным, равным $4,2$ кДж/кг»¹.

Д. В. Козлов обобщает: «Переохлаждённая на поверхности реки вода переносится в глубину турбулентным течением и в благоприятных условиях образует внутриводный (шуга) и донный лёд. При этом степень переохлаждения глубинных вод значительно меньше, чем поверхностных»².

2.2. Противодействие водотока промерзанию

Ледовые процессы объяснены наукой не убедительно. В озёрах нет турбулентности но донный лёд возникает в начале очень продолжительной и холодной зимы. Нет турбулентности в речных водотоках. Отсутствует подтверждение передачи холода от поверхности вглубь в реках Енисей и Ангара, но шуга в них образуется всегда.

Объёмный вес воды при отрицательной температуре всегда ниже, чем при положительной от нуля до плюс четырёх $^\circ\text{C}$. Такая вода всплывает по закону Ньютона. Для её погружения нужно большое усилие. Но сил, порождающих такое действие, в реках нет.

При кристаллизации 1 кг воды выделяется тепла, достаточно для нагрева 1 кг воды на 79°C (или 71 кг на 1°C). Следовательно, процесс замерзания, по крайней мере, не может сопровождаться переохлаждением воды. Температура замерзания воды ноль градусов по Цельсию. В условиях обычных в природе давлениях она не может быть жидкостью при температуре «- $0,15^\circ\text{C}$ и ниже». Работы

¹Для сопоставимости следовало написать: $333 \cdot 10^3$ и $4,2 \cdot 10^3$ Дж/кг.

²Обобщение не подтверждено прямыми наблюдениями.

М. Матоушека и В. А. Милошевича направлены на подтверждение гипотезы о возможном переохлаждении воды и перенесении переохлаждённых частиц турбулентным потоком.

Б. А. Аполлов перечислял причины, по которым вода имеет наибольшую плотность при температуре четыре градуса Цельсия. Это объясняется тем, - писал он, - что при охлаждении воды происходит уменьшение объёма за счет температуры и увеличение его за счет образования больших и менее плотных молекул [2].

Это высказывание и содержание главы первой привлекли моё внимание к физическим процессам изменения молекулярного строения воды, возникающим при изменении температуры и при ускорении течения.

2.3. Кристаллы воды в природе

Информацию о строении льда заимствуем у А. В. Щавлова [25]: «В природных условиях Земли лёд представлен, главным образом, одной кристаллической модификацией, кристаллизующейся в гексагональной сингонии (лёд I_h). Во льду I_h каждая молекула H_2O окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, находящимися на одинаковых расстояниях от неё, равных $2,76 \text{ \AA}$ и размещённых в вершинах правильного тетраэдра ... Ажурная структура такого льда приводит к тому, что его плотность, равная $916,7 \text{ кг/м}^3$ при 0°C , ниже плотности воды ($999,8 \text{ кг/м}^3$) при той же температуре. Поэтому вода, превращаясь в лёд, увеличивает свой объём примерно на 9 %. Лёд, будучи легче жидкой воды, образуется на поверхности водоёмов, что препятствует дальнейшему замерзанию воды».

Здесь полезно напомнить, что сингония — это признак для классификации кристаллов по расположению осей граней. Всего имеется семь кристаллографических сингоний. Самые простые кристаллы принадлежат к первой, кубической, сингонии. В ней оси граней лежат под прямым углом. В особняком стоящей, гексагональной сингонии оси расположены под углом 120 градусов. В этой сингонии возможны формы: тетраэдр, дипирамида, пластинка (пинакоида) ... [11].

Вода, она и в воздухе имеет те же свойства. При кристаллизации в воде тетраэдр представлен льдом, а в атмосфере — градом и крупой. Пластинка усматривается в шуге и снежинке, а дипирамида —

в игольчатом виде шуги и измороси. Снежинки могут слипаться в хлопья, а шуга в плиты, «блины». Дипирамиды могут образовывать иней и прилипать к выступающим поверхностям предметов (дна) или образовывать шаровые скопления в воде.

2.4. Динамика молекулярного строения воды

Изменение молекулярного строения воды в зависимости от её температуры представлено в табл. 2.1, в которой я добавил последнюю графу.

Таблица 2.1. Количество молекул при различной температуре воды

Фаза	H ₂ O моногидроль	(H ₂ O) ₂ дигидроль	(H ₂ O) ₃ тригидроль	H ₂ O: :(H ₂ O) ₃
Лёд при 0 °C	0	41	59	0,0
Вода при 0 °C	19	58	23	0,827
Вода при 4 °C	20	59	21	0,950
Вода при 98 °C	36	51	13	2,769

Изменение плотности и удельного объёма воды в интервале температур 0 - 35 °C по сравнению с такими величинами при 4 °C в стоячей воде [2] показано в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Удельная плотность и удельный объем воды при различной ее температуре

Температура, t °C	Удельная плотность, ρ_t/ρ_4	Удельный объем, V_t/V_4
0	0,9987	1,0001
4	1,0000	1,0000
5	0,99998	1,00001
10	0,99973	1,00027
15	0,99912	1,00087
20	0,99823	1,00127
25	0,99706	1,00294
30	0,99567	1,00435
35	0,99406	1,00598

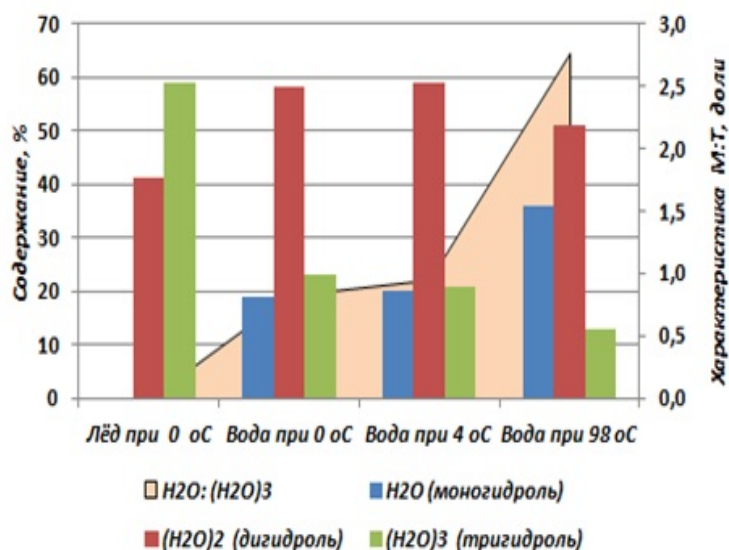


Рис. 2.1. Количество молекул при различной температуре льда и воды (°C)

В табл. 2.1 показано, что лёд состоит из разного количества молекул ди- и тригидролей, что не соответствует идеальному построению [25], так как в гексагональной сингонии (лёд I_h) объединены пять молекул моногидролей. Поэтому в таблице количество ди- и тригидролей во льду должно быть равным. Для дальнейших рассуждений мне не потребуется уточнять ледовые данные из табл. 2.1. Буду описывать процессы, происходящие в воде, которая сохраняется жидкой до момента отвердения.

Из табл. 2.1 видно, что вода состоит из моногидролей (H_2O), дигидролей ($(H_2O)_2$) и тригидролей ($(H_2O)_3$) в разных пропорциях, зависящих от температуры воды [2]. От строения воды зависит её плотность и удельный объём. На основе табл. 2.1 для наглядности сделан рис. 2.1.

Обращаю внимание, что изменение плотности стоячей воды связано с изменением отношения $M:T = H_2O : (H_2O)_3$. Пар состоит только из моногидролей ($M:T$ бесконечно велико). Твёрдая вода (лёд) не содержит моногидролей ($H_2O = 0$, $M:T = 0$). Для температур, больших 4 °C, характеристика $M:T$ больше единицы, а при температуре ниже 4 °C - меньше единицы. В этой особенности молекулярного строения содержится объяснение аномального уменьшения плотности воды в «холодном» диапазоне температур (+4 ... 0 °C). Величину $M:T$ называю показателем связи молекулярного стро-

ения воды с её физическими свойствами (показатель М:Т).

Наиболее плотная вода при 4-х градусах имеет показатель М:Т равным 1 : 1,05. (Козлов Д. В. неоднократно напоминает, что температура наиболее плотной воды не 4, а 3,98 °С. Логично полагать, что при наиболее плотной воде М:Т равно единице, но на мои выводы это не влияет).

При охлаждении воды ниже четырёх градусов увеличивается количество тригидролей за счёт уменьшения количества моногидролей и дигидролей ($M:T < 1:1,05$). Получается естественная для воды молекулярная структура с меньшей плотностью, так как тяжёлая молекула тригидроли наименее плотная [2]. В воде при ноле градусов показатель М:Т равен 1 : 1,21. Здесь на 13 процентов больше лёгких тригидролей, чем при четырёх градусах.

По правилам теплопередачи для перехода воды в лёд нужен перепад температур: нулевая температура воды и отрицательная температура воздуха или нижней поверхности льда. Зона отвердения воды заключена в отрицательном интервале температур между водой и атмосферой или льдом. При нуле градусов воды и отрицательной температуре контактной среды показатель М:Т изменяется от $M:T = 1:1,21$ до $M:T = 0$. В этом интервале все оставшиеся моногидроли объединяются с дигидролями и молекулярная плёнка воды становится твёрдой. Лёд приобретает малую плотность за счёт ажурной структуры, включающей равное количество тригидролей и дигидролей.

Выделенное тепло тут же поглощается водой, не позволяя прилегающему слою превратиться в лёд. Если толщина льда недостаточна для преграждения оттока тепла в атмосферу и нижняя плоскость ледового покрытия остаётся ниже нуля, то интервал температур сохранится. Процесс наращивания льда продолжится, а прекратится по правилам теплопередачи только при условии равенства нулю температур поверхности воды и нижней плоскости льда.

Наращивание толщины льда, продолжается примерно половину зимы до перехода через максимально низкие температуры воздуха. Толщина льда может не увеличиваться при накоплении снежного покрова на льду. Процесс ускоряется по мере потери теплопроводности льда, вследствие уменьшения его толщины за счёт испарения с поверхности и изменения его плотности [14].

Для быстрого таяния льда требуется большой перепад темпера-

тур между средой и льдом. Такого перепада в природе не возникает. Пока приледовая температура воды сохраняется нулевой, молекулы низа льда не разрушаются, лёд не подтаивает снизу. С наступлением атмосферного тепла лёд тает с двух сторон. Сверху от талой воды, имеющей температуру существенно выше нуля, и высокой температуры воздуха. Тает снизу от речной воды, температура которой ниже талой воды, но выше нуля.

Лёд тает дольше, чем образуется, в соответствии с располагаемыми малыми перепадами температуры между льдом и примыкающими средами.

Рассмотренные данные характеризуют неподвижную воду; характеризуют динамику её молекулярной структуры в полном температурном диапазоне жидкости, включая процесс оледенения.

2.5. Фактор скорости

Доктор географических наук И. В. Космаков много лет изучает реку Енисей и водохранилища ГЭС на этих реках. Результаты распределения температуры воды в приплотинной части акватории водохранилища Красноярской ГЭС показали, что перед водозаборными отверстиями возникает повышение температуры воды (табл. 2.3 [15]).

Таблица 2.3. Средняя температура воды в период осеннего охлаждения в бьефах плотины Красноярской ГЭС

Время, год измерения	по вертикали	на уровне водозаборных отверстий	В нижнем бьефе
29.09.70	9,7	14,5	12,6
09.10.70	9,4	12,4	11,5
09.10.72	8,4	12,1	10,5
10.11.72	6,9	7,8	7,5
08.10.84	8,1	11,7	9,7

Температура перед водозаборными отверстиями оказалась на 2-5 градусов выше, чем в водохранилище. Здесь необходимо подчеркнуть, что, методика исследования была разработана в соответствии с существовавшими воззрениями: для наблюдения не были выделены струи пред водозаборными отверстиями, а итоговый вывод основан

на средних концентрациях, вместо средних плотностей массотока в струях. Возникли различия в результатах наблюдений и колебания даже средних концентраций. Это тоже требовало объяснения. Изучение явления было продолжено 14-16 июля 1984 г. при постоянном расходе воды через турбины ГЭС, равном $2400 \text{ м}^3/\text{с}$. Теперь были отдельно замерены температуры в поверхностном слое водохранилища (табл. 2.4), для проверки предположения о захвате преимущественно нагретого слоя водохранилища.

Таблица 2.4. Средняя температура воды в период летнего прогрева в бьефах плотины Красноярской ГЭС

Время измерения	по вертикали	на уровне водозаборных отверстий	Эпилимниона	В нижнем бьефе
12.00 14.07	9,8	12,6	13,5	10,4
17.00 14.07	9,0	11,3	13,6	10,1
10.00 15.07	9,6	15,5	13,6	10,0
13.00 15.07	9,8	14,8	13,7	9,9
16.00 15.07	8,0	10,5	12,7	9,3
9.30 16.07	8,7	11,4	12,4	9,0

Результат получился ещё более необъяснимым: 15 июля в двух из трёх измерений температура воды перед водозаборными отверстиями оказалась даже выше, чем в эпилимнионе. По моему заключению в водохранилище происходило не простое смешение объёмов воды. Возник источник энергии, нагревающей уже смешанную воду.

Пренебрегая этим результатом исследователь отнёс повышение температуры на счёт забора воды преимущественно с верхнего слоя воды и охвата всего сечения водохранилища. Однако, при охвате даже только эпилимниона не может быть температуры у водозаборных отверстий выше нагретого слоя воды. Тем более, что И. В. Космаков объявил охват водозабором всей толщи воды в водохранилище. К тому же, несколько ранее он писал: «В тёплую зиму у плотины существует полынья, которая при наступлении положительных температур воздуха начинает резко увеличиваться» [15, с. 81]. Сохранение полыньи зимой невозможно отнести за счёт солнечной радиации.

Основываясь на личных наблюдениях и наблюдениях других исследователей я предположил, что при ускорении течения в воде образуются тригидроли, что сопровождается выделением тепла. Тепло, выделяемое при этих процессах, увеличивает теплосодержание

воды. Происходит рост температуры перед водозаборными отверстиями ГЭС, на порогах и на отдельных участках реки, где зимой образуются полыньи - длинные узкие прорези в ледяном покрове. То же происходит на входе в трубу 5 на приборе О. Рейнгольда (рис. 1.2).

У меня нет данных о теплосодержании каждого вида соединений молекул воды. Для объяснения источника тепла воспользуюсь данными о теплоёмкости молекул идеального газа [22]. Известно, что при небольших температурах молярная теплоёмкость равна:

для одноатомных газов 21 кдж/кмоль град,

для двухатомных $29,4$ кдж/кмоль град и

для трёхатомных $37,8$ кдж/кмоль град.

Составить трехатомный газ можно по двум вариантам:

из трёх одноатомных $3 * 21 = 63$ кдж/кмоль град и

по одной одно- и двухатомных: $21 + 29,4 = 50,4$ кдж/кмоль град.

Трёхатомный газ содержит меньше тепла, чем исходный материал. Излишнее тепло выделится. В первом варианте выделится $63 - 37,8 = 25,2$ кдж/кмоль град. Во втором варианте — $50,4 - 37,8 = 12,6$ кдж/кмоль град. Столько же выделится при создании двухатомного газа из одноатомных.

Аналогичный процесс происходит при образовании тригидролей. Тепло выделяется внутри струи и поглощается только водой, увеличивая её теплосодержание. Зимой вода не замерзает, несмотря на потери тепла при испарении.

Наблюдавшееся охлаждение воды в нижнем бьефе объясняю механическим разрушением тригидролей на турбинах ГЭС и уменьшением скорости течения воды. Тригидроли большей частью распадаются с поглощением тепла из атмосферы и из самой воды в нижнем бьефе.

Это предположение вполне согласуется с новым объяснением результатов опытов О. Рейнгольда (см. раздел 1.6, п. 4). Причём, у меня появилось основание объяснить, почему Re_k при увеличении скорости отличается от Re_k при уменьшении скорости. При росте скорости тригидроли образуются мгновенно. Ничто не мешает выделению тепла. При уменьшении скорости тригидроли распадаются медленно, так как вода не получает нужного избытка тепла.

2.6. Связь замерзания со скоростью течения воды

Из изложенного разделе 2.1 известно, что исследователи не отрицают, что скорость течения есть процесс, обязательно присутствующий при возникновении шуги (М. Матоушек, В. А. Милошевич).

В первой главе я защитил предположение, что ускорение движения воды порождает переход её молекулярной структуры к кристаллоподобному строению. Такую структуру, по аналогии с друзой кварца, рассматриваю состоящей из множества кристаллических элементов (струек), в каждом из которых имеется собственный центр кристаллизации.

Полагаю, что переход воды в динамическое состояние, удовлетворяющее критерию Рейнольдса в интервале $+4 \dots + 98$ °С, происходит за счёт роста кинетической энергии в струе, которая (энергия) провоцирует изменение молекулярной структуры воды, что проявляется в повышении плотности воды по сравнению с плотностью неподвижной воды при той же температуре.

Реализация изложенного мнения показана на рис. 2.2.

Линия связи показателя М:Т с температурой, указанная на рисунке, построена по приближённой формуле, выведенной только по трём известным точкам: $(\text{М:Т})_{t=0}$; $(\text{М:Т})_{t=4}$ и $(\text{М:Т})_{t=98}$. Линия АВ на рисунке представляет скоростной (динамический) показатель М:Т для скорости водотока при квадратичном режиме сопротивления.

Вода в точке А этой линии на рис. 2.2 при температуре 15 градусов приобрела плотность стоячей воды при семи градусах (точка С). Порядок определения показан стрелками. Вода в струе стала более плотной, что отличает струю от окружающей её среды.

При температуре воды четыре градуса (точка В) струя при скоростном показателе $\text{М:Т} = 0,75$ попадает в зону оледенения, хотя температура воды всё ещё выше нуля. При таком отношении устанавливается плотность воды ниже уровня, соответствующего нулевой температуре (точка D). По молекулярному строению это преимущество тригидролей, близкое к состоянию льда, но возникшее при положительной температуре воды. Пока струя находится в компакте, тригидроли не объединяются в кристалл. молекулярная шуга не обнаруживается органами чувств. Но как только вода попадает в переходную область или область понижения скорости, немедленно

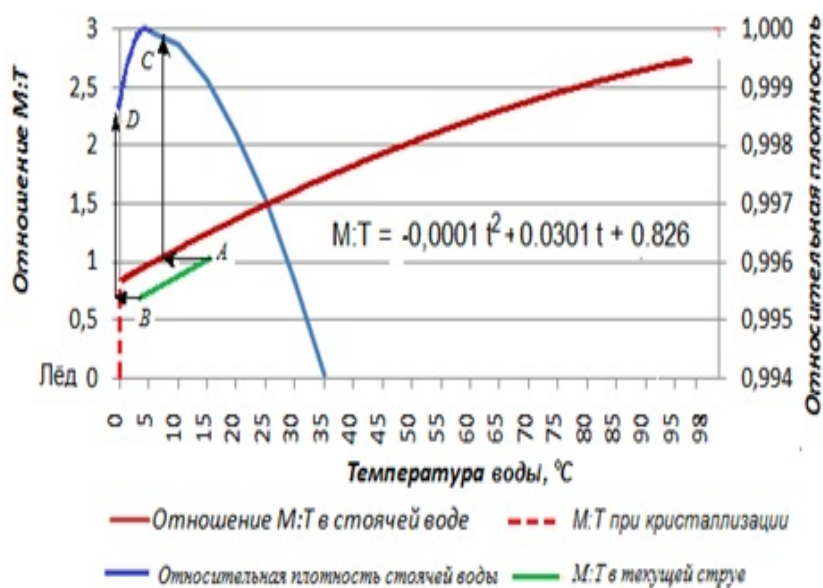


Рис. 2.2. Связь показателя $M:T$ с температурой и плотность воды в связи с изменением температуры в неподвижной воде. АВ - показатель $M:T$ в зависимости от температуры для ускоряющейся струи; А - динамический показатель $M:T$ при 15°C ; В - динамический показатель $M:T$ при 4°C ; С - плотность воды при показателе $M:T$ в точке А; D - плотность воды при показателе $M:T$ в точке В.

образуются кристаллы в виде игл или пластинок. На рис. 2.3, скопированном у Лисера [17], показано распределение шуги по границам струи. Точно также, как образуется снег или куржа в атмосфере. Только кристаллы шуги могут не всплывать к поверхности воды, так как смесь кристаллов с моногидролями обладает повышенной вязкостью.

В структуре воды есть много моногидролей, а в структуре льда их нет совсем. Поэтому шуга, оставаясь среди моногидролей, не приобретает монолитность. Шуга, - это ещё не лёд, пока сохраняются условия: $t > 0$ и $M:T > 0$. Очевидно, что при её формировании выделилось тепла не меньше, чем при выделяется при формировании льда. Но количество тригидролей на единицу объёма воды меньше, чем при образовании льда. Всё выделенное тепло использовано на сохранение воды в жидком состоянии.

При температуре нижней поверхности льда ниже нуля, состав воды по площади контакта изменится и все моногидроли в зоне охлаждения будут связаны с дигидролями. На нижнюю поверхность

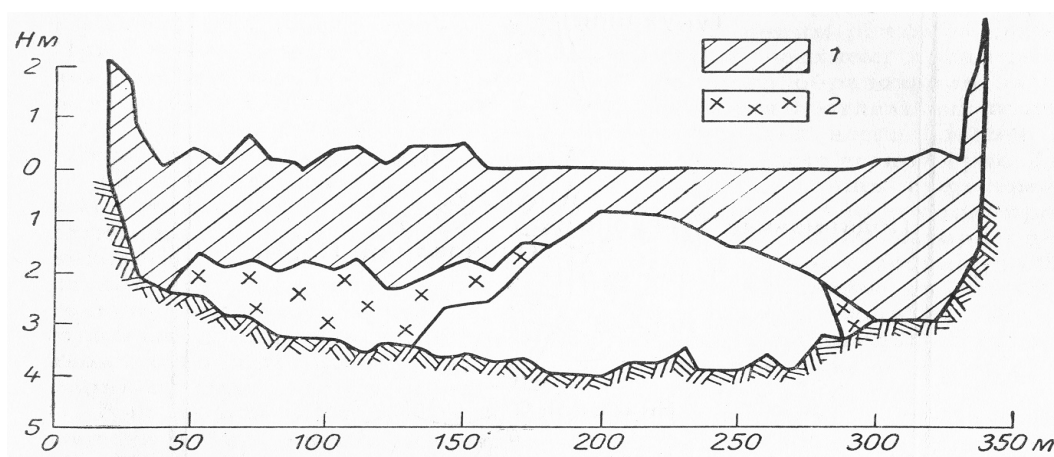


Рис. 2.3. Поперечный профиль русла Енисея у г. Кызыла по промерам 10 апреля 1945 г. 1 — лёд, 2 — шуга

льда нарастёт слой оледеневшей шуги, но кристаллизация произойдёт по центрам, имеющимся в шуге, поэтому лёд не будет полностью прозрачным. Более глубокий слой шуги отогреется выделенным теплом или, по крайней мере, сохранит свои свойства.

Для разрушения тригидроли шуги необходимо столь же тепла, сколько было выделено при её образовании. Тригидроли разрушаются при малых перепадах температуры, но и таких перепадов в струе нет. Поэтому шуга тает не мгновенно.

2.7. Процесс ледостава на реках

Теперь, на основе учёта молекулярного строения воды и теловых процессов при ускорении течения, формулирую сущность процесса образования льда.

Водный (кристаллический) лёд

Похолодание воздуха приводит к снижению температуры поверхности прибрежных вод до нуля. Когда температура поверхности воды достигнет нуля градусов, а воздух будет иметь температуру ниже нуля, в поверхностном слое воды произойдёт мгновенное объединение всех моногидролей с дигидролями так, что создадутся молекулы льда. Возникнет прибрежный лёд (забереги), а при сильном морозе вся акватория покроется тонким льдом. Выделенная теплота льдообразования согреет воду. Лёд изолирует поверхность воды от холодного воздуха. Если толщина льда не достаточна для подъёма темпе-

ратуры нижней поверхности льда до нуля, то продолжится процесс оледенения следующего слоя воды. Толщина льда увеличится.

Процесс завершится, когда температура нижней поверхности льда станет равной нулю. Температура поверхности воды, контактирующая со льдом, также установится равной нулю. Если температура низа льда станет ниже нуля (в связи с понижением температуры воздуха), то включится кристаллизация следующего слоя воды до восстановления температурного равновесия при нижней плоскости льда. Положение центров кристаллизации на нижней поверхности льда стационарно, поэтому образуется кристаллический лёд столбчатой структуры, лежащий на воде в заберегах и на плёсах

Теперь небольшое временное повышение температуры воздуха или воды выше нуля не существенно изменит толщину льда, так как недостаточны перепады температур между льдом и примыкающими средами.

Шуговой лёд

В ускоряющемся течении воды моногидроли дополнительно объединяются с дигидролями в тригидроли. Выделение тепла делает температуру воды в струе немного выше, чем на тиховодье, или на струях, достигших меньшую скорость. Возрастает плотность воды, её вязкость.

В условиях температур воды, близких к нулю, возникают струи (водотоки), в которых показатель $M:T$ меньше, чем $1:1,21$, но температура воды сохраняется выше нуля. Тригидроли формируются в скоростной части струи, но существуют в молекулярном виде. Только после выхода на плёсо во всей толще медленной струи образуется кристаллы шуги: игольчатая, подобная изморози в атмосфере, или пластинчатая, подобная снежинкам. В переходной области течения и побережье шуга высвобождается из системы текущего кристалла и слипается в крупные образования. В плёсе она постепенно тает от дна, если его температура выше нуля. Этот неоднократно повторяющийся процесс хорошо виден на профиле р. Десны (рис. 3 по И.И. Леви [16]).

Шуговое льдообразование происходит только при нулевой температуре поверхностной плёнки воды (в интервале от $M:T=1:1,21$ до $M:T=0$) и не зависит от скорости течения. При нуле градусов приледового слоя воды и отрицательной температуре нижней плоскости льда шуга оледенеет ($M:T$ становится равным нулю), увеличивая

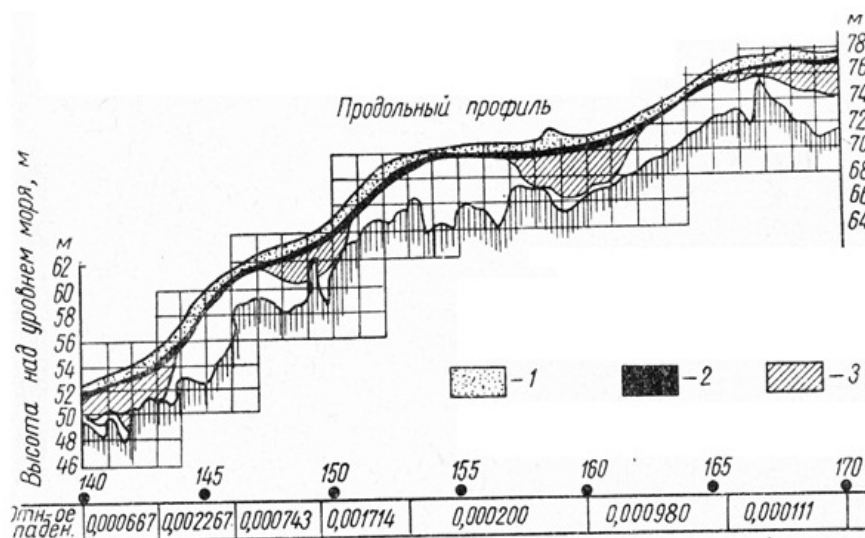


Рис. 2.4. Снежный и ледовый покровы и распределение шуги по части русла реки Западная Двина. 1 — снег, 2 — лёд, 3 — шуга

толщину льда за счёт не отдельных молекул, а за счёт кристаллов шуги, где центры кристаллизации расположены в самой шуге. Этот лёд не будет столбчатым и прозрачным. Он не может содержать грунт. Тепло льдообразования сохранит остальную шугу от оледенения.

Донный лёд

Шуга, осевшая на тёплом дне, постепенно перейдёт в состав моногидролей, и толщина донный накоплений будет уменьшаться.

При достижении поверхности дна температуры ниже нуля, леденеет слой шуги, лежащей на нём. Образуется донный лёд, защищающий водоток от промерзания со дна. Частицы грунта оказываются вмёрзшими в лёд. Донный лёд будет нарастать вверх по плоскости контакта с водой. При оттаивании дна, такой лёд всплывёт, унося вверх частицы грунта, на котором он был закреплён. Его структура подобна структуре шугового льда, и он может примерзать к поверхностному льду, накрывающему воду, с включениями воздуха и воды, так как его поверхность не совпадает с плоскостью низа верхнего льда.

2.8. Алгоритм самозащиты реки

Каждая река постоянно подвергается природным воздействиям. Их можно рассматривать как внешние и разделять на регулярные и катастрофические. Падение температуры воздуха и земли приводят к охлаждению воды вплоть до её отвердевания. Увеличение температуры воздуха и земли, а также солнечная радиация, вызывают повышение температуры воды в реке вплоть до полного испарения водотока. Это регулярные внешние воздействия, ход которых характеризуется переменами погоды и вековыми колебаниями климата. К катастрофическим воздействиям отнесём явления, резко нарушающие вековой фон: землетрясения, цунами, торнадо и прочие. Катастрофические воздействия пока не рассматриваем.

Задача разработки алгоритма самозащиты поставлена как поиск природных механизмов сохранения естественного состояния реки, которые, тем не менее, могут наносить вред хозяйственной деятельности. Вмешательство в эти процессы может привести к уничтожению водного объекта или изменению условий жизни не только в реке, а и на части водосборной площади. С другой стороны, знание природных механизмов самозащиты облегчает использование рек с наименьшим для них ущербом. Наконец, сама постановка проблемы оказалась новой, интересной и плодотворной.

Работы находятся в начальной стадии, поэтому, по возможности, ограничусь сокращённым изложением только одного вида регулярного воздействия на реку. Наиболее убедительно проявляется самозащита, как механизм процессов, предотвращающих перемерзание водотока.

Ледостав изучали многие. Я использую установившиеся в науке сущности самих процессов, но игнорирую объяснения с привлечением переохлаждения или с использованием турбулентной диффузии (смещения). В толковании процессов применяю, в основном, вышеизложенные теоретические положения.

В арсенале защитных процессов у реки имеется мало возможностей: закрытие поверхности контакта с окружающими средами и увеличение глубины водотока.

2.8.1. Самозащита реки ограничением потерь тепла

Самозащита кристаллическим льдом (рис. 2.5)

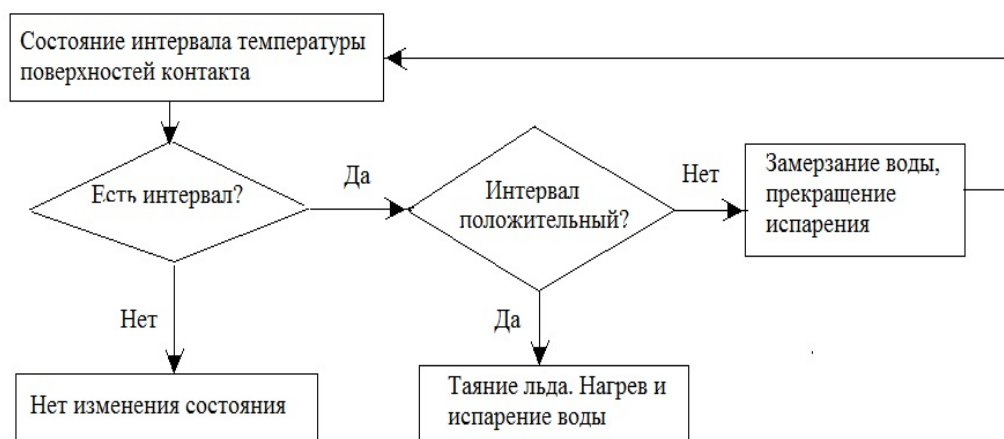


Рис. 2.5. Алгоритм самозащиты реки ограничением потерь тепла через поверхности контакта с окружающими средами

Похолодание воздуха и испарение воды с её поверхности приводит к снижению температуры поверхностного слоя прибрежных вод до нуля. Когда температура поверхности воды достигнет нуля градусов, а воздух будет иметь температуру ниже нуля, в поверхностном слое воды произойдёт мгновенное объединение всех молекул воды с молекулами льда, что создадутся молекулы льда. Возникнет прибрежный лёд (забереги). При сильном морозе вся акватория покроется тонким льдом. Выделенная теплота льдообразования согреет воду. Лёд изолирует поверхность воды от холодного воздуха. Если толщина льда не достаточна для подъёма температуры нижней поверхности льда до нуля, то продолжится процесс оледенения следующего слоя воды. Толщина льда увеличится.

Процесс завершится после того, как температура нижней поверхности льда станет равной нулю. Температура поверхности воды, контактирующая со льдом, также установится равной нулю. Положение центров кристаллизации на нижней поверхности льда стационарно, поэтому образуется кристаллический лёд столбчатой структуры, лежащий на воде в заберегах и на плёсах.

Теперь небольшое временное повышение температуры воздуха или воды выше нуля не существенно изменит толщину льда, так как недостаточны перепады температур между льдом и примыкающими средами.

Наращивание толщины льда, продолжается примерно полови-

ну зимы до перехода минимальные температуры воздуха. Толщина льда может не увеличиваться при накоплении снежного покрова на льду. Процесс ускоряется по мере потери теплопроводности льда, вследствие уменьшения его толщины за счёт испарения с поверхности и изменения его плотности.

Самозащита шуговым льдом (рис. 2.5)

При температуре нижней поверхности льда ниже нуля, состав воды по площади контакта со льдом изменится. Все моногидроли в зоне охлаждения будут связаны с дигидролями. На нижнюю поверхность льда нарастёт слой оледеневшей шуги, но кристаллизация произойдёт по центрам, имеющимся в шуге, поэтому лёд не будет полностью прозрачным. Более глубокий слой шуги отогреется выделенным теплом или, по крайней мере, сохранит свои свойства шуги.

Самозащита донным льдом (рис. 2.5)

Когда температура поверхности грунта будет ниже нуля, слой шуги, лежащей на нём, заледенеет - образуется донный лёд, защищающий водоток от промерзания со дна. Частицы грунта оказываются вмёрзшими в лёд. Донный лёд будет нарастать вверх по плоскости контакта с водой.

Условия для охлаждения дна могут возникнуть от поглощения тепла шугой. Но и в этом случае грунт промерзает не позже образования донного льда и крепит лёд до своего оттаивания. Самозащита работает до момента появления положительных температур дна.

Глубинное тепло постепенно восстанавливает положительную температуру дна и лёд всплывает среди зимы. Теперь он не нужен на дне, так как угрозы промерзания нет. Такой лёд уносит вверх частицы грунта, на котором он был закреплён. Его структура подобна структуре шугового льда, и он, после всплывания может примерзнуть ко льду, накрывающему воду, с включениями воздуха и воды, так как его поверхность не совпадает с плоскостью низа верхнего льда.

2.8.2. Самозащита изменением глубины водотока

Самозащита предотвращает перемерзание водотока увеличением его глубины двумя способами: осенним затором и зажором.

Осенний затор (рис. 2.6)

Если начало зимы суровое, то возникает угроза промерзания реки до дна. Наиболее возможный участок промерзания — верховая часть плёса.

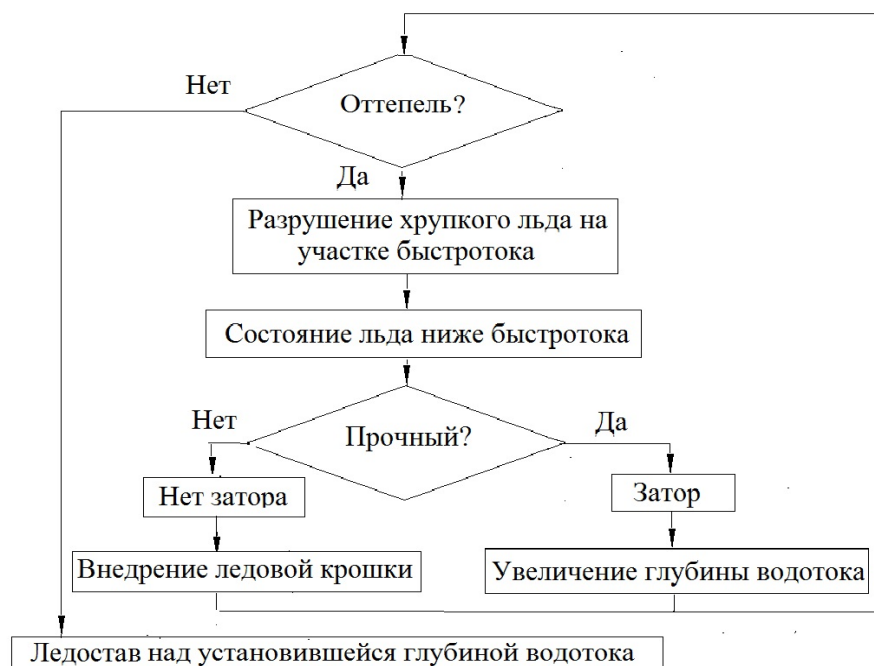


Рис. 2.6. Алгоритм защиты реки осенним затором

На скоростном участке выше плёса всегда образуется лёд, имеющий неравномерно расположенную толщину. В нём существует множество центров критического механического напряжения. Такой лёд при падении уровня воды обрушивается с разделением на куски разной величины.

Движение водотока подо льдом аналогично движению воды в трубе: вода течёт под напором с увеличенными потерями его за счёт ледового покрытия. При разрушении льда происходит переход к безнапорному течению, что вызывает сброс потерь, приводящий к скачку расхода воды в начале ледового хода.

Скачок уровня воды в начале ледохода набрасывает груды обломков на прочный ледовый покров, что прогибает лёд. Уменьшение сечения водотока на входе под лёд и повышение уровня воды перед кромкой льда создаёт препятствие перемещению воды и льда. Происходит затор.

Выше затора создаётся повышенная глубина воды, затапливается часть скоростной струи или вся она. На этом участке, затем, образуется лёд более равномерной толщины и без обилия центров напряжения, что обеспечивает самозащиту реки на весь зимний период.

На рис. 2.7 показано положение льда в весеннем заторе (по И.Я. Лисеру). Осенний затор отличается тем, что состоит из смеси битого льда разных размеров и шуги.

Замечено, что при мягкой осени, поскольку в подъёме уровня для реки нет необходимости, ледоход внедряется в тиховодный участок без создания затора, но заполняя в нём полосу битым льдом и торосами [17]. Самозащита срабатывает только при действительной угрозе существованию водотока.

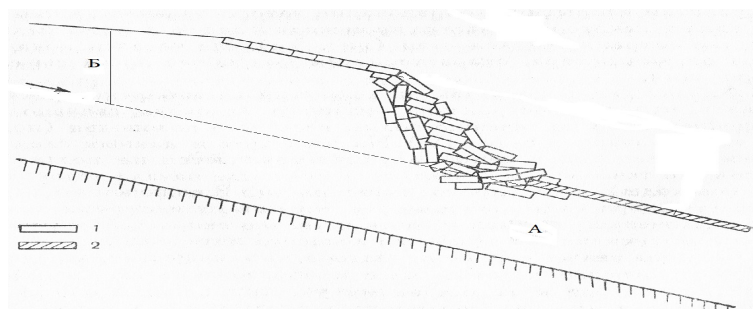


Рис. 2.7. Положение уровней воды и ледового покрытия при весеннем заторе. 1 — вода, 2 — ледовое покрытие, А — сжатое сечение, Б — дополнительная глубина воды

Зажор (рис. 2.8)

Зажор возникает, когда на участке образования шуги скорость возникновения тригидролей больше скорости их транспортирования за пределы участка.

По фарватеру течёт наиболее быстрая часть водотока (струя). При температуре воды ниже 4°C и возрастающей скорости течения резко возрастает процесс объединения моногидролей с дигидролями в тригидроли. Показатель М:Т в струе входит в область замерзания, хотя температура воды выше нуля.

Объём воды становится больше, чем даже при нуле градусов. Предположив, что плотность воды приблизится к половине плотности льда, получим увеличение объёма (расхода) на 4 — 5 процентов. С момента потери из струи 1- μ расхода в нём появляются элементы шуги, которые делают воду до предела насыщенной взвесями. Возрастают потери энергии на сопротивление движению. Кроме того, живое сечение уменьшается отложениями шуги на поверхности дна. Водоток выходит из русла. Повышается глубина водотока.

Подъём уровня воды захватывает часть быстротока. Это уменьшает прирост тригидролей и, следовательно, сокращает прирост

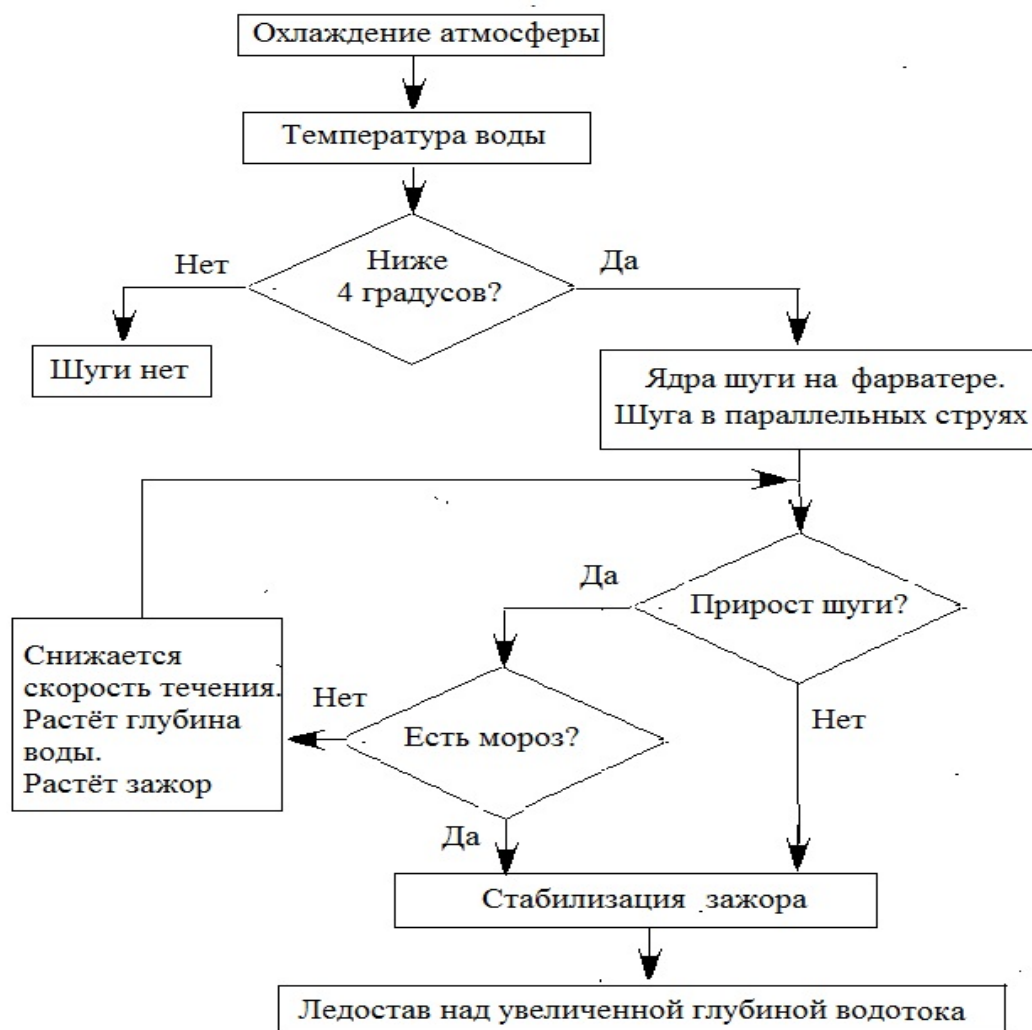


Рис. 2.8. Алгоритм самозащиты зазором

уровня воды. Процесс прекращается, когда прирост тригидролей и их отвод за пределы участка станут равными или когда его прервут морозы.

Взросший расход и вязкость шуговой воды вызовут аналогичные процессы на ниже расположенных участках реки. На них высота подъёма уровня зависит от ширины русла. В узком русле подъём уровня достигает нескольких метров, что Космаков Н. И. объясняет забиванием русла шугой. В широком русле подъём пропорционально меньше.

При достижении шуговым потоком кромки льда происходит заброс шуговой воды на прочное ледовое покрытие, где она быстро замерзает. Высокую скорость замерзания объясняли сохранением глу-

бинного холода [15]. На самом деле молекулярный состав шуговой воды подготовлен к замерзанию, так как уже выделил часть тепла при создании триолей. В шуговой воде при замерзании выделяется меньше тепла, чем без шуги и процесс ускоряется.

Лёд быстро наращивается над местом, которому может угрожать промерзание до дна. Это повышает уровень воды. Дополнительный напор ускоряет её движение подо льдом.

Кривая поверхности льда на участке зажора отличается от кривой подпора при заторе, так как причиной подъёма уровня на всей длине распространения зажора служит возросший объём водотока и многократно возросшее сопротивление движению.

Итогом зажора является более мощный ледовый покров при возникшем высоком уровне водотока, что предотвращает замерзание воды до дна и способствует созданию льда равномерной толщины.

2.8.3. Самозащита наледью

Если расход водотока мал, а морозы сильны, лёд в плёсах наращивается до дна. Самозащита льдом оказывается недостаточной. Водоток промерзает до дна.

На быстротоке температура воды выше, чем в плёсе за счёт тепла, выделенного при образовании тригидролей. Здесь лёд тонкий. Он не достигает дна. Движение воды под льдом подобно движению в трубах при полном сечении. При встрече с ледяной преградой плёса скорость течения падает до нуля. Возникающее давление поднимает тонкий лёд над быстротоком. Лёд трескается. Вода выходит по трещинам на поверхность сплошного льда в плёсе, образуя наледь. Тонкие слои наледи на морозе не замерзают, пока текут ускоренно. Неускоренные слои воды покрываются коркой льда, а наледь продолжает течь между слоями льда. Возникает слоистый лёд. Каждый слой имеет строение кристаллического или шугового льда, в зависимости от наличия шуги в наледи. Остановившиеся наледи достраивают триоли и замерзают, испуская тепло с туманом, а на лёд поступает следующая струя наледи.

В конце зимы наледь движется ускоренно по склону поверхности льда. Тепла, ею выделенного, достаточно для вытаивания временного русла в ледовом покрытии, которое весной превращается в траншею. Вода находит свое русло в земле задолго до начала ледохода. В этом суть самозащиты наледью.

2.8.4. Итоги

Разработана термодинамическая теория ледостава. Положено начало решению впервые поставленной задачи оценки природных явлений, как процессов, обеспечивающих сохранение водного объекта. Такая постановка задачи придаёт исследованию экологически значимый характер. Полученные выводы приводят к пониманию необходимости явлений природы, которые принято считать вредными. Например, заторы и зажоры, суть явления, необходимые для сохранения свойств реки, как среды обитания гидробионтов. Человек, по незнанию, сам расположился в области затопления и теперь бесполезно пытается покорить природу, борясь с мешающими ему явлениями, не зная, что он нарушает самозащиту реки, создавая угрозу существованию её обитателей. Алгоритмы самозащиты облегчат дальнейшее изучение процессов и разработку эффективных методов прогнозирования заторов и зажоров, так как систематизируют связи между внешними воздействиями и реакцией реки.

Показано, что критерий Рейнольдса для струи, текущей со снижающейся скоростью, устанавливается ниже, чем для струи с увеличивающейся скоростью потому, что происходит запаздывание возврата к исходной плотности из-за продолжительности процесса разрушения тригидролей, вызванной отсутствием избытка тепловой энергии в самой струе.

2.9. Что дальше?

Пытливый читатель заметил, что я предлагаю заменить гипотезы о смешении и о переохлаждении гипотезами о молекулярно организованном скоростном течении и о самоподогреве воды в ускоренном водотоке. На основе новых гипотез мне удалось объяснить физический процесс явления, которому физики придали значение аттрактора, логически непротиворечиво описать процесс ледостава. Это даёт основание считать их лучшими, по сравнению с заменяемыми.

Покорно обращаю внимание учёных и практиков на необоснованность дальнейшего пользования мифами о смешении и переохлаждении воды.

Ожидаемое признание предложенных гипотез возможно приве-

дёт к отмене методов расчёта воздействия сточных вод на качество воды в реке и возвращения к состоянию начальной постановки задачи, рассмотренном в начале первой главы. Предвидя это я разработал предложения, имеющие целью немедленно обеспечить инженеров основами теории [8] и методами расчётов [6], [4], [7]. Но эффективное применение их возможно только в условиях организации принципов управления, основанных не на гипотезе смешения [3].

Я далёк от убеждения, что мои предложения, рассчитанные на применение в будущих условиях отказа от смешения, совершенно безошибочны. Один человек не может выполнить работу, подобную тому, что выполнили множество ученых, разрабатывавших метод смешения. Своими разработками я пытаюсь подсказать ищущим молодым людям возможный путь к развитию нового подхода к применению аэро- и гидродинамики для прогнозирования изменения качества воды в реке и созданию иных принципов построения системы управления использованием водных ресурсов. Системы, которая должна стать способной обеспечить сохранение типа биосферы, оптимального для людей.

Литература

- 1 Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. - Л. : Гидрометеиздат, 1970. (АСКВод «Енисей»). — М. : ВДНХ СССР, 1986. — 15 с.
- 2 Аполлов Б.А. Учение о реках. / — М., издат. МГУ, 1963, 424 с.
- 3 Знаменский В. А. Конец турбулентной диффузии в струях. :LAP.2012. 70 с.
- 4 Знаменский, В. А. Модель антропогенной нагрузки на реку и формирования качества воды в реке / В. А. Знаменский. // Программные системы: теория и приложения : электрон. науч. журн. 2010. URL:http://psta.psiras.ru/psta2010_2_15-38.pdf.
- 5 Знаменский Вит. А. Нормирование антропогенного воздействия на речную воду / Вит. А. Знаменский; ФГУП «СибНИИГиМ». — Красноярск, 2007. — 44 с.
- 6 Знаменский В. А. Предельно допустимый расход массы вещества в сточных водах: метод. пособие/ Красноярск:- Центр информации, 2011. С. 112 ISBN=9785905284106
- 7 Знаменский В.А. Оптимальная схема расчёта допустимой нагрузки на бассейн реки / В. А. Знаменский // Программные системы: теория и приложения : электрон. науч. журн. 2011. №3(7).— С. 39–40. URL:http://psta.psiras.ru/psta2011_3_29-40.pdf.
- 8 Знаменский, Вит. А. Струйные процессы в водотоках / Вит. А. Знаменский; МАЭП им. С. В. Анучина. — Красноярск. : Сибирский федер. ун-т., 2010. — 112 с. ISBN 985-5-7638-1966-0

- 9 Знаменский, Вит. А. Управление потоками веществ, сбрасываемых в реки / Вит. А. Знаменский. — Красноярск, 2005. — 162 с.
- 10 Знаменский, Вл. А. Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды / Вл. А. Знаменский. — Л. : Гидрометеиздат, 1981. — С. 210-213.
- 11 Кантор Б.З. Коллекционирование минералов /Б. З. Кантор — М.: Недра. 1982. — 20-31 с.
- 12 Караушев, А. В. Сборник задач по гидравлике / А. В. Караушев, Н. А. Панчурин. Ч. 2. — Л. : Речной транспорт, 1957. С. 110–117.
- 13 Киселёв, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселёв. — М. - Л. : Госэнергоиздат, 1957.
- 14 Козлов, Д. В. Основы гидрофизики: методические указания, - Московский Госуд. ун-т природообустройства,
- 15 Космаков И. В. Термический и ледовый режим в верхних и нижних бьефах высоконапорных гидроэлектростанций на Енисее /Красноярск :- Общество Кларентианум, 2001. С. 142 вод Н. Н. Лапшев. — М. : Стройиздат, 1988.
- 16 Леви, И. И. Инженерная гидрология. / И. И. Леви. — М. : Высш. шк., 1968. — С. 68–132.
- 17 Лисер, И. Я. Весенние заторы льда на реках Сибири /Л. :- Гидрометеиздат. 1967. С.104
- 18 Лыков А. В. Теория теплопроводности/ М. :- Высшая школа, 1967. С. 600
- 19 Маккавеев В.М. Теория процессов перемешивания при турбулентном движении. М., 1931.
- 20 Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. проф. А. В. Караушева. — Л. : Гидрометеиздат, 1981.

- 21 Мороков В.В., Природно-экономические основы регионального планирования охраны рек от загрязнения. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
- 22 Теплотехника (курс общей теплотехники) / Шукин А. В., Сушкин Н.Н., Зах Р. Г., Бахмачевский Б.И., Лызо Г. П. — М.: Металлургия, 1973.- С. 478
- 23 Справочное руководство гидрогеолога / т. 1. — Л. : Недра, 1967. 1 - 161 с.
- 24 Угинчус А. А. Гидравлика, гидравлические машины и основы сельскохозяйственного водоснабжения. Киев, М.: Машгиз, 1957. - С. 951
- 25 Шавлов, А. В. Лёд при структурных превращениях / Новосибирск :- Наука, 1996. - С. 198
- 26 Шаубергер В. Энергия воды. — М.: Яуза,Эскимо, 2007. — 320 с.
- 27 Чжен, П. Отрывные течения. Т. 1. : пер. с англ. / П. Чжен. — М. : Мир, 1972.

Оглавление

Предисловие	2
1 Миф о смешении струй в реке.....	3
1.1. Смешение струи с речным потоком	3
1.2. Выбор типа диффузии	5
1.3. Сила турбулентности	6
1.4. Наука и жизнь против смешения	9
1.4.1. Линейное движение в турбулентной области ...	10
1.4.2. Положение зоны смешения	14
1.4.3. Ширина транзитного потока	14
1.4.4. Игнорирование турбулентности в описаниях опытов	15
1.4.5. Внедрение притока в водоприёмник.....	16
1.4.6. В природе нет смешения.....	17
1.5. После Рейнольдса	20
1.6. Оценка информации.....	22
1.7. Физический смысл путевых потерь давления.....	25
1.8. Не турбулентное и не ламинарное течение в трубах...	27
1.9. Аэрогидродинамическая пробка	28
1.10. Разоблачение аттрактора	29
1.11. Что рассчитывают по методикам	30
1.12. Объединение струи с окружающим потоком	32
2 Миф о переохлаждении воды.....	34
2.1. Установившееся описание процесса ледостава	34
2.2. Противодействие водотока промерзанию.....	35
2.3. Кристаллы воды в природе	36
2.4. Динамика молекулярного строения воды	37
2.5. Фактор скорости	40
2.6. Связь замерзания со скоростью течения воды	43

2.7. Процесс ледостава на реках	45
2.8. Алгоритм самозащиты реки	48
2.8.1. Самозащита реки ограничением потерь тепла ..	48
2.8.2. Самозащита изменением глубины водотока	50
2.8.3. Самозащита наледью	54
2.8.4. Итоги	55
2.9. Что дальше?	55
Список литературы	57