

У 551.48
Л-43

О РѢЧНЫХЪ ТЕЧЕНІЯХЪ И ФОРМИРОВАНИИ РѢЧНАГО РУСЛА.

ДОКЛАДЪ ВТОРОМУ СЪѢЗДУ ИНЖЕНЕРОВЪ ГИДРОТЕХНИКОВЪ

ИНЖ. Н. С. ЛЕЛЯВСКАГО.

ЧИТАННЫЙ НА 2-МЪ СЪѢЗДѢ.

1689

9/2

проверено
1906 г.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Паровая типографія Муллеръ и Богельманъ. Невскій, 148.

1893.

1870

1870

1870

1870

1870

О рѣчныхъ теченіяхъ и формированіи рѣчнаго русла.

Несмотря на обширныя работы многихъ математиковъ, гидродинамика не дала еще ни одной точной формулы, безусловно приложимой къ практическимъ расчетамъ. Это зависитъ, по моему мнѣнію, отъ того, что передвиженіе жидкостей въ сопротивляющихся средахъ недостаточно изслѣдовано опытнымъ путемъ и что въ основу математическихъ выводовъ приняты допущенія, несогласныя съ дѣйствительностью. Наблюденія указываютъ, что нѣтъ мѣста въ рѣчномъ потокѣ, гдѣ бы струи имѣли вполнѣ параллельное расположеніе; но такъ какъ законы расположенія струй неизвѣстны и отклоненія ихъ отъ параллельности кажутся случайными, то при выводѣ гидродинамическихъ формулъ всегда принимается, что всѣ струйки (filets) параллельны между собою.

Навье, согласно гипотезѣ Ньютона о томъ, что внутреннія гидравлическія тренія суть линейныя функціи относительныхъ скоростей, ввелъ въ уравненія движенія жидкости коэффициентъ внутренняго тренія, зависящій отъ рода жидкости и отъ ея температуры. Буссинескъ, сдѣлавъ еще нѣкоторыя маловажныя допущенія, примѣнилъ эти формулы къ установившемуся прямолинейному движенію параллельными струйками и получилъ выводы, оказавшіеся весьма близкими къ дѣйствительнымъ, опредѣленнымъ опытами, лишь только для капиллярныхъ трубочекъ, въ которыхъ струйки, нужно полагать, дѣйствительно располагаются почти параллельно направляющимъ ихъ стѣнкамъ; для трубъ же конечныхъ поперечныхъ сѣченій и въ особенности для каналовъ и рѣкъ формулы Навье даютъ скорость значительно больше наблюдаемой въ дѣйствительности. Обстоятельство это приписываютъ уклоненіямъ струекъ отъ прямого и параллельнаго одна другой ихъ направленія, вслѣдствіе случайныхъ неправильностей, а именно: отъ неровности стѣнокъ, измѣненія давленія на свободной поверхности и проч. Проявляющееся отъ этого новое сопротивленіе, какъ являющееся будто бы отъ случайныхъ причинъ, не подвер-

гается опредѣленію съ надлежащею точностью теоретическимъ путемъ и уменьшается съ уменьшеніемъ размѣровъ поперечнаго сѣченія русла. Однако же ничѣмъ не доказано, чтобы это неопредѣленное сопротивленіе, дѣйствительно, зависѣло только отъ случайныхъ причинъ, ибо оно существуетъ всегда, даже при самыхъ гладкихъ стѣнкахъ и при вполне плавномъ теченіи. При томъ нужно замѣтить, что всѣ физическія явленія, до тѣхъ поръ, пока не была изслѣдована связь между ними и не была выведена причинная зависимость однихъ явленій отъ другихъ, т. е. пока не открыты были законы, управляющіе ими, — всегда казались случайными. А потому задача гидродинамики, при нынѣшнемъ ея состояніи, должна заключаться въ наблюденіяхъ за уклоненіемъ струй потока отъ направляющихъ ихъ очертаній стѣнокъ трубы, или же дна и береговъ рѣчнаго русла, съ цѣлью открытія законовъ, коимъ подчиняются эти уклоненія.

При томъ же допущеніи, что движеніе воды совершается прямолинейными, параллельными струйками, изъ формулъ Навье выводятся формулы установившагося и равномернаго движенія воды въ рѣкахъ. Будучи видоизмѣняемы и упрощаемы разными специалистами, формулы эти даютъ для средней скорости теченія потока алгебраическія выраженія, въ которыя входятъ нѣкоторые постоянные коэффициенты, зависящіе отъ сопротивленія теченію. Таковы формулы Прони, Дююи, Жирарда, Гагена, Вейсбаха, Еллета, Шези, Дарси, Сенъ-Венана, Гумфрейса и Аббота, Гауклера и пр. Невѣрность формулъ, происходящая отъ неправильныхъ допущеній, положенныхъ въ основу ихъ вывода, исправляется, при практическомъ примѣненіи формулъ, значеніемъ коэффициентовъ, которые поэтому должны опредѣляться при условіяхъ, возможно близкихъ тѣмъ, кои присущи случаю, требующему примѣненія расчетовъ. Невѣрность формулъ обнаруживается неравенствомъ коэффициентовъ, опредѣляемыхъ для одной и той же формулы и при условіяхъ хотя не тождественныхъ, но сходственныхъ. Такъ, напримѣръ, коэффициентъ C для формулы Шези $V = C \sqrt{Ri}$ опредѣлялся многими изслѣдователями и у всѣхъ оказывался различнымъ, причѣмъ различіе этого коэффициента въ особенности сильно обнаруживалось въ зависимости отъ размѣровъ русла. На этомъ основаніи Гангюле и Куттеръ, считая этотъ коэффициентъ не постоянною величиною, но измѣняющеюся въ зависимости отъ измѣненій элементовъ теченія рѣчки, входящихъ въ формулу Шези, дали для коэф-

ціента C выраженіе, въ которое, кромѣ означенныхъ элементовъ, ввели еще новый коэффициентъ, выражающій якобы степень шероховатости русла и опредѣляемый путемъ повторительныхъ, при разныхъ горизонтахъ, измѣреній скоростей теченія и уклоновъ. Такое видоизмѣненіе формулы, нисколько не увеличивая вѣрности ея, дало возможность болѣе приближеннаго примѣненія ея къ практическимъ цѣлямъ; а потому формула эта и считается понынѣ лучшей для рѣшенія вопросовъ, относящихся къ практикѣ выправленія рѣкъ.

Гельмгольцъ, занимаясь изслѣдованіемъ кинематическаго движенія жидкости, т. е. воображаемаго движенія, независимаго отъ силы тяжести, тренія и другихъ сопротивленій, и разсматривая возможные измѣненія безконечно малыхъ элементовъ жидкости, нашель, что эти измѣненія могутъ происходить какъ подъ вліяніемъ деформированія элементовъ, такъ и отъ относительнаго вращенія ихъ; причемъ онъ строго математически доказаль, что два смежные элемента жидкости, имѣющіе общую ось вращенія, постоянно вращаются около общей оси. Исходя изъ этого положенія, онъ говорить, что переходя отъ одного элемента къ другому съ нимъ смежному по направленію оси вращенія, можно прочертить въ движущейся жидкости кривую линію, всѣ элементы коей въ данное мгновеніе образуютъ осевую или вихревую фибру жидкости.

Отличительное свойство этой вихревой, безконечно тонкой фибры, вытекающее изъ способа ея построенія, заключается въ ея неразрывности, такъ что она представляется или замкнутою кривою, или начинается и кончается на предѣлахъ жидкости, т. е. на днѣ и на поверхности ея. Развивая далѣе свою гипотезу, Гельмгольцъ предполагаетъ существованіе вихревыхъ шнуровъ, образующихся по его представленію, проведеніемъ по периметру безконечно малой площадки воды, винтообразныхъ линій, ограничивающихъ собою безконечно тонкій объемъ винтоваго шнура, могущаго неразрывно проноситься въ окружающей его массѣ воды. Толщина этого шнура можетъ измѣняться, причемъ произведеніе изъ площади сѣченія на угловую скорость вращенія, называемаго имъ вихревою силою, остается постояннымъ, т. е. въ мѣстахъ суженія шнура вращеніе происходитъ быстрѣе, чѣмъ въ утолщеніяхъ.

Изслѣдованіемъ движенія нѣсколькихъ шнуровъ занимались послѣ Гельмгольца многіе математики, однако же всѣ эти работы не принесли ощутительной пользы для уясненія движенія

воды. Гипотеза Гельмгольца имѣеть много сторонниковъ; тѣмъ не менѣе не слѣдуетъ упускать изъ виду, что на основаніи изслѣдованій Гельмгольца и его послѣдователей можно лишь только допустить возможность образованія въ движущейся жидкости вихревыхъ фибръ и шнуровъ, но нельзя считать существованіе ихъ въ текущей водѣ доказаннымъ. Вращеніе безконечно малыхъ элементовъ жидкости не можетъ быть наблюдаемо, а наблюденія надъ поплавками, о чемъ будетъ сказано далѣе, не обнаруживаютъ быстрыхъ вращательныхъ движеній; вращеніе поплавковъ совершается весьма медленно и происходитъ отъ неравенства скоростей струй, ударяющихъ въ двѣ половины поплавка. Слѣдуетъ замѣтить, что траекторія, описываемая плывущимъ по водѣ тѣломъ, никогда сама себя не пересѣкаетъ, т. е. не образуетъ петель, такъ что полные или замкнутые водовороты съ круговращательнымъ движеніемъ могутъ обнаруживаться только въ части воднаго пространства, неимѣющей общаго со всѣмъ потокомъ поступательнаго движенія, какъ, на примѣръ, въ заводахъ, между полузапрудами, сзади быковъ, въ такъ называемыхъ мертвыхъ углахъ, образующихся при сляніи рѣкъ и пр. Движеніе воды въ водоворотахъ не аналогично съ воображаемымъ движеніемъ жидкости въ вихревыхъ фибрахъ и шнурахъ Гельмгольца, ибо въ первомъ случаѣ ось вращенія находится внѣ движущейся массы (ось цилиндра) и нормальна къ направленію движенія, а во второмъ она совпадаетъ съ касательною къ траекторіи, которая такимъ образомъ представляетъ собою обертывающую кривую мгновенныхъ осей вращенія. Поэтому и самое движеніе въ шнурахъ скорѣе слѣдовало бы назвать винтовымъ, чѣмъ вихревымъ, такъ какъ сіе послѣднее опредѣленіе должно бы было выражать сходство съ движеніемъ воздушныхъ вихрей, которое подобно водоворотамъ совершается вокругъ вертикальныхъ, медленно двигающихся осей, почти нормальныхъ къ направленію движенія.

Буссинескъ, признавая существованіе вихребразнаго движенія молекулъ, которое видимо будто бы бороздитъ теченіе воды, и считая скорости ихъ весьма неправильно измѣняющимися, вводитъ для удобства вычисленій, новое допущеніе о существованіи среднихъ мѣстныхъ скоростей, почти постоянныхъ для каждой точки воднаго пространства, причемъ направленія струекъ признаетъ почти параллельными. Слово почти обозначаетъ то, что, при выводѣ дифференціальныхъ уравненій, онъ отбрасываетъ безконечно малыя величины вто-

раго порядка, выражающія отклоненія отъ принятыхъ имъ допущеній. Подобно Навье, онъ вводитъ въ формулы коэффициентъ тренія, но только не постоянный для всей массы движущейся воды, а измѣняющійся съ измѣненіемъ координатъ и зависящій кромѣ того отъ величины подводнаго радіуса, отъ вида сѣченія, отъ скорости течения и отъ величины коэффициента внутренняго, правильно дѣйствующаго тренія; такимъ образомъ Буссинескъ разсматриваетъ движеніе установившееся, неравномѣрное, но правильно измѣняющееся (*graduellement varié*). Такъ какъ допущенія, сдѣланныя имъ о постоянствѣ среднихъ скоростей и въ особенности о параллельности струекъ несовсѣмъ согласны съ дѣйствительностью, а относительно измѣняемости коэффициента тренія—гадательны и произвольны, то несмотря на солидность его работы, объяснившей нѣкоторыя явленія, относящіяся къ продольной профили рѣкъ,—многое осталось еще невыясненнымъ, и все-таки мы не получили вѣрныхъ формулъ движенія воды, годныхъ для точнаго практическаго примѣненія, подобно формуламъ движенія твердыхъ тѣлъ:

При изслѣдованіи передвиженія рѣчныхъ наносовъ были бы весьма полезны точныя математическія выраженія давленія двигающагося жидкаго тѣла на твердыя тѣла; но существующія для этого эмпирическія формулы не имѣютъ, къ сожалѣнію, не только точности, но даже и вѣрности ихъ подлежитъ большому сомнѣнію. Вопросъ о взаимномъ давленіи движущихся жидкихъ и твердыхъ тѣлъ, по общему мнѣнію гидравликовъ, составляетъ наиболѣе слабо разработанный отдѣлъ гидродинамики. Причина этого заключается опять-таки главнымъ образомъ въ допущеніи параллельности струекъ, вліяніе коего на невѣрность выводовъ обнаруживается здѣсь въ болѣе сильной степени потому, что кромѣ непараллельности струй, свойственной каждому, даже покойно движущемуся потоку, при ударѣ о твердыя тѣла проявляются новыя возмущенія движенія, сопровождающіяся образованіемъ теченій по всевозможнымъ, неизслѣдованнымъ направленіямъ. Поэтому, насколько безусловно точны формулы, относящіяся къ движенію твердыхъ тѣлъ, настолько до сихъ поръ мало вѣроятна вѣрность формулъ, относящихся къ удару жидкихъ тѣлъ. Прослѣдимъ, на примѣръ, самый краткій выводъ наиболѣе точной формулы, выражающей ударъ изолированной струи въ перпендикулярную къ ней, плоскую пластинку. Называя ускореніе движущейся точки черезъ p , время— t , пространство— S ,

скорость, приобретенную во время t через v , массу тѣла— m , плотность— Δ , объемъ— Q , силу удара— P , силу тяжести или вѣсъ тѣла черезъ G , ускореніе силы тяжести черезъ g и помня, что $P = mv$, а $G = mg$, будемъ послѣдовательно имѣть: $v = pt$; откуда $t = \frac{v}{p}$; $s = \frac{v}{2} \times t = \frac{v^2}{2p}$; отсюда $ps = \frac{v^2}{2}$; $pms = m \frac{v^2}{2}$; $Ps = m \frac{v^2}{2}$; вторая часть равенства условно называется живою силою, которая равна работѣ, затраченной на сообщеніе массѣ m скорости v . При $t=1$, $s = \frac{v}{2}$; а потому

$P = mv = \frac{Gv}{g} = \Delta Q \frac{v}{g} \dots (1)$. Принимая эти безусловно точныя формулы динамики къ выраженію силы удара изолированной струи, нужно считать объемъ Q равнымъ расходу воды, а сей послѣдній выражается, какъ извѣстно, черезъ площадь поперечнаго сѣченія струи, помноженную на среднюю скорость теченія, т. е. $= T \times v$; по подставленіи получаемъ: $P = 2 \cdot \Delta T \cdot \frac{v^2}{2g} = 2 \Delta T \cdot h \dots (2)$; гдѣ h есть высота столба воды, соотвѣтствующая скорости v .

Подобное видоизмѣненіе формулы (1), относящейся къ удару твердаго тѣла, для примѣненія ея къ жидкой массѣ, неправильно потому, что расходъ воды можетъ быть равенъ средней скорости, помноженной на площадь поперечнаго сѣченія струи, только въ томъ случаѣ, когда всѣ струйки нормальны къ этому плоскому сѣченію, чего при непараллельности струекъ быть не можетъ. Между тѣмъ опыты, сдѣланные для провѣрки приведенной формулы (2) Бидономъ, дали результаты, приблизительно подтверждающіе ея вѣрность, что нужно приписать тому, что расходъ воды, направленной по трубкѣ, могъ быть измѣренъ непосредственнымъ путемъ, а не помноженіемъ площади живаго сѣченія на скорость воды. Тѣмъ не менѣе величина давленія на пластинку оказалась въ большой зависимости отъ размѣровъ пластинки и главнымъ образомъ отъ разстоянія ея до выходнаго отверстія струи изъ трубки, такъ что у самаго Бидона, при близкомъ помѣщеніи пластинки къ отверстию трубки, P оказалось равнымъ всего $1,5 \Delta Th$, а по Дюбуа и Лангсдорфу $P =$ только ΔTh . Вообще же сила удара въ дѣйствительности оказывается меньше исчисленной по формулѣ и это зависитъ оттого, что при ударѣ жидкой массы, значительная доля принадлежащей ей энергіи теряется на удары отдѣльныхъ струекъ одна объ другую. При ударѣ жидкой массы въ твердую, непосредственно ей передаютъ свое давле-

не только частицы жидкости, лежащая въ безконечно тонкомъ слоѣ, соприкасающемся съ поверхностью твердаго тѣла, вся же масса жидкихъ частицъ передаетъ ударъ одна черезъ другую, вслѣдствіе чего направленія движенія ихъ должны

сильно отклоняться отъ нормальнаго къ твердой поверхности, о параллельности же струекъ тутъ и рѣчи быть не можетъ. Чѣмъ больше скорость движенія воды, т. е. чѣмъ больше напоръ ея въ трубкѣ, тѣмъ вѣроятнѣе сохраненіе струйками воды направляющаго вліянія трубки и тѣмъ больше долженъ приближаться опредѣленный опытомъ численный коэффициентъ, къ числу 2, значащемуся въ формулѣ (2). При опытахъ Бидона скорости были весьма значительны, не менѣе 27 футъ въ 1", при малыхъ же скоростяхъ, нужно полагать, коэффициентъ формулы (2) можетъ оказаться значительно менѣе единицы, т. е. болѣе чѣмъ въ два раза менѣе вычисленнаго. Такимъ образомъ формула удара изолированной струи, считающаяся наиболѣе точною изъ формулъ, относящихся къ

удару жидкихъ тѣлъ, въ дѣйствительности не обладаетъ точностью, причѣмъ несогласіе результатовъ опытовъ съ исчислениями прямо указываетъ на невѣрность допущеній, сдѣланныхъ при преобразованіи формулы (1). Кромѣ того, нужно еще замѣтить, что давленіе на



пластинку въ началѣ истеченія струи бываетъ значительно больше, чѣмъ во время установившагося теченія.

Тѣмъ не менѣе для математическаго выраженія удара неограниченной массы воды нѣтъ другого способа, какъ примѣнить ту же формулу (2) удара отдѣльной струи. Поэтому передъ изложеніемъ этого отдѣла въ гидравликахъ дѣлается слѣдующая оговорка: весьма вѣроятно, что можно принять законы удара неограниченной массы воды тѣми же, какъ и удара отдѣльной струи. Согласно такому предположенію

или допущенію, давленіе отъ удара воды на твердое тѣло со стороны ея притока принимается равнымъ $K_1 \Delta T \frac{v^2}{2g}$, гдѣ K_1 —численный коэффициентъ, опредѣляемый опытомъ и зависящій будто бы только отъ формы тѣла. Кромѣ того нужно принять во вниманіе ослабленное давленіе или недавленіе (по Дюбуа non-pressure) съ противоположной стороны, которое можетъ быть выражено подобно давленію со стороны притока, формулою $K_2 \Delta T \frac{v^2}{2g}$; гидростатическое же давленіе, какъ равное съ обѣихъ сторонъ тѣла и противоположно направленное, въ расчетъ не принимается. Поэтому равнодѣйствующая давленій двужущейся воды на твердое тѣло выразится такъ:

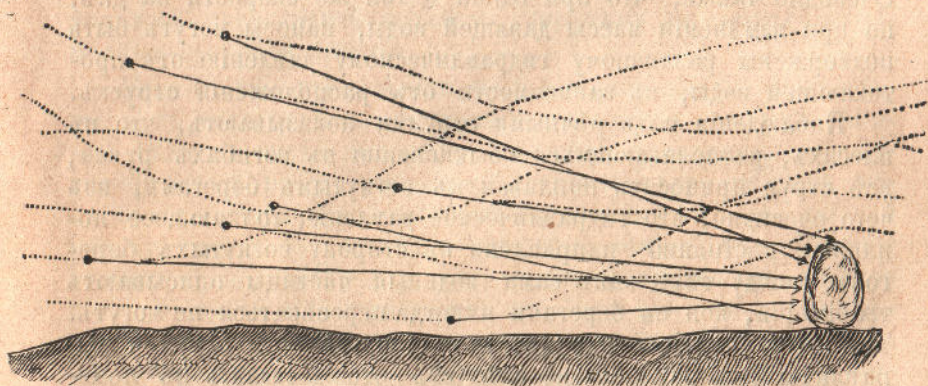
$$K_1 \Delta T \frac{v^2}{2g} - K_2 \Delta T \frac{v^2}{2g} = K \Delta T \frac{v^2}{2g} \dots (3)$$

Всѣ коэффициенты K_1 , K_2 и K подлежатъ опредѣленію посредствомъ опытовъ и конечно, маскируя невѣрность формулы, окажутся при разныхъ условіяхъ и у разныхъ наблюдателей, весьма различными.

Если для отдѣльной прямолинейной струи можно съ нѣкоторою степенью приближенія допустить расходъ воды равнымъ произведенію плоской площади сѣченія на скорость ея, то подобнаго предположенія никакъ нельзя допустить при движеніи неограниченной массы воды, ибо невозможно представить себѣ, чтобы изо всего ея количества производилъ ударъ на твердое тѣло одинъ лишь выдѣленный изъ нея цилиндръ, имѣющій основаніемъ поперечное сѣченіе ударяемаго тѣла. Даже при параллельности струекъ участіе въ ударѣ должны принять окружающіе этотъ цилиндръ, слои движущейся воды, вслѣдствіе связи ихъ посредствомъ вязкости воды, съ выдѣляемымъ цилиндромъ. Но такъ какъ рѣчныя струи имѣютъ сходящіяся и расходящіяся направленія и такъ какъ мы не имѣемъ возможности мысленно выдѣлить изъ массы воды струйки, дѣйствующія въ каждый моментъ на твердое тѣло, то выведенная формула (3) можетъ давать результаты, настолько разнящіеся отъ дѣйствительныхъ величинъ, насколько объемъ цилиндра можетъ разниться отъ объемовъ одного или нѣсколькихъ усѣченныхъ конусовъ. Схождение струй, не вызывая ни уплотненія воды, ни увеличенія скорости теченія, которая, напротивъ, отъ удара струекъ одна объ другую уменьшается,—производитъ только увеличеніе давленія на твердыя тѣла, встрѣчающіяся на пути движенія

воды. Рѣчныя струи, какъ показываютъ повседневныя наблюденія, имѣють криволинейныя очертанія, которыя еще болѣе изгибаются при обходѣ струями твердыхъ тѣлъ. Когда мы говоримъ, струя ударяетъ въ тѣло, этимъ выражаемъ не то, что вся масса струи входитъ въ соприкосновеніе съ твердымъ тѣломъ, но то, что на него направлено дѣйствіе струи, которое передается черезъ промежуточные слои воды по линиямъ касательнымъ къ кривымъ траекторіямъ водяныхъ частицъ. Въ каждое мгновеніе можетъ дѣйствовать на тѣло съ разныхъ сторонъ неопредѣленное количество струекъ, которыя, встрѣчая своему движенію нѣкоторое сопротивленіе со стороны твердаго тѣла, передаваемое имъ черезъ тѣ же промежуточные водные слои, уклоняются отъ направленія свободнаго движенія и съ уменьшившеюся скоростью продолжаютъ его въ обходъ твердаго тѣла.

Не зная законовъ направленія и расположенія траекторій отдѣльныхъ частицъ воды, мы не можемъ выдѣлить въ водномъ пространствѣ тѣ струйки, кои въ данный моментъ давятъ на твердое тѣло, лежащее на рѣчномъ днѣ; но для уясненія возможныхъ случаевъ передачи давленія, представимъ себѣ, что эти траекторіи намъ извѣстны и изобразимъ



ихъ линиями, показанными на чертежѣ. Затѣмъ представимъ себѣ твердое тѣло небольшихъ размѣровъ, на примѣръ камешекъ, лежащій на рѣчномъ днѣ и подверженный гидравлическому или живому давленію двигающейся къ нему, массы воды. Для опредѣленія величины этого давленія надлежитъ отыскать на траекторіяхъ точки, въ коихъ находятся въ данный моментъ движущіяся частицы воды, и въ точкахъ этихъ

провести къ траекторіямъ касательныя линіи, которыя покажутъ направленія давленія для даннаго момента.

Собравъ всѣ тѣ касательныя, кои пересѣкаютъ твердое тѣло, получимъ массу сходящихся или расходящихся прямыхъ линій, которыя образуютъ одинъ или нѣсколько усѣченныхъ конусовъ, обращенныхъ своими вершинками или къ твердому тѣлу, или отъ него. Въ первомъ случаѣ тѣло будетъ подвержено гидравлическому давленію отъ сходящихся струекъ и отъ большаго числа водяныхъ частицъ, а во второмъ—давленію отъ расходящихся струекъ и отъ меньшаго числа водяныхъ частицъ. Полагая всѣ частицы воды равными между собою по своей массѣ, которую примемъ за единицу, среднюю ихъ скорость называя черезъ v , а число ихъ черезъ— m , получимъ для живой ихъ силы или механической работы, обладаемой ими, выраженіе $m \frac{v^2}{2}$; а для силы удара (P), выраженіе $P = mv$, гдѣ величина mv представляетъ собою такъ называемое количество движенія. Изъ сказаннаго очевидно, что число m или масса, дѣйствующей на твердое тѣло воды, есть величина переменная и не должна быть исключена изъ формулъ посредствомъ замѣны ея произведеніемъ плотности воды на какой-либо опредѣленный объемъ сей послѣдней. Очевидно также, что при одной и той же скорости на днѣ, но при измѣненіи массы давящей воды, наносы могутъ быть подвержены различному гидравлическому давленію отъ протекающей воды, въ зависимости отъ расположенія струекъ.

Наблюденія надъ рѣчными струями показываютъ, что въ плесахъ, располагающихся обыкновенно въ изгибахъ русла, всѣ струи приносятъ поплавки къ вогнутымъ берегамъ, изъ чего очевидно, что гидравлическое давленіе, толкающее поплавки, постоянно направлено въ сторону вогнутыхъ береговъ, между тѣмъ какъ сами водяныя частицы описываютъ траекторіи, кои съ берегами никогда пересѣкаться не могутъ. Такъ что понятіе о сходимости и расходимости струй и гидравлическихъ давленій не слѣдуетъ отождествлять съ понятіемъ о сжатіи самыхъ водяныхъ частицъ черезъ совокупленіе струй. Направляясь по кривымъ линіямъ и сталкиваясь между собою, струйки производятъ импульсы по двумъ направленіямъ: 1) по касательнымъ линіямъ къ траекторіямъ, кои выше разсмотрѣны и 2) по нормальнымъ линіямъ, при чемъ импульсы въ этихъ послѣднихъ направленіяхъ могутъ вызывать вращательныя движенія водяныхъ частицъ, способствующи-

щія сталкиванію наносовъ. Вслѣдствіе разложенія живой силы $\left(\frac{v^2}{2}\right)$ по двумъ направленіямъ, запасъ ея постепенно долженъ расходоваться и тѣмъ больше, чѣмъ больше уголъ сходимости струй. Уменьшеніе живой силы каждой отдѣльной частицы воды, при опредѣленной ея массѣ, принятой нами за единицу, должно выражаться уменьшеніемъ скорости теченія каждой частицы, а слѣдовательно и средней скорости теченія по всему руслу. И дѣйствительно чѣмъ круче изгибы русла, тѣмъ больше наблюдается въ нихъ глубина, производимая усиленнымъ давленіемъ воды на дно отъ сходимости струй къ вогнутымъ берегамъ. Какое важное значеніе имѣетъ увеличеніе массы сходящихся струй, можно усмотрѣть изъ того, что размывъ рѣчнаго дна вдоль вогнутыхъ береговъ происходитъ при замедленной скорости теченія и при образованіи подпора въ продольной профили рѣки; причина же уменьшенія скорости и увеличенія подпора заключается, какъ только что сказано, въ расходованіи значительной части запаса живой силы на удары струекъ одна объ другую, по направленіямъ нормальнымъ къ траекторіямъ водяныхъ частицъ. Напротивъ, на меляхъ, при расходящемся расположеніи струй, обнаруживаются совершенно противоположныя явленія, и передвиженіе наносовъ происходитъ медленно, порывами, не смотря на громадныя скорости теченія.

Если-бы мы представили себѣ по направленію касательныхъ къ траекторіямъ движущихся водяныхъ частицъ твердья тѣла въ видѣ, напримѣръ, тонкихъ проволокъ, направляющихся къ разсматриваемому твердому тѣлу, то весь запасъ механической работы былъ-бы употребленъ въ данный моментъ на ударъ, величина котораго, можетъ быть, была бы достаточна не только для того, чтобы столкнуть это твердое тѣло, но даже чтобы раздавить его; при чемъ число отдѣльныхъ водяныхъ частицъ или масса ударяющейся воды была бы неограничена вверхъ по теченію. Но передача удара двигающейся массы воды происходитъ иначе, а именно: 1) каждая ударяющая частица, въ каждое мгновенье своего приближенія къ твердому тѣлу передаетъ на ударъ въ него, черезъ посредство промежуточнаго слоя воды, только часть, и притомъ не большую, своей живой силы и, уклоняясь въ сторону, сохраняетъ гораздо болѣе значительную часть живой силы для дальнѣйшаго теченія; 2) повседневныя наблюденія указываютъ, что сопротивленіе твердаго тѣла свободному движенію

притекающей къ нему воды, не распространяется на всю массу ея вверху по теченію, но что уклоненіе водяныхъ частицъ начинается на нѣкоторомъ и при томъ не очень значительномъ отъ него разстояніи; при чемъ ни теоретическіе расчеты, ни непосредственныя наблюденія не даютъ возможности опредѣлить этого разстоянія. Нужно полагать, что оно зависитъ отъ быстроты теченія, отъ отношенія площади наибольшаго поперечнаго сѣченія твердаго тѣла къ площади живаго сѣченія русла, отъ формы тѣла и отъ расположенія струй.

Изъ изложеннаго разсмотрѣнія давленія, производимаго текущею водою на погруженное въ нее неподвижное тѣло оказывается, что, не имѣя данныхъ, на основаніи коихъ можно было бы опредѣлить массу воды, передающей ударъ на твердое тѣло и подвергающейся уклоненію отъ сопротивленія, представляемаго свободному ея движенію со стороны твердаго тѣла, мы не имѣемъ въ настоящее время возможности дать формуламъ $m \frac{v^2}{2}$ и $m v$ видъ годный для практическихъ расчетовъ; однако же эти вполнѣ вѣрныя формулы, по своему простому виду, удобны для общихъ сужденій относительно перенесенія наносовъ рѣчною водою.

Какъ уже было сказано, дѣйствующая на твердое тѣло часть текущей воды въ каждый моментъ затрачиваетъ на ударъ не весь запасъ своей живой силы, ибо для полной потери его $m \frac{v^2}{2}$ должно равняться нулю, а это возможно только при $V=0$, т. е. когда ударившая масса воды совершенно остановится. Но она продолжаетъ течь съ немного ослабленною скоростью V_1 , сохраняя запасъ работы $m \frac{v_1^2}{2}$, такъ что количество работы, затраченной на ударъ $\overset{z}{=} m \frac{v^2}{2} - m \frac{v_1^2}{2} = \frac{m}{2} (v^2 - v_1^2) \dots (4)$ а сила удара $= m (v - v_1)$. Чѣмъ больше эта величина, тѣмъ сильнѣе былъ ударъ и тѣмъ больше была возможность сдвинуть твердое тѣло съ его мѣста.

Такъ какъ практическая задача улучшенія рѣкъ заключается главнымъ образомъ въ углубленіи мелкихъ частей русла, то слѣдуетъ разсмотрѣть способы, посредствомъ коихъ возможно достигнуть увеличенія размыва рѣчнаго дна, и для этого изслѣдовать обстоятельства, способствующія увеличенію значенія выраженій $\frac{m}{2} (v^2 - v_1^2)$ и $m (v - v_1)$. Изъ разсмотрѣнія

этихъ выраженій оказывается, что работа размыва и сила удара увеличиваются съ увеличеніемъ m —массы водяныхъ частицъ, направляющихъ свое давленіе на выступы рѣчнаго дна, съ увеличеніемъ v —средней скорости теченія этихъ частицъ и съ уменьшеніемъ v_1 —скорости тѣхъ же частицъ, отраженныхъ сопротивленіемъ выступовъ дна.

Для увеличенія m необходимо направить на подлежащую углубленію часть рѣчнаго дна по возможности большее количество струй, дабы сосредоточить ихъ ударъ на это мѣсто. На практикѣ это достигается посредствомъ закрытія боковыхъ рукавовъ и пересѣченія разбившихся на меляхъ отдѣльныхъ струй выправительными сооружениями, которыя, по отношенію къ этому назначенію, имѣютъ характеръ струенаправляющихъ.

Величина V есть средняя скорость воды не всего живаго сѣченія, а лишь только той части его, съ которой гидравлическое давленіе воды распространяется на дно рѣчнаго русла. Допуская, что величина V увеличивается и уменьшается вмѣстѣ со среднею скоростью всего живаго сѣченія, нужно признать, что уменьшеніе живаго сѣченія должно служить къ увеличенію величины V и слѣдовательно къ увеличенію силы размыва рѣчнаго русла. Съ этою цѣлью производится стѣсненіе русла посредствомъ выправительныхъ сооружений, имѣющихъ значеніе водостѣснительныхъ. Однако же нужно замѣтить, что уменьшеніе ширины русла не всегда производитъ желательное уменьшеніе площади живаго сѣченія, ибо сіе послѣднее очень часто располагается не нормально къ проектированной трассѣ, а по косвеннымъ и кривымъ въ планѣ линіямъ, при чемъ рѣчныя струи также принимаютъ направленіе не только не параллельное проектированнымъ берегамъ, но иногда почти къ нимъ нормальное; такъ что ширина живаго сѣченія, проходящаго по гребню подводной косы можетъ въ такихъ случаяхъ оказаться мало суженою, сравнительно съ шириною его до выправленія. Вслѣдствіе этого, при шаблонномъ проектированіи трассы, выправительныя работы очень часто не достигаютъ желаемаго углубленія русла; а потому кромѣ стѣсненія живаго сѣченія необходимо принимать мѣры для надлежащаго расположенія струй и согласно сему давать трассѣ соотвѣтственное очертаніе посредствомъ выправительныхъ сооружений, получающихъ опять таки значеніе струенаправляющихъ.

Кромѣ того, какъ извѣстно, стѣсненіе живаго сѣченія

имѣть еще тотъ недостатокъ, что влечетъ, вмѣстѣ съ углубленіемъ русла, пониженіе горизонта воды и передвиженіе значительныхъ уклоновъ на сосѣдніе участки рѣки, судоходное состояніе которыхъ черезъ это ухудшается. Хотя противу этого дурнаго послѣдствія могутъ быть примѣнены дѣйныя загражденія, способствующія сохраненію усиленнаго паденія на выправляемомъ участкѣ русла, но онѣ стоятъ дорого и кромѣ того сами могутъ послужить современемъ препятствіемъ судоходству, при уменьшеніи расхода воды или при увеличеніи осадки судовъ.

Величина V_1 —средняя скорость водяныхъ частицъ, уклоняющихся въ своемъ движеніи, подъ вліяніемъ сопротивленія ударяемыхъ ими выступовъ дна, входитъ въ выраженіе работы, затрачиваемой на размывъ дна съ отрицательнымъ знакомъ, а потому для увеличенія размыва нужно принимать зависящія отъ насъ мѣры къ уменьшенію значенія величины v_1 . Для обсужденія этого вопроса представимъ себѣ, что отдѣльная струя воды направляется въ трубкѣ на твердое тѣло плотно прижатое къ ея оконечности. Въ этомъ случаѣ, если твердое тѣло не будетъ сдвинуто силою удара струи, то вода въ трубкѣ остановится, V_1 сдѣлается равнымъ нулю и весь запасъ механической работы $m \frac{v^2}{2}$ будетъ израсходованъ на ударъ, сила коего будетъ равна $m v$. Если же отдѣльная струя направляется не по трубкѣ, а свободно, то вода, легко обтекающая твердое тѣло съ боковъ и сверху, сохранитъ послѣ удара значительную долю своей скорости, и ударъ будетъ несравненно слабѣе. Когда струя, дѣйствующая на твердое тѣло, окружена другими приблизительно паралельными или даже расходящимися струями, то дѣйствіе ея на твердую тѣло будетъ больше, чѣмъ дѣйствіе изолированной струи, ибо обтекание ею твердаго тѣла будетъ нѣсколько затруднено и ей придется отчасти отодвинуть сосѣднія струи, отчасти же увеличить ихъ скорость. Если расположеніе сосѣднихъ струй, хотя бы и не направляющихъ свой ударъ на твердое тѣло, сдѣлается сходящимся, то для ударяющей струи сдѣлается еще болѣе затруднительно обойти твердое тѣло съ боковъ, и она станетъ переливаться черезъ него сверху. И этотъ путь обхода будетъ затрудненъ, когда надъ ударяющею струею расположатся другія струи, которыя при этомъ будутъ приподняты, отражающеюся отъ твердаго тѣла, струею. По мѣрѣ увеличенія затрудненій обходу струею твердаго тѣла, скорость V_1 будетъ

уменьшаться, а ударъ увеличиваться. Чѣмъ больше струй воды надъ твердымъ тѣломъ, т. е. чѣмъ больше глубина воды надъ нимъ, тѣмъ труднѣе могутъ быть онѣ приподняты отразившеюся струею, и наконецъ на нѣкоторой глубинѣ, зависящей отъ скорости теченія, размѣровъ тѣла и сходимости струй, не обнаружится вовсе приподнятія поверхности текущей воды, при чемъ V_1 будетъ наименьшая, и сила удара наибольшая. Нужно замѣтить, что V_1 въ рѣчномъ руслѣ никогда не обращается въ нуль, ибо ударяющая струя можетъ обтекать тѣло, увеличивая скорость теченія сосѣднихъ струй, безъ ихъ замѣтнаго приподнятія.

Изъ сказаннаго очевидно, что увеличеніе глубины и сходимости струй способствуютъ увеличенію дѣйствія воды на размывъ рѣчнаго русла, но изъ этого никакъ нельзя заключить, что искусственно вырытая въ рѣчномъ руслѣ яма можетъ сохраниться и даже увеличиться дѣйствіемъ теченія; ибо для этого необходима не одна только глубина воды, но еще и сходящееся, направленное на выступы дна, расположеніе рѣчныхъ струй; а безъ сего послѣдняго въ вырытой ямѣ почти никакого теченія не будетъ и потому она должна заноситься проносящимися надъ нею и погружающимися въ нее отъ своей тяжести частицами твердыхъ тѣлъ. Важное значеніе глубины для размыва ложа потока подтверждаютъ наблюденія надъ прорѣзами, а именно оказывается, что когда прорѣзъ выкапывается на незначительную глубину, напริมѣръ до 0,20—0,30 саж. ниже горизонта воды, то размывъ дна происходитъ весьма медленно, несмотря на громадное при низкомъ горизонтѣ паденіе, сосредоточенное на прорѣзѣ, и несмотря на значительную скорость теченія. Но при первомъ же значительномъ паводкѣ, когда уклоны на прорѣзѣ и сосѣднихъ участкахъ рѣки выравниваются, несмотря на уменьшившуюся скорость теченія, процессъ размыва дѣлается настолько силенъ, что, какъ мнѣ приходилось нѣсколько разъ наблюдать на Днѣпрѣ и Припяти, прорѣзъ получаетъ сразу поперечные размѣры, вполне достаточные для судоходства. Результаты эти указываютъ на то, что сила размыва при паводкѣ увеличивается не вслѣдствіе увеличенія скорости теченія, но вслѣдствіе увеличенія дѣйствующей на размывъ массы воды, а главнымъ образомъ оттого, что, при увеличившейся глубинѣ, вода своею тяжестью не позволяетъ нижнимъ своимъ слоямъ, такъ сказать, перескакивать черезъ неровности дна, а принуждаетъ смывать ихъ и сносить внизъ по теченію.

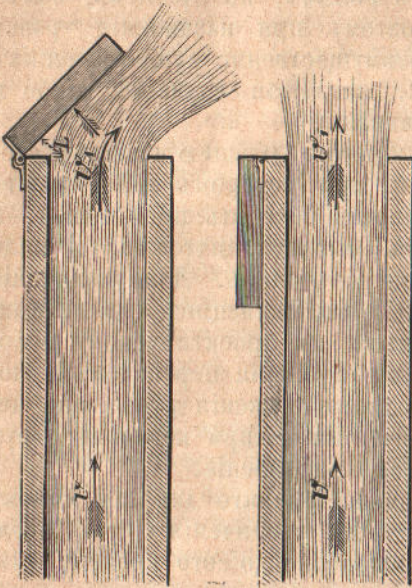
Вообще, чѣмъ болѣе затруднена водѣ возможность свободнаго обхода твердаго тѣла, тѣмъ v_1 меньше и тѣмъ больше сила удара и работа, затраченная водою на ударъ. Извѣстно, напримѣръ, что небольшіе ручьи, протекая въ узкихъ руслахъ, между малоразмываемыми берегами, катятъ нерѣдко камни громадной величины. Точно также дождевая вода катитъ кирпичи и камни по уличнымъ ренштокамъ, при скоростяхъ теченія, которыя нельзя считать весьма рознящимися отъ скоростей теченія рѣкъ; а между тѣмъ въ широкихъ рѣчныхъ руслахъ отлагаются даже мелкіе песчинки. Разница въ величинѣ затрачиваемой водою силы на передвиженіе твердыхъ тѣлъ въ этихъ двухъ случаяхъ зависитъ не столько отъ скоростей теченія— v , сколько отъ величины потерянной скорости $v-v_1$, т. е. отъ величины v_1 , а сія послѣдняя находится въ зависимости отъ громадной разницы въ отношеніяхъ поперечныхъ сѣченій катимыхъ тѣлъ къ площадямъ живыхъ сѣченій руслъ, т. е. отъ величины суженія живаго сѣченія поперечнымъ сѣченіемъ катимаго тѣла. Въ случаѣ широкаго русла и незначительной величины твердаго тѣла, v_1 мало разнится отъ v и величина $\frac{m}{2} (v^2 - v_1^2)$ близка къ нулю, а въ случаѣ узкаго потока и большаго поперечнаго сѣченія тѣла, преграждающаго свободное движеніе воды, можетъ послѣдовать значительное замедленіе движенія, т. е. v_1 можетъ сдѣлаться значительно меньше v , и часть механической работы воды затрачиваемой ею на ударъ при этомъ можетъ достигнуть величины, достаточной для передвиженія даже большихъ тяжестей.

Для дальнѣйшаго обсужденія способовъ уменьшенія величины v_1 , представимъ себѣ воду, текущую по желобу, загражденному на оконечности своей щитомъ. Послѣ удара воды въ щитъ, v_1 сдѣлается равною нулю и ударъ будетъ полный, т. е. на него будетъ затрачена вся живая сила воды. Но если съ одной стороны щита часть боковой стѣнки желоба будетъ вырѣзана, то ударъ въ щитъ сдѣлается не полнымъ и онъ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе уголь, образуемый въ планѣ щитомъ и стѣнкою желоба, какъ видно на слѣдующемъ чертежѣ.

Наконецъ, по удаленіи щита, вода, протекая по прямому желобу, можетъ оказать на стѣнки его лишь самое слабое гидравлическое давленіе. Явленія, подобныя описаннымъ, наблюдаются въ рѣчныхъ руслахъ, а именно струи, ударяю-

щіся въ вогнутый берегъ и въ прилегающую къ нему часть рѣчного дна, круто отражаясь отъ него, теряютъ значительную

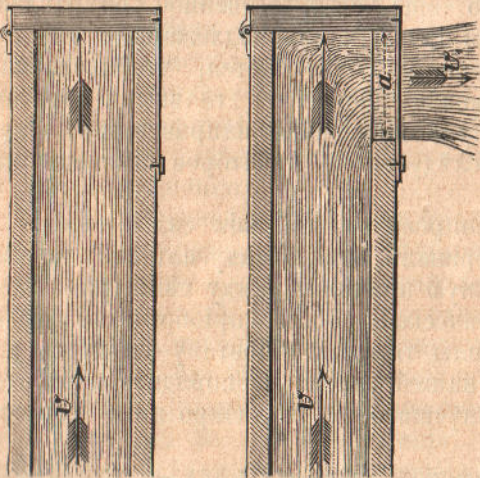
$$V_1 = V$$



долю своей скорости, употребляемую на ударъ и размывъ прибрежной полосы дна; при теченіи же воды въ прямомъ руслѣ потеря скорости бываетъ сравнительно незначительна, v_1 почти равно v , а потому и сила размыва весьма мала.

Итакъ, для достиженія увеличенія выраженія $\frac{m}{2} (v^2 - v_1^2)$ посредствомъ уменьшенія v , надлежитъ избѣгать прямыхъ частей проектной трассы и по возможности увеличивать кривизну изгибовъ, т. е. уменьшать радіусы кривизны. Однако послѣдняя мѣра на практикѣ не имѣла до сего времени примѣненія, ибо цѣль выправленія рѣкъ не общее углубленіе русла, но лишь только размывъ дна на сравнительно мелкихъ мѣстахъ, обнаруживающихся обыкновенно не въ кривыхъ колѣнахъ, а на перегибахъ русла. При томъ же самое примѣненіе подобной мѣры должно быть ограничено извѣстными предѣлами, зависящими: 1)

$$V_1 = 0$$



отъ неудобства слишкомъ крутыхъ поворотовъ для судоходства, въ особенности для буксирнаго пароходства; 2) отъ значительности поврежденій береговыхъ укрѣпленій, и 3) отъ размывовъ затопляемыхъ береговъ весенними водами, направляющимися въ обходъ крутыхъ колѣнъ, по прямымъ, болѣе короткимъ направленіямъ. Поэтому при назначеніи трассъ приходится придерживатся преимущественно существующихъ очертаній вогнутыхъ береговъ, исключая случаевъ слабо и неправильно развитой ихъ кривизны.

На перегибахъ русла наблюдается большею частью растекающееся расположеніе струй, при которомъ онѣ имѣютъ сравнительно большую возможность обходить препятствія, и потому потеря скорости здѣсь бываетъ ничтожна, v_1 мало разнится отъ v и размывъ наносовъ слабъ. Для увеличенія значенія v_1 надлежитъ, собравъ растекающіяся струи, придать имъ направленія, сходящіяся къ проектируемому очертанію фарватера, такъ что для углубленія перекаатовъ и переваловъ не достаточно еще одного суженія русла, но необходимо дать трассѣ такое очертаніе, при которомъ струи имѣли бы постоянно сходящееся направленіе.

Итакъ, увеличить силу размыва рѣчнаго дна мы имѣемъ возможность не только посредствомъ увеличенія v , т. е. средней скорости течения, что обыкновенно до сего времени имѣлось въ виду при выправительныхъ работахъ, но еще и посредствомъ увеличенія величины m и уменьшенія величины v_1 . Для увеличенія v недостаточно одного стѣсненія живаго сѣченія, но необходимо еще соотвѣтственное направленіе струй, которое требуется также и для надлежащаго дѣйствія на величины m и v_1 ; поэтому оказывается, что желаемаго выправленія русла возможно достигнуть главнымъ образомъ не стѣсненіемъ его, а цѣлесообразнымъ направленіемъ струй, причѣмъ само собою послѣдуетъ и нѣкоторое стѣсненіе живыхъ сѣченій.

При изслѣдованіи вопроса о дѣйствіи силы течения на размывъ дна, я разсматривалъ живую силу или силу инерціи воды, какъ самостоятельную причину, между тѣмъ какъ живая сила или запасъ механической работы пріобрѣтается водою при движеніи ея отъ силы тяжести. Поэтому слѣдуетъ разсмотрѣть насколько въ нашей власти распорядиться работою силы тяжести для наилучшаго ея утилированія, согласно нашимъ потребностямъ.

Называя черезъ Q расходъ воды въ рѣкѣ, — Δ плотность

воды и H падение ея, имѣемъ для выраженія работы силы тяжести произведение сказанныхъ величинъ ΔQH . Величина годоваго расхода воды не находится въ нашемъ распоряженіи, такъ какъ она зависитъ отъ метеорологическихъ и климатическихъ условій; однако же признается, что разведеніе лѣсовъ способствуетъ увеличенію количества выпадающей изъ атмосферы влаги. Но для поддержанія судоходной глубины имѣетъ значеніе не общее количество влаги, выпадающей въ бассейнѣ рѣки, но главнымъ образомъ равномерное питаніе рѣки водою, чего можно достигнуть облѣсеніемъ рѣчнаго бассейна и устройствомъ водохранилищъ. Паденіе всей рѣки или болѣе или менѣе значительной ея части также не можетъ быть нами измѣняемо; однако же для болѣе цѣлесообразнаго пользованія работою силы тяжести, нужно заботиться по возможности о равномерномъ расходованіи ея, т. е. принимать мѣры къ достиженію равномернаго распредѣленія паденія рѣки по ея длинѣ, иначе сказать къ выравниванію продольныхъ уклоновъ.

Въ докладѣ предыдущему Съѣзду я привелъ доказательство необходимости выравниванія уклоновъ для выравниванія глубинъ русла, основанное на изслѣдованіи формулъ, выражающихъ равномерное движеніе воды. Однако же при рѣшеніи практическихъ вопросовъ выправленія рѣкъ не приходится требовать полнаго выравниванія глубинъ, да и возможность такого выравниванія, равно какъ и достиженія равномерности теченія подлежатъ еще сомнѣнію, вслѣдствіе несходности условій теченія воды въ изгибахъ русла съ теченіемъ ея на перегибахъ. Несходство это выражается главнымъ образомъ въ расположеніи струй и еслибы намъ оказалось возможнымъ достигнуть на перегибахъ такого же схожденія струй, какое обнаруживается въ изгибахъ русла, то вопросъ о выравниваніи глубинъ приблизился бы значительно къ своему идеальному рѣшенію.

Вышеизложенное изслѣдованіе простыхъ формулъ динамики въ связи съ наблюденіями надъ рѣчнымъ теченіемъ указываютъ на неправильность допущенія параллельности струекъ, дѣлаемаго при выводѣ формулъ гидродинамики. Громадная разница, обнаруживающаяся въ движеніи и ударѣ упругихъ, твердыхъ тѣлъ отъ жидкихъ происходитъ оттого, что въ первыхъ изъ нихъ взаимное расположеніе частицъ и разстоянія между ними ни во время движенія, ни во время удара не измѣняются, всѣ частицы описываютъ параллельныя или кон-

центрическія траекторіи; тогда какъ при движеніи жидкихъ тѣлъ, вслѣдствіе вліянія сопротивленія поверхности, по коей они движутся и среды, въ коей совершается движеніе, происходитъ непрерывное перемѣщеніе частицъ внутри жидкаго тѣла, дающее начало внутреннимъ самостоятельнымъ теченіямъ, и на это расходуется значительное количество запаса механической работы, приобретаемой отъ дѣйствія силы тяжести. Въ особенности эта потеря живой энергіи велика при ударѣ жидкихъ тѣлъ о твердыя, такъ какъ она здѣсь расходуется на раздѣленіе и удары отраженныхъ и перемѣшанныхъ струекъ. Для того, чтобы поставить гидродинамику на степень точной науки, недостаточно еще однихъ отвлеченныхъ математическихъ изслѣдованій, вродѣ тѣхъ, кои исполнены гг. Навье, Гельмгольцемъ и его послѣдователями, Буссинескомъ и многими другими. Нужно признать, что гидродинамика, подобно физикѣ, есть наука опытная и что она въ основу своихъ выводовъ должна класть не произвольныя допущенія, а данныя, добытыя обобщеніемъ результатовъ непосредственныхъ наблюденій и опытовъ. Такъ какъ движеніе жидкихъ тѣлъ въ сопротивляющихся средахъ происходитъ по законамъ, не сходственнымъ съ движеніемъ тѣлъ твердыхъ, то главною задачею лицъ, занимающихся приложеніемъ гидродинамики къ практикѣ, я полагаю, нужно признать изученіе обстоятельствъ движенія воды, зависящихъ отъ формы рѣчнаго русла и вліяющихъ на его переформированіе, обращая особенное вниманіе на тѣ особенности движенія воды, которыми жидкости отличаются отъ твердыхъ тѣлъ, а именно на внутреннія перемѣщенія частицъ въ этихъ тѣлахъ, при ихъ передвиженіяхъ.

Изысканія, производившіяся подъ моимъ наблюденіемъ, на рѣкѣ Днѣпрѣ подъ г. Кіевомъ, дали возможность изслѣдовать расположеніе рѣчныхъ струй на поверхности воды; обнаруженные при этомъ характерныя особенности направленія струй, въ связи съ наблюденіями надъ очертаніемъ рельефа рѣчнаго дна, послужили къ выясненію основнаго закона расположенія отдѣльныхъ самостоятельныхъ теченій, проявляющихся въ каждомъ потокѣ. Описаніе произведенныхъ изслѣдованій, выводы изъ нихъ сдѣланные и предположеніе о дальнѣйшихъ наблюденіяхъ составляютъ главный предметъ настоящаго доклада.

Для выясненія вопроса о возможности закрытія боковыхъ мостовыхъ отверстій въ Днѣпровской дамбѣ на Кіево-Черниговскомъ шоссе и безопасности сосредоточенія всѣхъ весен-

нихъ водъ въ одно главное русло къ правому городскому берегу, съ направлениемъ ихъ въ отверстіе дѣпнаго моста, — кромѣ повторительныхъ измѣреній расходовъ воды, дѣлались посредствомъ поплавковъ опредѣленія расположенія и измѣренія скоростей рѣчныхъ струй на поверхности воды.

Поплавки были сдѣланы круглые изъ сухихъ сосновыхъ досокъ, толщиною $1\frac{1}{2}$ вершка, діаметромъ 6 вершковъ (см. чертежъ 1-й на листѣ 1-мъ). Кругомъ они окрашены масляною бѣлою краскою, а верхній дискъ раздѣленъ на 4 сектора, окрашенные разными красками для того, чтобы лицу, плывущему въ лодкѣ, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ поплавка, возможно было замѣчать направленіе его вращенія и считать число оборотовъ. Сквозь поплавокъ пропущены, какъ показано на чертежѣ, желѣзный штырь, имѣющій на нижнемъ концѣ гайку, на которую накладываются желѣзныя пластинки въ такомъ числѣ, чтобы загрузить поплавокъ почти вровень съ горизонтомъ воды. На верхній конецъ штыря надѣвается блестящій, стеклянный, цвѣтной шарикъ.

Передъ приступомъ къ съемкѣ расположенія рѣчныхъ струй, на подлежащемъ изслѣдованію участкѣ рѣки разбиваются поперечныя профили въ разстояніи отъ 20 до 200 саж. одна отъ другой, смотря по важности участка для сооруженій и по измѣняемости характера русла. Профили эти обозначаются на берегахъ, съ обѣихъ сторонъ русла, створными вѣхами и наносятся на мензульный планъ; вмѣстѣ съ тѣмъ снимается очертаніе урѣза воды, въ масштабѣ 25 или 50 саж. въ 0,01 саж. Весь участокъ раздѣляется на нѣсколько частей такимъ образомъ, что на одну мензулу приходится не болѣе 300—350 саж. въ каждую сторону, т. е. внизъ и вверхъ по рѣкѣ; такъ какъ далѣе этого разстоянія посредствомъ трубы кипрегеля нельзя ясно видѣть стеклянные шарики поплавковъ. Располагая тремя мензулистами, оказывалось возможнымъ снимать струи на протяженіи около 4-хъ верстъ при масштабѣ 50^с и около 2-хъ верстъ при масштабѣ 25^с въ 0,01 саж. Работа производилась исключительно при тихой почти безвѣтряной погодѣ, слѣдующимъ образомъ. Развезя мензулистовъ по своимъ мѣстамъ, пароходъ съ лодками поднимался выше послѣдней профили. Затѣмъ лодки съ кондукторомъ на каждой, по одной отчаливали отъ парохода. Приближаясь къ обозначенному плавучею вѣшкою мѣсту на первой профили, съ лодки спускался поплавокъ на воду. Обогнавъ поплавокъ сбоку такъ, чтобы не помѣшать его свободному движенію,

лодка заѣзжала на первую профиль и ставъ въ створѣ ея, выжидала появленія на немъ поплавка. При приближеніи поплавка къ профили кондукторъ поднималъ на лодкѣ флагъ, цвѣтъ коего былъ одинаковъ съ цвѣтомъ шарика поплавка. Находившійся при каждомъ мензулистѣ, сигнальщикъ, записывавшій также и время по секундомѣру, сообщалъ мензулисту, что такой-то флагъ на такой-то профили поднять. Тогда мензулистъ ловилъ въ трубу кипрегеля шарикъ поплавка и слѣдовалъ за нимъ до того времени, когда поплавокъ вступалъ на профиль, о чемъ сигналъ подавался съ лодки маханіемъ флага. Сигнальщикъ говорилъ мензулисту—машеть флагъ такой-то, мензулистъ дѣлалъ засѣчку, а сигнальщикъ записывалъ время. Кондукторъ въ лодкѣ провожалъ свой поплавокъ на протяженіи всего участка, плыва съ боку и записывая обороты поплавка, а передъ каждою профилію выѣзжалъ впередъ на ея створѣ и поджидалъ вступленія въ него поплавка. За первую лодкою, черезъ нѣкоторый промежутокъ времени съ такимъ расчетомъ, чтобы не затруднять мензулистовъ одновременнымъ вступленіемъ на профили нѣсколькихъ поплавокъ,—отчаливала вторая, за нею третья лодка и такъ далѣе. Отпустивъ всѣ лодки, пароходъ отправлялся въ нижній конецъ изслѣдуемаго участка рѣки и, ставъ тамъ, причаливалъ къ себѣ подплывавшія лодки съ вынутыми поплавками. Забравъ всѣ лодки пароходъ направлялся на верхнюю оконечность участка, откуда вновь спускались поплавки выше назначенныхъ на первой профили, пунктовъ. Располагая значительнымъ количествомъ техническихъ рабочихъ силъ, я имѣлъ возможность въ одинъ день, въ два заѣзда, спустить 12 поплавокъ, захвативъ ими все русло, шириною до 500 саж., такъ что среднее разстояніе между поплавками было 40 саж., а близъ цѣпнаго моста всего около 20 саж., считая на той профили, съ которой поплавки спускались.

По черновымъ брульонамъ и записямъ время прохожденія поплавокъ черезъ профили, составлены представляемые бѣловые планы въ двухъ видахъ. На планахъ за лит. а показаны направленія движенія поплавокъ и профили ихъ скоростей, а на планахъ за лит. б показаны также направленія поплавокъ и расположеніе ихъ черезъ извѣстные промежутки времени отъ прохода черезъ первую профиль. Считая, что всѣ поплавки прошли первую профиль одновременно, опредѣлялись на ихъ путяхъ, сообразно ихъ скоростямъ, точки, въ коихъ они были черезъ 2, или 4, или 5 минутъ послѣ

прохода первой профили; соединяя эти точки, получили профили расположенія поплавковъ черезъ одинъ изъ сказанныхъ промежутковъ времени; затѣмъ отъ этихъ точекъ по направленію движенія поплавковъ откладывались разстоянія, пройденныя ими въ слѣдующій такой же промежутокъ времени; соединеніемъ найденныхъ точекъ опредѣлялась вторая профиль расположенія поплавковъ и такъ далѣе. Площади, ограниченныя этими профилями окрашены синею краскою такимъ образомъ, что тоны ея, по мѣрѣ движенія поплавковъ, ослабѣваютъ. Такой способъ окраски даетъ наглядное представленіе о клинообразномъ обгонѣ слоями воды, лежащими ближе къ фарватеру и вогнутому берегу, слоевъ воды, удаленныхъ отъ фарватера и текущихъ ближе къ выпуклымъ берегамъ. Условные знаки и обозначенія, принятые при составленіи плановъ, подробно объяснены на каждомъ чертежѣ.

Разсматривая расположеніе траекторій движенія поплавковъ, нельзя не замѣтить характерной и на первый взглядъ кажущейся странною, особенностію, заключающейся въ томъ, что всѣ поправки направляются отъ выпуклыхъ береговъ къ фарватеру и къ вогнутому берегу, причемъ траекторіи ихъ нерѣдко пересѣкаются. Такъ какъ мѣста пересѣченій сохраняютъ нѣкоторое постоянство, то обстоятельство это не можетъ быть приписано случайнымъ причинамъ, какъ-то: порывамъ вѣтра, волненію, производимому проходомъ пароходовъ и проч.; тѣмъ болѣе что наблюденія производятся при тихой погодѣ, а проходящіе пароходы предупреждаются посредствомъ рупоровъ, держатся поодаль поплавковъ. Если считать траекторію поправка за рѣчную струю, т. е. за путь, совершаемый нѣкоторою массою воды, то пересѣченіе такихъ массъ, съ сохраненіемъ направленій своихъ движеній, очевидно невозможно. Поэтому представляется необходимымъ уяснить себѣ, насколько путь поправка можетъ соответствовать направленію рѣчной струи.

Представимъ себѣ нѣкоторый объемъ воды въ видѣ сферы или тѣла вращенія съ вертикальною осью, помѣщенный на горизонтальной и совершенно гладкой плоскости. Поплавокъ, положенный горизонтально сверху такого тѣла вращенія, послѣ разливанія воды опустится вертикально внизъ и если судить по движенію его на планѣ, о направленіи движенія воды, то можетъ показаться, что никакого движенія ея не было. Если плоскость, на коей помѣщена была вода, не совершенно горизонтальна, или въ ней есть ложбина, или

** При митрографированіи не оказалось возможности воспроизвести всѣхъ тоновъ синей краски*

требіе, представляемое ея поверхностью, не одинаково по различнымъ направлєніямъ, то вслѣдствіе увеличенія скорости и живой силы въ одномъ изъ направлєній, расходящихся по радіусамъ отъ оси вращенія, поплавокъ будетъ увлеченъ этою силою по направлєнію наибольшей скорости; однако изъ этого не слѣдуетъ, что вода не двигалась и по другимъ направлєніямъ. Точно также, по тому только, что поплавки направляются къ фарватеру и къ вогнутымъ берегамъ, не слѣдуетъ еще, что вся вода туда движется; однако-же это указываетъ на то, что близъ поверхности воды наибольшія скорости теченія направлены не параллельно берегамъ, а косвенно къ фарватеру. Означенное уклоненіе струй къ фарватеру составляетъ причину того, что расходы воды, измѣряемые нами въ рѣкахъ, даютъ результаты иногда весьма разнящіеся отъ истинныхъ ихъ значеній въ степени гораздо большей той, какую допускаетъ точность инструмента, которую, при тщательномъ уходѣ за вертушками и правильномъ опредѣленіи коэффициентовъ тренія, можно довести до значительной степени совершенства. Для измѣренія скоростей мы беремъ поперечныя сѣченія плоскія, приблизительно нормальныя къ берегамъ, предполагая, что направлєнія скоростей параллельны между собою и съ берегами; въ дѣйствительности же, какъ видно изъ движенія поплавковъ на поверхности воды, направлєнія наибольшихъ скоростей, по коимъ устанавливается вертушка помощью своего хвоста, образуютъ съ направлєніемъ береговъ болѣе или менѣе значительные, острые углы.

При сліяніи двухъ струй, массы ихъ проникаютъ одна въ другую, такъ что дальнѣйшее движеніе воды совершается по направлєнію равнодѣйствующей изъ ихъ скоростей. О полномъ проникновеніи массъ двухъ соединившихся потоковъ можно судить по цвѣту воды сливающихся рѣкъ, который у разныхъ рѣкъ бываетъ различенъ: болотистыя рѣки имѣютъ темновато-бурую воду, горныя-прозрачную, нѣкоторыя—желтую, зеленоватую и проч. Эта разница въ цвѣтѣ воды при сліяніи рѣкъ замѣчается только на нѣкоторомъ и при томъ небольшомъ разстояніи отъ мѣста сліянія, а затѣмъ исчезаетъ постепенно, по мѣрѣ проникновенія воды одной струи въ массу другой.

Поплавокъ, направляясь въ одной струѣ, при сліяніи ея съ другою и при проникновеніи ея въ массу сей послѣдней, переносится также въ эту струю; при чемъ въ каждое мгновєніе онъ движется по направлєнію равнодѣйствующей изъ

двухъ скоростей: своей собственной и принадлежащей той струѣ, въ которую вступаетъ. Такимъ образомъ оказывается, что при слияніи двухъ струй. поплавки, принесенные ими, не сойдутся и не поплывутъ вмѣстѣ, но пересѣкутся своими траекторіями и если мѣсто слиянія струй остается безъ перемѣны въ извѣстной части русла, то и мѣсто пересѣченія траекторій поплавокъ не должно передвигаться,—что и подтверждается наблюденіями. При плавномъ, подъ острымъ угломъ слияніи двухъ рѣкъ или двухъ рукавовъ, имѣющихъ берега вогнутые и сходящіеся въ одно остріе, судно, свободно плывущее по одному рукаву, переходитъ обыкновенно въ струю, вытекающую изъ другого рукава.

На планахъ № I и II листа 2-го видно, что по изысканіямъ 1886 г. пересѣченіе траекторій поплавокъ близъ цѣпнаго моста происходило выше быковъ № 4, на мѣстѣ слиянія трехъ струй притекавшихъ изъ рукавовъ Чертороя, Долбички и Старика. На планѣ № III, листъ 3-й, составленномъ въ 1887 году, показано пересѣченіе двухъ траекторій поплавокъ также выше быка № 4, но нѣсколько дальше отъ лѣваго берега. На планѣ № IV, листъ 3-й, показаны пути поплавокъ, снятые въ 1888 году при сравнительно высокомъ стояніи горизонта весенней воды. Пересѣченій траекторій поплавокъ на этомъ планѣ не обнаружилось вслѣдствіе того, нужно полагать, что вода, заливавшая берега, текла болѣе слитно, при чемъ сходимостъ струй не могла проявиться въ такой степени, какъ при вытеканіи ихъ изъ отдѣльныхъ рукавовъ. Изъ сравненія плана № IIIб съ планомъ № IVб можно замѣтить, что, при повышеніи горизонта воды отъ 1,04 до 1,75 саж. выше нуля рейки цѣпнаго моста, клинообразно—обгонное, фарватерное теченіе, направлявшееся подъ лѣвую часть моста, въ пролетъ между 3-мъ и 4-мъ быками (планъ № IIIб), перемѣщается подъ правую часть моста, въ пролетъ между 2-мъ и 3-мъ быками (планъ № IVб), вслѣдствіе усиленнаго притока воды слѣва, съ Днѣпровской поймы.

На планахъ №№ VI и VIII (листъ 4-й и 5-й) за 1890 и 1892 года особенно рѣзко обозначилась значительная сила струй, притекавшихъ въ главное русло; подъ цѣпной мостъ, съ лѣвой стороны. Мѣста пересѣченій траекторій поплавокъ, принесенныхъ струею рукава Долбички, находились по прежнему близъ 4-го быка, но нѣсколько отодвинулись отъ лѣваго берега, самыя-же траекторіи сильно перегнулись къ серединѣ русла. Нужно замѣтить, что такое отклоненіе воды, притекаю-

щей съ Днѣпровской поймы, можно считать выгоднымъ для обезпеченности отъ подмывовъ лѣвыхъ мостовыхъ опоръ, имѣющихъ слабую конструкцію основаній, сравнительно съ правыми. Указанное уклоненіе струй въ правую сторону достигнуто произведенными въ послѣднее время, работами по закрытію боковыхъ мостовыхъ отверстій въ Днѣпровской дамбѣ, возведеніемъ запрудъ въ рукавъ Чертороѣ и болѣе правильнымъ направленіемъ воды изъ него къ цѣпному мосту.

Въ каждое мгновеніе поплавокъ, получая толчекъ отъ влекущей его воды, стремится сохранить прямолинейное движеніе по направленію касательной къ криволинейному очертанію струи, но такому его движенію сопротивляется масса струи, увлекающая его по направленію своего пути; сопротивленіе это отчасти преодолевается живою силою поплавокъ, и такимъ образомъ траекторія его движенія не вполне совпадаетъ съ расположеніемъ рѣчной струи, при чемъ поплавокъ долженъ уклоняться въ сторону вогнутого берега и достигать его ранѣе той струи, на которую онъ былъ спущенъ.

До сихъ поръ мы не имѣли возможности опредѣлить на сколько движеніе поплавокъ уклоняется отъ направленія влекущей его струи, такъ какъ направленіе теченія воды опредѣляется только движеніемъ поплавокъ. Далѣе будетъ описанъ проектированный мною приборъ—подводный флюгеръ, посредствомъ коего возможно будетъ опредѣлять направленіе теченія во всѣхъ точкахъ поперечнаго сѣченія русла.

Если бы поплавокъ, имѣя плотность весьма близкую къ плотности воды, обладалъ бы безконечно малыми размѣрами, то онъ бы описывалъ при своемъ движеніи траекторію, вполне совпадающую съ расположеніемъ рѣчной струи. При конечныхъ, но весьма малыхъ размѣрахъ поплавокъ, путь его долженъ также весьма мало уклоняться отъ движенія окружающей его массы воды; поэтому можно допустить, что уклоненіе плывущаго твердаго тѣла отъ пути, описываемаго влекущею его массой воды, въ извѣстной степени пропорціонально размѣрамъ тѣла. Уклоненіе поплавокъ происходитъ отъ силы инерціи, которая пропорціональна массѣ тѣла, т. е. величинѣ трехъ измѣреній, а сопротивленіе воды передаваемое поплавку толчками на его поверхность, пропорціонально размѣрамъ поверхности, т. е. величинѣ двухъ измѣреній; поэтому равнодѣйствующая изъ силъ инерціи и сопротивленія пропорціональна нѣкоторой линейной величинѣ, на примѣръ при поплавокъ одинаковой высоты, она пропорціональна

діаметру ихъ. Поэтому уклоненіе, одной отъ другой, траекторій поплавокъ, имѣющихъ разные размѣры, можетъ дать нѣкоторое представленіе о величинѣ ошибки, допускаемой нами при предположеніи, что траекторія поплавка совпадаетъ съ расположеніемъ рѣчной струи. Для нѣкотораго выясненія этого вопроса былъ мною сдѣланъ поплавокъ діаметромъ въ $1\frac{1}{2}$ арш., т. е. въ 4 раза шире обыкновенныхъ. Устройство его показано на чертежѣ 2-мъ листъ 1-й. Наблюденія надъ ходомъ большаго поплавка показали, что при слабыхъ изгибахъ рѣчныхъ струй, онъ двигается почти одинаково съ поплавками малыхъ размѣровъ (смотри на планѣ № VI, струю № XIII, на планѣ № VIII струи №№ V и VIII) при болѣе-же изогнутомъ очертаніи струй, большой поплавокъ уклоняется въ сторону вогнутости струи сильнѣе малыхъ, какъ видно на планѣ № IX струя № V. Кромѣ того путь большаго поплавка менѣе подчиняется уклоненію отъ удара боковыхъ струй, какъ видно на томъ-же планѣ изъ пересѣченія траекторіи поплавка № VIII при встрѣчѣ его со струею № VII, имѣвшею наибольшую начальную скорость. Особенно-же сильное уклоненіе большаго поплавка замѣтно на планѣ № VI, струя № I, которое впрочемъ зависѣло главнымъ образомъ отъ силы струи, притекавшей въ Днѣпровское русло изъ вновь прорытаго канала между рукавами Чертороемъ и Долбичкою. Вообще-же уклоненія траекторіи большаго поплавка отъ траекторій малыхъ поплавокъ незначительны, и потому имѣется основаніе предположить, что поплавки движутся по траекторіямъ, мало рознящимся отъ очертанія рѣчныхъ струй. Конечно возможны отступленія, зависящія отъ расположенія и быстроты теченія струй и кривизны русла, но подробное обсужденіе этого вопроса, за неимѣніемъ достаточныхъ данныхъ, должно быть отложено до производства точныхъ измѣреній угловъ отклоненія поплавокъ отъ направленія теченія рѣчныхъ струй, посредствомъ особо приспособленныхъ приборовъ. Теперь-же при разсмотрѣннн расположенія рѣчныхъ теченій, можемъ допустить, что траекторіи поплавокъ достаточно вѣрно указываютъ на направленія рѣчныхъ струй. Для болшей опредѣлительности дальнѣйшаго изложенія необходимо пояснить, что мы подразумѣваемъ подъ словами струя и струйка воды. Струею мы называемъ неопредѣленную по размѣрамъ массу воды, имѣющей опредѣленное направленіе, которое будемъ считать близкимъ къ направленію движенія поплавокъ. По причинѣ неопредѣлен-

ности размѣровъ, струя не есть физическое тѣло, но лишь только представленіе, дѣлаемое для уясненія явленій движенія воды. Въ рѣкѣ отдѣльныхъ струй съ опредѣленными границами, съ опредѣленными началомъ и концомъ не существуетъ; движеніе воды есть движеніе не струйное, но массовое, подобное движенію твердаго тѣла съ тою только разницею, что всѣ частицы послѣдняго описываютъ траекторіи параллельныя и концентричныя, тогда какъ всѣ частицы жидкаго тѣла, имѣя разныя скорости, описываютъ неизвѣстныя намъ, криволинейныя траекторіи, не параллельныя и не концентричныя между собою.

Струйкою принято называть траекторію, описываемую безконечно малою частицею воды. Размѣры струйки не могутъ быть ни измѣрены, ни представлены нами себѣ, и самое направленіе струекъ намъ не извѣстно. Понятіе о струйчатомъ движеніи воды есть гипотеза, подобная гипотезѣ о молекулярномъ сложеніи тѣлъ, но еще менѣе ея вѣроятная. Допускается эта гипотеза для вывода законовъ движенія воды, при чемъ какъ ранѣе сказано, принимается параллельность струекъ. Однакоже несогласіе формулъ, выведенныхъ на основаніи этой гипотезы, съ наблюдаемыми физическими явленіями заставляеть, какъ было выше доказано, измѣнить ее и признать непараллельность струекъ, сходимость и расходимость ихъ; послѣ чего является возможность объяснить такія обыкновенныя, но кажуціяся странными явленія, какъ размывы рѣчнаго дна при уменьшающейся скорости течения въ плесахъ и отложеніе наносовъ на меляхъ, при сосредоточенномъ на нихъ паденіи и значительныхъ скоростяхъ течения. Во всякомъ случаѣ допущеніе струйчатого движенія еще менѣе вѣроятно, чѣмъ движенія струйнаго и дѣлается лишь только для анализа физическихъ явленій, обнаруживающихся при теченіи воды. Перемѣщеніе сыпучихъ тѣлъ имѣеть вполне характеръ струйчатого движенія, однакоже нѣтъ никакого основанія отождествлять его съ движеніемъ тѣлъ жидкихъ, ибо зерна сыпучаго тѣла имѣютъ конечные размѣры, а предполагаемые атомы воды безконечно малы и наконецъ зерна не связаны между собою присущею капельной жидкости силою вязкости, которою слитно связаны частицы воды.

Обращаясь вновь къ рассмотрѣнію представляемыхъ плановъ, нельзя не замѣтить характерной особенности расположенія струй близъ цѣпнаго моста, заключающейся въ томъ,

что при подходѣ къ мосту онѣ постепенно удаляются отъ береговъ, такъ что въ крайніе пролеты струи почти не попадаютъ, а въ разводную часть лишь только однажды заплылъ поплавокъ (смотри планъ № III листъ 3-й) и то благодаря случайной причинѣ, — онѣ встрѣтилъ на пути своемъ нѣсколько большихъ барокъ, стоявшихъ на якоряхъ въ ожиданіи разводки моста. На планѣ № I листъ 2-й мы видимъ, что поплавокъ № XVIII, пущенный у праваго берега съ профили № 2-ой, пересѣкъ траекторію крайняго поплавка № XVII, пущеннаго съ вышележащей профили № 1. Точно также на планѣ № IX, листы 7 и 8, всѣ полавки направились къ правому берегу и пристали къ его вогнутости, за исключеніемъ крайняго лѣваго поплавка № I, прошедшаго всего въ разстояніи 30 саж. отъ оконечности вогнутой части этого берега. Поплавки, приставаая къ берегу, задерживались въ хворостяныхъ откосахъ береговой обдѣлки и только лишь полавки №№ IV и VI случайно проскользнули около гладкихъ частей откосовъ и поплыли внизъ по теченію, вдоль берега.

Такое прижатіе рѣчныхъ струй къ берегу и пересѣченіе ихъ съ его очертаніемъ нельзя приписать дѣйствию центробѣжной силы, ибо уклоненіе ихъ въ правую сторону произошло не въ самомъ колѣнѣ рѣки, гдѣ могла бы проявиться центробѣжная сила, но въ двухъ верстахъ выше, въ прямой части русла: кривизна-же праваго берега повліяла на нѣкоторое отклоненіе струй влѣво, т. е. въ противоположномъ направленіи. Равнымъ образомъ такое направленіе струй къ правому берегу не можетъ быть приписано дѣйствию вѣтра, ибо при снятіи струй погода была тихая, подтвержденіемъ чему служатъ полавки №№ XIII, XIV и XV, пущенные въ тотъ-же день и приставшіе къ вогнутости противоположнаго лѣваго берега.

Стремленіе воды съ поверхности всего русла къ фарватеру и къ вогнутымъ берегамъ, вообще съ мелкихъ мѣстъ на глубокія, служить для обезпеченія сплава. Не будь этого характернаго расположенія теченія верхнихъ слоевъ воды, каждое сплавляемое судно и плотъ легко могли-бы попадать на песчаныя отмели; между тѣмъ какъ плывущему по теченію судну бываетъ нужно остерегаться только ударовъ о вогнутые берега, а отъ песчаныхъ отмелей относить ихъ само теченіе. Плоты въ тихую погоду могутъ сплавляться и сплавляются по Дибирю и его притокамъ вовсе безъ управленія, наталки-

ваясь на вогнутые приглубые берега и дѣлая около нихъ обороты. Точно также благодаря только этому стремленію воды къ фарватеру является возможнымъ сплавлять суда черезъ пороги. Мнѣ приходилось не разъ слышать отъ судоводцевъ, что наилучшимъ указателемъ наиболѣе глубокаго рѣчнаго хода, въ особенности на перевалахъ, служитъ смола, сплавляемая въ малыхъ плотяхъ, состоящихъ изъ связанныхъ бочекъ. Такой плотъ, едва выступая надъ поверхностью воды, слѣдуетъ по самымъ глубокимъ частямъ русла за исключеніемъ колѣнъ, гдѣ онъ силою сходящихся здѣсь струй прижимается къ вогнутымъ берегамъ. Инженеръ Фаргъ также на основаніи того, что выпуклые берега будто-бы отражаютъ воду къ фарватеру, основалъ свое правило выпуклаго очертанія обоихъ береговъ на перегибахъ русла.

Однакоже, если фарватеръ притягиваетъ къ себѣ рѣчныя струи, а выпуклые берега ихъ отклоняютъ отъ себя, то невольно является вопросъ откуда берется вода у выпуклыхъ береговъ и куда она поступаетъ съ фарватера и отъ вогнутыхъ береговъ? А что у выпуклыхъ береговъ вода не только не стоячая, но имѣетъ иногда и значительную скорость теченія, это всѣмъ намъ извѣстно; такъ напримѣръ въ разводной части цѣпнаго моста, куда не попадаютъ полавки, бываетъ при высокихъ горизонтахъ такая скорость теченія, что для прохода одного судна приходится ставить два буксирныхъ парохода.

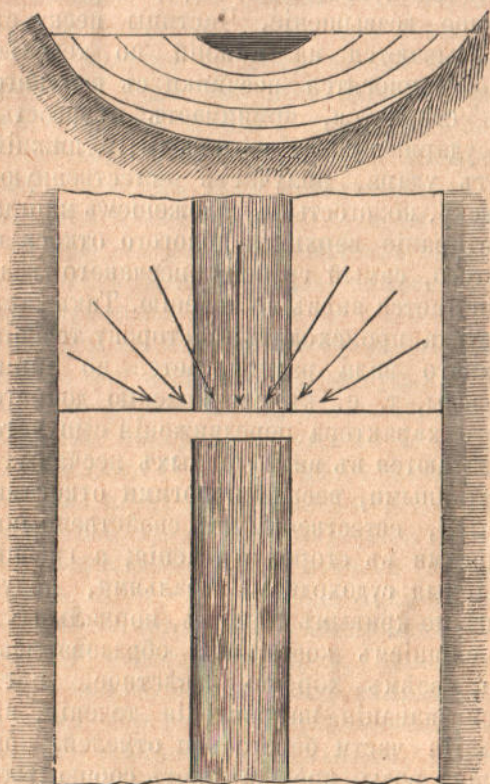
Отвѣтъ на заданный вопросъ весьма простъ: вода, стекающая къ фарватеру и къ вогнутымъ берегамъ, не имѣя возможности другого выхода, приподнимается нѣсколько кверху и, образуя поперечный уклонъ отъ фарватера и вогнутости къ выпуклымъ берегамъ, даетъ начало своимъ давленіемъ на подводные слои, къ теченію ихъ по дну въ обратномъ, косвенномъ направленіи къ берегамъ.

Существованіе такого доннаго теченія отъ фарватера къ берегамъ не могло быть до сихъ поръ непосредственно обнаружено за неимѣніемъ инструментовъ для опредѣленія направленія подводныхъ струй, однакоже оно подтверждается многими наблюденіями. Такъ напримѣръ, размывы песчаныхъ вогнутыхъ береговъ, сопровождаемые почти непрерывными обвалами иногда значительныхъ глыбъ иловато-песчаного грунта, не производятъ замелѣнія прилежащихъ частей дна, при чемъ вода, протекающая вдоль такихъ береговъ, остается повидимому совершенно чистою и прозрачною, тогда какъ на

меляхъ она клокочетъ, вздымая со дна массу наносовъ. Происходить это оттого, что размываемый грунтъ относится отъ берега доннымъ теченіемъ и разносится имъ внизъ по теченію и притомъ не только на нижележащую косу того же берега, но также въ косвенномъ направленіи къ противоположному выпуклому берегу. Этимъ можно объяснить прогрессивное наростаніе подводныхъ косъ у нижнихъ оконечностей вынуклыхъ береговъ, соразмѣрное размыву вышележащихъ противоположныхъ вогнутыхъ береговъ. Точно также и карчи, вымываемыя на фарватерѣ, откатываются доннымъ теченіемъ къ отлогимъ берегамъ. Но самое убѣдительное доказательство существованія доннаго теченія, направляющагося отъ фарватера къ пологимъ берегамъ, представляетъ изслѣдованіе формы рѣчнаго дна.

Представимъ себѣ, что на пути теченія воды, на рѣчномъ днѣ расположено песчаное возвышеніе. Частицы песку съ гребня возвышенія сбрасываются на нижній по теченію откосъ, а на ихъ мѣсто приносятся песчинки съ верхняго откоса. Верхній откосъ стирается, принимаетъ пологость, соответствующую силѣ ударяющей въ него воды, а нижній откосъ, защищенный отъ удара, получаетъ естественную, свойственную мокрому песку, пологость съ заложеніемъ иногда менѣе высоты. Черезъ стираніе верхняго пологого откоса и наростанія нижняго крутого, самый гребень песчаного возвышенія постепенно подвигается внизъ по теченію. Такъ какъ передвиженіе частицъ грунта происходитъ въ сторону теченія воды, то гребень песчаного вала располагается по линіи нормальной къ струямъ воды, т. е. къ направленію доннаго теченія. Вслѣдствіе такого характера передвиженія сыпучаго грунта, перемелы располагаются въ видѣ донныхъ песчаныхъ запрудъ, обращенныхъ длинными, весьма пологими откосами противъ теченія и крутыми, естественными, свойственными намокшему грунту, откосами въ сторону теченія; а гребни подводныхъ косъ, называемыя судоходцами свальями, получаютъ очертаніе въ планѣ по кривымъ линіямъ, нормальнымъ къ тому теченію, подъ вліяніемъ коего они образовались. Явленіе это, я полагаю, всѣмъ хорошо извѣстное, даетъ вѣрное средство для распознаванія направленія теченія, по формѣ рѣчнаго дна. Пологія части береговъ и отмелей, при обнаженіи ихъ послѣ спада воды, представляютъ собою рядъ песчаныхъ выступовъ въ воду въ видѣ зубцовъ, наклоненныхъ внизъ по теченію и обращенныхъ къ рѣкѣ весьма пологими

скатами, а къ берегу — довольно крутыми уступами. Такая всюду наблюдаемая форма песчаныхъ, береговыхъ косъ съ очевидностью указываетъ, что во всякомъ потокѣ съ наноснымъ грунтомъ ложа существуетъ донное теченіе, косвенно направляющееся къ пологимъ берегамъ. Посредствомъ изслѣдованія наметкою можно прослѣдить направленіе подводнаго гребня и опредѣлить его оконечность, при чемъ оказывается, что эти песчаные валы занимаютъ иногда большую часть ширины русла, достигая до фарватера, иногда же на перевалахъ и въ особенности на перемелахъ, они пересѣкаютъ все русло; такъ что фарватеръ, въ смыслѣ мѣста расположенія сбойнаго верховаго теченія, въ такихъ мѣстахъ не существуетъ, при чемъ рѣчныя струи на поверхности воды имѣютъ расходящіяся направленія, т. е. верховое клинообразно сходящееся теченіе за-



мѣняется въ такихъ мѣстахъ доннымъ теченіемъ, вѣерообразно расходящимся по всему руслу.

Какъ было выше сказано, клинообразное сбойное теченіе къ вогнутому берегу порождаетъ своими толчками данное теченіе въ направленіи нормальномъ къ боковымъ поверхностямъ клина, такъ что донное теченіе къ берегамъ является какъ бы слѣдствіемъ верховаго къ фарватеру. Однако изслѣдованіе причинъ, производящихъ два описанныхъ теченія, указываетъ, что оба они имѣютъ свои независимыя начала.

Представимъ себѣ поперечное сѣченіе русла съ нанесенными на него линіями равныхъ скоростей, какъ это дѣлается при изображеніи результатовъ измѣренія скоростей. Эти линіи

раздѣляютъ площадь на отдѣльные слои, постепенно отступающіе отъ дна и береговъ къ фарватеру, близъ котораго располагается обыкновенно слой воды, имѣющій наибольшую скорость. Такое расположеніе скоростей теченія происходитъ, какъ извѣстно, отъ вѣдшихъ сопротивленій теченію воды, представляемыхъ главнымъ образомъ треніемъ ея объ дно и отчасти объ воздухъ. Если мысленно устранимъ верхнюю часть русла и будемъ разсматривать движеніе наиболѣе быстрого фарватернаго слоя относительно другихъ слоевъ, то въ первое мгновеніе онъ, скользя по нижнимъ слоямъ, отступить отъ плоскости разсматриваемаго сѣченія. Вслѣдъ затѣмъ для занятія мѣста удалившихся частицъ воды, устремятся всѣ частицы съ верхняго слоя воды, по всей ширинѣ вышележащей части рѣки. Хотя съ наибольшею скоростью конечно притекутъ частицы воды, расположенные въ фарватерномъ слой, тѣмъ не менѣе непремѣнно обнаружится стремленіе къ фарватерному слою со всей вышележащей водной поверхности. Такимъ образомъ сравнительно быстрое фарватерное теченіе, втягивающее въ себя воду со всего русла, и составляетъ причину уклоненія поверхностнаго теченія къ фарватеру или къ вогнутому берегу, близъ котораго оно расположено; при чемъ струи достигаютъ самаго вогнутаго берега вслѣдствіе инерціи и отчасти можетъ быть вслѣдствіе проявляющейся здѣсь центробѣжной силы. Точно также каждыя болѣе быстродвигающіеся слои и струя воды привлекаютъ къ себѣ сосѣдніе слои и струи; въ результатъ чего и получается уклоненіе сравнительно медленно двигающихся частицъ воды у береговъ къ болѣе свободно и потому быстро двигающимся частицамъ ея на фарватерѣ. Втягиваніе струй фарватернымъ теченіемъ со всего русла подобно явленію опоражниванія сосуда съ водою, посредствомъ пущенной сквозь него струи.

Для уясненія себѣ самостоятельной причины уклоненія доннаго теченія къ пологимъ берегамъ, необходимо разсмотреть расположеніе струй въ вертикальной плоскости. Извѣстно, что вѣтеръ дуетъ не параллельно земной поверхности, но подъ некоторымъ острымъ угломъ къ горизонту, достигающимъ до 15°. Зависитъ это отъ тренія воздуха о земную поверхность, отъ неровностей ея и выступающихъ надъ нею предметовъ; подобное же явленіе должно происходить и при движеніи воды. Нижніе слои ея должны задерживаться шероховатостью рѣчнаго дна и его неровностями; вышележащія слои должны обгонять нижніе и опускаться ко дну впереди ихъ, затѣмъ

они отъ удара о дно и тренія объ него также должны задерживаться и давать впереди себя мѣсто для спускающихся, еще выше лежащихъ слоевъ воды. Такимъ образомъ расположеніе струй въ вертикальной плоскости должно быть наклонное ко дну, при чемъ уголъ уклоненія отъ горизонта долженъ постепенно увеличиваться ко дну. Въ верхнихъ слояхъ должно наблюдаться нѣкоторое уклоненіе струй отъ горизонта къ поверхности воды, вслѣдствіе тренія ея о воздухъ. Такое уклоненіе струй отъ горизонтальнаго направленія сопряжено съ ударами о трущіяся поверхности, т. е. обо дно и о воздухъ, и съ потерею отъ этого запаса механической работы или живой силы струй. Потеря эта должна сопровождаться уменьшеніемъ скорости теченія, которое въ дѣйствительности и обнаруживается постепенно отъ максимальной скорости, соотвѣтствующей горизонтально направленнымъ струямъ, текущимъ на нѣкоторой незначительной глубинѣ, ко дну и къ поверхности воды. Верховое теченіе, спускаясь отъ береговъ въ глубь фарватера, направляется почти параллельно дну и выглаживаетъ его, образуя въ немъ длинныя, продольныя борозды, вслѣдствіе чего отдѣльныхъ толчковъ въ выступы дна не происходитъ и скорость донныхъ слоевъ сравнительно мало разнится отъ скорости слоевъ верхнихъ. Напротивъ, при движеніи воды съ глубокаго на мелкое мѣсто, донныя струи гораздо сильнѣе ударяются въ дно и потеря скорости должна быть соотвѣтственно значительнѣе. И дѣйствительно графическія изображенія измѣренныхъ скоростей, въ вертикальной плоскости, представляютъ выпуклыя линіи, весьма близкія къ вертикальному направленію на фарватерѣ и значительно наклоненныя на пологихъ берегахъ и перекатахъ.

Наклонное къ горизонту расположеніе струй увеличиваетъ неточность нашихъ вычисленій расходовъ воды. Точный расходъ воды можетъ получиться лишь только помноженіемъ скоростей на площади нормальныхъ къ нимъ сѣченій, а потому слѣдовало бы опредѣлять скорости въ точкахъ, находящихся на площади живаго сѣченія, изогнутаго какъ въ горизонтальномъ такъ и въ вертикальномъ направленіяхъ. Но такъ какъ отыскивать въ натурѣ мѣста расположенія такихъ точекъ весьма затруднительно и даже при колебательномъ или прерывистомъ движеніи не возможно, то слѣдуетъ, избравъ какое либо поперечное сѣченіе, измѣрять одновременно со скоростями теченій направленія струй и умножать

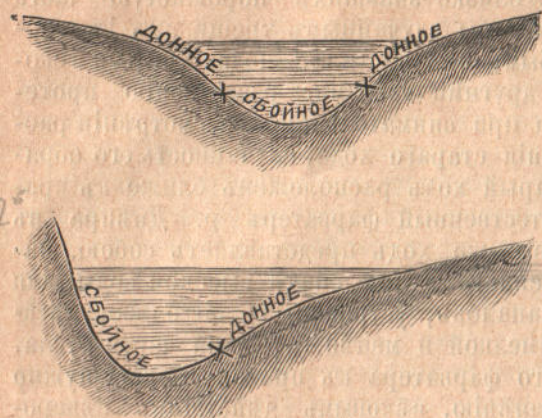
площади сѣченія не на самыя скорости, а на проекці ихъ на перпендикуляры къ плоскостямъ сѣченій. Такъ какъ ортогональныя проекці линий всегда менѣ самыхъ линий, то и истинные расходы менѣ нами измѣряемыхъ.

Наклонныя ко дну струи производятъ удары въ него, сталкиваютъ песчинки и, отражаясь ото дна кверху, приподнимаютъ ихъ и перебрасываютъ внизъ по теченію. Подобное подбрасываніе наносовъ особенно бываетъ замѣтно при большихъ скоростяхъ, проявляющихся на перекатахъ. Въ зависимости отъ неровностей рѣчного дна измѣняется сила удара воды въ него и соотвѣтственно этому каждый валикъ накиданнаго песку не простирается непрерывно поперекъ русла, но рѣчное дно представляется покрытымъ множествомъ отдѣльныхъ волнообразныхъ полосъ, гребни коихъ имѣютъ наибольшую высоту по близости своей середины, а къ краямъ понижаются и сходятъ на нѣтъ, заворачиваясь нѣсколько въ сторону теченія. Откосъ песчаныхъ валиковъ, обращенный противъ теченія бываетъ, какъ сказано выше, пологій, а противоположный — крутой. Такъ какъ верхній откосъ постепенно стирается, а нижній нарастаетъ, то валики постоянно подвигаются внизъ по теченію, при чемъ, какъ высота ихъ, такъ и длина, и расположеніе въ планѣ подвергаются постояннымъ измѣненіямъ. Измѣненія эти зависятъ оттого, что ударяющаяся въ валики вода обходитъ ихъ не только сверху, но и съ обѣихъ сторонъ, гдѣ высота гребней меньше. Такое направленіе воды, отраженной отъ валиковъ, порождаетъ теченія, уклоняющіяся кверху и въ обѣ стороны отъ валика и въ этихъ направленіяхъ, какъ показываютъ наблюденія, переносятся наносы въ большемъ количествѣ, чѣмъ черезъ его вершину. Болѣе мелкія песчинки подхватываются водою съ гребня и сбрасываются на дно въ нѣкоторомъ разстояніи отъ нижняго откоса валика образуя начало другаго валика. Вслѣдствіе указаннаго, болѣе сильнаго влеченія наносовъ въ обходъ валика, а не черезъ вершину его, вершины нижележащихъ валиковъ располагаются приблизительно противъ оконечностей выше лежащаго валика. Обыкновенно валики располагаются не на горизонтальной части дна, а по отлогостямъ береговъ. Струи, обходящія валикъ и отражающіяся отъ него кверху, съ наибольшею скоростью направляются въ ту сторону, гдѣ сопротивленіе ихъ движенію меньше; но такъ какъ главное сопротивленіе движенію струи вверхъ представляетъ вѣсь находящейся надъ струею

воды, то обходъ валика водою долженъ совершаться преимущественно въ ту сторону, гдѣ глубина надъ нимъ меньше, т. е. въ сторону берега. При каждомъ импульсѣ доннаго теченія, большее количество воды отклоняется въ сторону берега; соединеніе же массы такихъ непрерывно дѣйствующихъ импульсовъ вызываетъ постепенное уклоненіе доннаго теченія къ берегу и вѣрообразное растеканіе воды на меляхъ.

При объясненіи причинъ верховаго и доннаго теченій я признавалъ зависимость ихъ отъ формы профили поперечнаго сѣченія русла, углубленнаго на фарватерѣ и имѣющаго пологія покатости съ обоихъ или съ одного берега. Однако изъ этого не слѣдуетъ заключать, что образованіе сказанныхъ теченій обязано существованію такой профили, напротивъ формированіе профили рѣчнаго русла происходитъ исключительно подъ вліяніемъ этихъ теченій, не будь которыхъ, т. е. при паралельно-струйномъ движеніи воли, поперечныя профили были-бы близки къ трапеціямъ. Вслѣдствіе клинообразно спускающагося ко дну фарватернаго теченія, гладкое дно рѣки въ предѣлахъ этого теченія должно имѣть трехугольную форму поперечнаго сѣченія; однако вершина трехугольника рѣзко обнаруживается только въ рѣкахъ съ болѣе или менѣе постоянными расходами воды; вообще-же мѣсто расположенія въ руслѣ оси фарватернаго теченія на всѣхъ рѣкахъ измѣняется въ зависимости отъ измѣненій высоты горизонта и расхода воды. Поэтому трехугольная профиль при перемѣщеніи рѣчныхъ струй дѣлается притупленною, съ закругленною вершиною и немного выгнутыми внизъ сторонами, такъ что эта профиль по формѣ своей приближается къ очертанію параболы. Верхняя часть пологихъ береговъ, въ предѣлахъ береговаго доннаго теченія, очерчивается въ поперечныхъ сѣченіяхъ кривыми выпуклыми кверху вслѣдствіе того, что живая сила доннаго теченія, влекущая наносы съ фарватера къ берегу, постепенно ослабѣваетъ, причѣмъ крутизна откоса, на которую могутъ быть вкатываемы частицы песку, должна постепенно уменьшаться, т. е. откосъ долженъ дѣлаться постепенно болѣе пологимъ. Такимъ образомъ, по подводному очертанію поперечной профили можно приблизительно опредѣлять границу между расположеніемъ сбойнаго и растекающагося теченій, которая должна лежать близъ мѣста перегиба, гдѣ вогнутая часть профили переходитъ въ выпуклую кверху очертаніе ея. При перемѣщеніи фарватера отъ одного

берега къ другому на перегибахъ русла, поперечная профиль его можетъ получить всевозможные неправильные изгибы.



Какимъ образомъ текущая вода вырабатываетъ профиль русла, свойственную своему движению съ двумя характерными теченіями, фарватернымъ и береговымъ, можно наблюдать въ миниатюрѣ на потокахъ дождевой воды, по легко размываемому грунту. Даже на ровныхъ частяхъ земной поверхности

всегда есть нѣсколько пониженныя мѣста, по коимъ и направляется потокъ воды, разливаясь сначала на сравнительно значительную ширину. Тамъ, гдѣ толщина разливагося тонкаго слоя воды больше, обнаруживается и большая скорость верхнихъ слоевъ воды, благодаря меньшему вліянію на нихъ сопротивленія, происходящаго отъ тренія и прилипанія къ поверхности земли. Такимъ образомъ неминуемо является ускоренное движеніе воды, которое притягиваетъ къ себѣ струи съ сосѣднихъ частей разливагося слоя воды, размываетъ подъ собою грунтъ и производитъ углубленіе лежащей подъ сбойнымъ теченіемъ части своего ложа. Одновременно съ этимъ, отъ толчковъ воды, устремляющейся по направленію къ болѣе быстрой ея струѣ, является и донное теченіе къ берегамъ. Сбойное теченіе вырываетъ гладкія продольныя ложбины, особенно глубокія въ своихъ изгибахъ, а донное теченіе вырытый грунтъ разбрасываетъ на пологихъ берегахъ и уширеніяхъ русла, въ видѣ рябовато волнистой, или гребенчатой поверхности. Въ весьма короткое время появляется русло съ плесами и перемелами, кои ясно можно различать послѣ обсыханія грунта.

Вода, согласно законамъ своего теченія, приспособляетъ себѣ русло не только въ рыхлыхъ и сыпучихъ грунтахъ, но также въ твердыхъ и скалистыхъ, примѣръ чему представляютъ Дибровскіе пороги. Старый или, такъ называемый, казакскій ходъ, по которому направляется весенній сплавъ,

расположенъ ^{то}наиболѣе глубокимъ частямъ каменистаго русла. Происхожденіемъ своимъ, какъ миѣ приходилось слышать отъ людей, даже близко знавшихъ порожистую часть рѣки, онъ обязанъ будто бы случайнымъ трещинамъ въ горныхъ породахъ и слабымъ ихъ частямъ, подвергшимся скорому сравнительно съ другими частями, разрушенію протекавшею водою. Однако при внимательномъ разсмотрѣніи расположенія и направленія стараго хода, случайность его образования исчезаетъ. Старый ходъ расположенъ ближе къ правому берегу и есть естественный фарватеръ р. Днѣпра въ порожистой части, новый-же ходъ представляетъ собою направленіе, избранное сплавомъ при спадѣ высокой воды, для входа и выхода изъ каналовъ, устроенныхъ по близости лѣваго берега въ болѣе мелкой и менѣ бурливой части русла. Уклоненіе естественнаго фарватера къ правому берегу нужно приписать, по моему мнѣнію, вѣковымъ дѣйствіямъ сѣверо-восточныхъ вѣтровъ, направляющихъ осенній ледоходъ къ западному, т. е. правому берегу рѣки. Въ одномъ изъ прежнихъ докладовъ я приводилъ доказательства тому, что крутизна праваго берега рѣкъ, текущихъ на Югъ, обязана своимъ происхожденіемъ не вращенію земли, а вліянію господствующихъ вѣтровъ, въ особенности-же вѣтровъ, дующихъ при осеннемъ ледоходѣ. Значительныя пониженія температуры въ нашемъ климатѣ, вызывающія появленіе на рѣкѣ льда, обнаруживаются только при сѣверныхъ и восточныхъ вѣтрахъ. Рѣжущая сила осенняго ледохода настолько велика, что въ теченіи нѣсколькихъ часовъ бываетъ въ состояніи перерѣзывать шестивершковыя бревна, что миѣ приходилось наблюдать при охранѣ корчеподъемнаго каравана, застигнутаго однажды на рѣкѣ внезапно начавшимся ледоходомъ. Между тѣмъ теченіе воды само по себѣ не оказываетъ на деревянныя части почти никакого истирающаго дѣйствія. Такимъ образомъ крутизну праваго берега въ порогахъ и приближеніе къ нему стараго хода слѣдуетъ приписать не случайнымъ причинамъ, а почти исключительно дѣйствію сѣверо-восточныхъ вѣтровъ. Скалистое дно пороговъ залегаетъ на глубинѣ почти достаточной для сплава даже при меженнемъ горизонтѣ; препятствія-же сплаву образуютъ выступы дна въ видѣ камней, группирующихся въ прямыя линіи, расположенныя поперекъ русла и называемыя лавами. Черезъ эти лавы старый ходъ направляется по наиболѣе углубленнымъ мѣстамъ, свободнымъ отъ высоко выступающихъ камней. Если

бы такія пониженныя мѣста имѣли случайное происхожденіе, то старыи ходъ въ порогахъ имѣлъ-бы извилистое направленіе, изгибаясь при переходѣ съ одной лавы на другую; на самомъ же дѣлѣ оказывается, что этотъ ходъ располагается прямолинейно и перпендикулярно къ параллельнымъ между собою направленьямъ лавъ. Невозможно допустить случайнаго на всѣхъ порогахъ пониженія лавъ въ одномъ перпендикулярномъ къ нимъ направленіи: а поэтому необходимо признать, что углубленіе и естественная расчистка лавъ произведены самою водою по направленью ея фарватернаго теченія. Втягивающая сила сбойнаго теченія, не смотря на узкость фарватера (всего отъ 20 до 50 саж. при 300 саж. ширинѣ русла), на столько велика, что судно, пущенное на нѣкоторомъ разстояніи отъ порога, само собою въ тихую погоду направляются силою теченія къ старому ходу и войдя въ него, увлекается сбойнымъ теченіемъ черезъ всѣ лавы, по пониженнымъ мѣстамъ; при чемъ для правильнаго управленія судномъ нужно заботиться только о томъ, чтобы оно не было повернуто какою либо боковою струею, и поэтому необходимо крѣпко удерживать служащую вмѣсто руля, длинную пѣтесъ, составленную изъ нѣсколькихъ бревенъ. Не будь описаннаго сбойнаго теченія къ фарватеру, сплавъ въ порожистой части былъ-бы не мыслимъ.

При вѣтрѣ суда черезъ пороги вовсе не сплавляются, ибо искусственно попасть на узкій старыи ходъ крайне затруднительно, да и удержаться на немъ при боковомъ вѣтрѣ не возможно. Кромѣ того опасности въ порогахъ представляются перепадами воды, которые гнутъ корпусъ судна и не рѣдко настолько его ломаютъ, что судно сейчасъ-же заливадается водою; по выходѣ же изъ пороговъ, на сравнительно тихой водѣ, требуется знаніе и умѣлость направлять быстро несущееся по инерціи судно въ обходъ отдѣльныхъ камней.

Еще бѣльшее подтвержденіе тому, что сама вода вырабатываетъ даже въ скалистомъ грунтѣ свойственное своему теченію русло, представляетъ Ненасытецкій порогъ. Лавы въ немъ расположены не параллельно одна другой, но имѣютъ вѣерообразно расходящіяся отъ праваго берега направленія. Вода переходя съ наибольшею скоростью всякое препятствіе своему движенію, по направленью нормальному къ его гребню, выработала себѣ углубленный ходъ черезъ этотъ порогъ въ криволинейномъ, почти нормальномъ ко всѣмъ лавамъ, направленіи. Если бы углубленныя мѣста на лавкахъ были рас-

положены по окружности круга, то такое ихъ расположеніе не вполнѣ-бы соотвѣтствовало законамъ теченія воды, имѣющей свойство уклоняться вслѣдствіе центробѣжной силы; но разстоянія отъ праваго берега до стараго хода, считая по лавамъ, постепенно сверху внизъ увеличиваются, такъ что очертаніе стараго хода на Ненасытецкомъ порогѣ имѣетъ сходство со спиральною линіею, и потому не можетъ быть сомнѣнія въ томъ, что старый ходъ есть дѣйствительно естественный фарватеръ рѣки, выработанный ею согласно вышеуказаннымъ законамъ расположенія теченій въ рѣчномъ потокѣ.

И такъ въ руслахъ рѣкъ существуютъ два теченія: одно верховое, сбойное, сходящееся, клинообразное, которое, спускаясь на фарватерѣ до дна, дѣлаетъ въ немъ продольныя, гладкія углубленія и по своему дѣйствию можетъ быть уподоблено плугу, прорѣзывающему въ днѣ продольную борозду и отворачивающему на сторону взрываемаго грунта; другое теченіе донное, расходящееся, вѣерообразное, уклоняющееся постепенно отъ направленія сбойнаго по фарватеру, къ почти нормальному направленію къ берегамъ. Дѣйствіемъ доннаго теченія грунтъ, вырытый на фарватерѣ и размытый изъ вогнутаго берега, складывается на пологія отмели и по нимъ катится перебрасываемый зигзагами въ косыхъ направленіяхъ, по поверхностямъ песчаныхъ валиковъ.

Если бы мы могли прослѣдить движеніе какой либо отдѣльной частицы воды, то на первый взглядъ оно бы показалось намъ весьма неправильнымъ, въ особенности благодаря побочнымъ и какъ бы случайнымъ отклоненіямъ отъ нормальнаго пути, вслѣдствіе отдѣльныхъ выступовъ въ берегахъ и днѣ, образовавшихся подъ вліяніемъ постоянно измѣняющагося количества протекающей воды. Частица воды, находящаяся въ поверхностномъ слое, въ недалекомъ разстояніи отъ берега, направляется косвенно къ фарватеру, достигая коего, постепенно спускается внизъ, проносится надъ дномъ почти параллельно ему, затѣмъ она мало по малу уклоняется въ сторону и, вступая въ сферу доннаго теченія, начинаетъ ударяться въ дно пологого берега, теряя при этомъ пріобрѣтенную при движеніи по фарватеру, живую силу. При этомъ она то отражается къ верху, то вновь ударяется въ дно и такъ далѣе движется; постепенно отклоняясь къ берегу, пока не попадетъ въ верхнія слои воды, съ коими вновь начинаетъ спускаться, направляясь къ фарватеру. Чѣмъ круче поворотъ вогнутаго берега, тѣмъ быстрѣе происходитъ опусканіе во-

дяной частицы изъ верхнихъ слоевъ ко дну, тѣмъ болѣе живая сила, приобрѣтаемая этого частицею, при ея движеніи, и тѣмъ больше размывъ дна; поэтому глубина въ плесахъ обратно пропорціональна радіусу кривизны; поэтому-же мѣсто расположенія наибольшихъ глубинъ не находится непосредственно противъ наиболѣе кривой части вогнутаго берега, но нѣсколько ниже по теченію, тамъ гдѣ частицы воды, имѣющія наибольшія живыя силы, достигаютъ поверхности рѣчнаго дна. Такимъ образомъ происходитъ постоянное перемѣшиваніе частицъ воды, безъ коего, т. е. при параллельномъ направленіи струекъ нельзя бы было объяснить довольно быстрого перемѣшиванія мутной или окрашенной воды притоковъ съ водою рѣки, въ которую они впадаютъ.

На фарватерѣ направляется сбойное верховое теченіе, образовавшееся изъ доннаго, послѣ оставленія имъ наносовъ; поэтому это верховое теченіе представляетъ собою чистую воду, не могущую производить отложеній на фарватерѣ. Если сила сбойнаго теченія на столько велика, что оно размываетъ вогнутые берега, то этой же силы достаточно для того чтобы пронести вымытый грунтъ по фарватеру и не засоряя его, обратясь въ донное теченіе, сложить этотъ грунтъ на косы и отлогости береговъ. Затѣмъ освободившись отъ наносовъ, донное теченіе достигаетъ поверхности воды и, обратясь въ верховое, въ чистомъ видѣ вновь скатывается къ фарватеру. Благодаря такому расположенію теченій фарватеръ никогда, за исключеніемъ случайныхъ причинъ, не подвергается занесенію песчанымъ грунтомъ, который можетъ на него надвигаться только сверху, спускаясь въ видѣ косъ. Только при низкихъ горизонтахъ, когда поперечныя сѣченія рѣки въ плесахъ дѣлаются чрезмѣрно велики для уменьшившагося расхода воды, дно плесовъ можетъ подвергаться занесенію тонкимъ слоемъ ила, отлагающагося отъ осѣданія частицъ перегнойнъ медленно двигающейся въ это время по плесамъ воды.

Такимъ образомъ глубина и устойчивость или неизмѣняемость очертанія дна въ плесахъ обязаны сбойному направленію на нихъ теченія воды; а потому въ интересахъ судоходства, выправленіе рѣкъ должно стремиться достигнуть установленія такого теченія на всемъ ихъ протяженіи. При этомъ не слѣдуетъ упускать изъ виду, что для достиженія сбоя воды необходимо допускать и свободное растеканіе ей доннымъ теченіемъ по косамъ и пологимъ скатамъ береговъ имѣя въ виду, что донное теченіе только при равномерномъ

своемъ растеканіи, обращаясь въ верховое теченіе, можетъ равномернѣо снабжать фарватеръ струями сбойнаго теченія.

Сходящееся теченіе направляется къ вогнутымъ берегамъ не вслѣдствіе центробѣжной силы, такъ какъ нерѣдко приходится видѣть, что и въ естественномъ руслѣ и еще чаще на выправленныхъ частяхъ рѣкъ прекрасный фарватеръ, выходя изъ подъ вогнутаго берега, располагается иногда на значительную длину и вдоль выпуклаго берега служащаго продолженіемъ вогнутому. Сбойное теченіе у вогнутыхъ береговъ обязано исключительно тому, что вогнутый берегъ, постепенно поворачивающійся въ сторону русла, постоянно встрѣчаетъ фарватерное теченіе, которое, отъ него отклоняясь пересѣкаетъ новыя струи, притекающія къ вогнутому берегу и вслѣдствіе претерпѣваемаго отъ нихъ, гидравлическаго давленія, опускается внизъ, устремляясь на размывъ рѣчнаго дна. Въ то же время донное теченіе по выпуклому берегу, переходя въ верховое, непрерывно снабжаетъ русло новыми струями, направляющимися на фарватеръ. Такимъ образомъ для поддержанія сбойнаго теченія необходимо только, чтобы вогнутый берегъ имѣлъ кривизну достаточную для постояннаго пересѣченія съ направленіемъ притекающихъ къ нему, верховыхъ струй сбойнаго теченія. Этому назначенію можетъ удовлетворять не только вогнутый, но даже выпуклый берегъ, конечно только на сравнительно короткомъ протяженіи, при чемъ выпуклость берега для встрѣчи притекающихъ струй должна быть значительно выдвинута въ русло и обращена по возможности противъ теченія. Поэтому чѣмъ болѣе развиты выпуклости, составляющія оконечности вогнутыхъ береговъ, тѣмъ сильнѣе онѣ удерживаютъ около себя сбой воды.

Правило это я провѣрялъ на планахъ всего протяженія р.р. Днѣпра и Припяти и вездѣ оказалось, что чѣмъ дальше выступаютъ въ русло верхнія части выпуклыхъ береговъ т. е. чѣмъ круче они отворачиваютъ воду къ вогнутостямъ противоположныхъ береговъ, тѣмъ больше бываетъ глубина на перевалахъ.

Въ естественныхъ, неукрѣпленныхъ руслахъ весеннее теченіе, направляющееся со значительною скоростью черезъ косы, образуетъ нерѣдко у выпуклостей сбойныя струи, которыя размываютъ берега и дѣлаютъ на песчаныхъ косахъ по близости береговъ продольныя вымоины, имѣющія форму заливовъ или озеръ. Подобный размывъ выпуклаго берега всегда сопровождается уменьшеніемъ глубины на перевалѣ, который

съ теченіемъ времени нерѣдко обращается въ затрудняющій судоходство перемель.

Съ того пункта, съ котораго вогнутый берегъ перестаетъ пересѣкать приливающія струи верховаго теченія, начинается ослабленіе сбоя воды, сопровождающееся уменьшеніемъ глубинъ на фарватерѣ. Затѣмъ по мѣрѣ отступанія берега отъ общаго направленія русла, уменьшается уголъ схождения струй и наконецъ струи, вмѣсто того что бы сходились къ фарватеру, начинаютъ растекаться въ разныя стороны. Въ этомъ мѣстѣ гладкая продольная вымоина дна замѣняется волнообразною поверхностью съ постепенно уменьшающимися глубинами; фарватеръ, какъ мѣсто сходящихся струй, прекращается и мѣлкое донное теченіе выходитъ на поверхность воды.

Описанныя характерныя явленія схождения струй верховаго теченія на плесѣ и начала расхожденія ихъ близъ мѣста перегиба русла можно прослѣдить на планѣ № VIII листы 5-й и 6-й, на которомъ представленъ разливъ Днѣпра между Кіевомъ и цѣпнымъ мостомъ, снятый весною прошлаго 1892 года. До производства выправительныхъ работъ рѣчныя струи отъ оконечности праваго вогнутаго берега, близъ профили № 5, отклонялись влѣво и около устья залива „Старикъ“ раздѣлялись по двумъ рукавамъ, изъ коихъ одинъ шелъ вправо, подъ лѣвыя слабыя опоры цѣпнаго моста, а другой—влѣво, въ боковыя мостовыя отверстія, перекрытыя деревянными подкосными мостами, общее протяженіе коихъ простиралось до 424 саж., при длинѣ цѣпнаго моста всего въ 335 саж. Эти боковые мосты неоднократно подмывались и даже сносились усиливавшимся постепенно къ нимъ и неблагоприятно расположеннымъ относительно ихъ теченіемъ высокихъ весеннихъ водъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ правая сторона русла подъ цѣпнымъ мостомъ постепенно закрывалась сплошнымъ отложеніемъ песчаныхъ наносовъ, а вымоины дна у лѣвыхъ опоръ увеличивались. Въ настоящее время, благодаря засыпкѣ двухъ боковыхъ мостовыхъ отверстій и части третьяго, оставшееся протяженіе крайняго, такъ называемаго Русановскаго моста, сужено до 100 саж., а дно подъ нимъ посредствомъ отсыпей земли, укрѣпленной тюфяками, тяжелыми фашинами и каменными набросками, поднято до высоты меженнаго горизонта. Начатое съ 1884 года запруженіе меженнаго теченія по боковымъ рукавамъ и болѣе выгодное направленіе какъ меженныхъ, такъ отчасти и весеннихъ водъ, достигнутое прорытіемъ каналовъ и постройкою выправительныхъ сооружений, измѣнило

въ значительной степени прежнее расположение рѣчныхъ струй и дало имъ сравнительно правильное направле-
ніе, которое и показано на этомъ планѣ. На части
русла между профилями 1 и 4 мы видимъ сбойное
схожденіе всѣхъ струй къ оконечности праваго вогнутаго
берега, при чемъ струи эти имѣютъ начало изъ доннаго
теченія, растекшагося къ лѣвому выпуклому берегу, противъ
полузапрудь № 15 и № 16. Назначеніе этихъ полузапрудь
защищать берегъ отъ размыва весенними водами, такъ какъ,
донное теченіе при высокихъ горизонтахъ достигаетъ лѣваго
берега и образуетъ вдоль него сбойныя струи. Подобное же
явленіе хотя и въ слабой степени замѣтно и въ настоящее
время между указанными профилями, гдѣ струи № XI и № XII
направляются около самого берега, при чемъ поплавокъ
№ XI оборачивается, какъ обозначено на планѣ стрѣлками,
въ сторону берега, указывая этимъ, что справа отъ него,
т. е. со стороны русла теченіе медленнѣе, чѣмъ слѣва, т. е.
со стороны берега. Проранъ въ лѣвомъ берегѣ, по которому
часть весенней воды направлялась изъ главнаго русла въ
заливъ „Старикъ“, оттягивалъ часть струй отъ сбойнаго
фарватернаго теченія, но на фарватерѣ сбой струй усили-
вался всетаки до профили 6-й, благодаря искусственно
выдвинутому въ русло выпуклому выступу праваго берега.
Затѣмъ при постепенномъ отступленіи праваго берега къ
разводной части цѣпнаго моста, сбойное теченіе ослабѣвало,
струи расходились; въ особенности же сильно обнаружива-
лось расхожденіе струй противъ оконечности лѣвой струе-
направляющей плотины, изъ чего можно заключить о важ-
номъ ея вліяніи на отклоненіе теченія подъ правую часть
моста, на которой опоры имѣютъ болѣе солидное и обезпе-
ченное отъ подмывовъ положеніе. Тѣмъ не менѣе до постройки
полузапрудь у праваго берега, отражавшіяся отъ него, рѣч-
ныя струи перегибались гораздо сильнѣе къ оконечности
плотины и направлялись преимущественно подъ лѣвую по-
ловину моста. Полузапруды, увеличивъ выпуклость праваго
берега, усилили около него сбойное теченіе, что также
можетъ служить нагляднымъ доказательствомъ сравнительно
незначительнаго вліянія центробѣжной силы на расположеніе
рѣчныхъ теченій.

• При опредѣленіи скоростей теченія весною 1892 г. по-
средствомъ вертушки Амслера, масса песку, передвигавшагося
подъ правую половиною моста, не рѣдко засоряла вертушку

и дѣлала измѣренія затруднительными; между тѣмъ какъ по близости быка № 3-й, гдѣ расположено сбойное фарватерное теченіе, вода была чиста и при скоростяхъ на днѣ большихъ, чѣмъ подъ правую сторону моста, затрудненій при работѣ вертушкою не представлялось. Такимъ образомъ, до сего времени донное теченіе располагается подъ правую половину моста и для передвиженія туда сбойнаго или фарватернаго теченія необходимы новыя исправительныя сооруженія. Проектъ на эти работы уже составленъ и заключается въ устройствѣ у лѣваго берега полузапрудъ ниже моста и донныхъ полузапрудъ выше него; однако-же приведеніе въ исполненіе этой мѣры должно быть сопряжено съ крайнею постепенностью, дабы не затруднить свободный пропускъ подъ мостомъ весенней воды и не вызвать образованія мѣстныхъ глубокихъ вымоинъ по близости мостовыхъ опоръ.

При прекращеніи сходящагося или сбойнаго расположенія струй, донныя вѣерообразно расположенныя струи достигаютъ поверхности воды, и тогда она представляется какъ бы кипящею, вслѣдствіе мѣстныхъ импульсивныхъ поднятій струй, ударившихся обо дно и отъ него отразившихся. Передвиженіе наносовъ происходитъ порывами и не прямо внизъ по теченію, но, какъ было выше описано, зигзагами, въ косвенныхъ направленіяхъ къ гребнямъ песчаныхъ валиковъ. Одни валики стираются и замѣняются другими, ниже ихъ лежащими и такимъ образомъ совершается поступательное движеніе наносовъ, вслѣдствіе чего и гребень косы или свалье подвигается внизъ по теченію. Если бы вода, скатывающаяся съ косы, далѣе не встрѣчала преграды своему теченію, поступательное движеніе ея гребня происходило бы непрерывно, какъ это и обнаруживается въ морскихъ дельтахъ; въ рѣчныхъ же руслахъ подобнаго явленія, т. е. безпредѣльнаго спусканія косы быть не можетъ, такъ какъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ свалье вода встрѣчаетъ берегъ рѣки, который и препятствуетъ дальнѣйшему надвиганію косы. Каждая подводная коса на перевалѣ соединяется съ обоими берегами, при чемъ мѣсто касанія ея съ берегомъ, оставляемымъ водою всегда лежитъ гораздо ниже мѣста касанія косы съ берегомъ, встрѣчающимъ теченіе воды (см. черт. 3 листа 1-го). Такъ на примѣръ, на представляемомъ планѣ перевала воды отъ праваго берега къ лѣвому, пунктъ А— мѣсто касанія свалье съ лѣвымъ берегомъ лежитъ гораздо выше пункта В— мѣста касанія ея съ надводною косою пра-

ваго берега. Вода, переливающаяся черезъ свалье близъ пункта А, ударяется въ берегъ и, отражаясь отъ него, встрѣчается съ другими сосѣдными струями, при чемъ образуется сбой воды, который отъ постепеннаго прилива струй справа, усиливается, слѣдуя вдоль вогнутаго берега. Этотъ сбой воды подмываетъ оконечность подводной косы и не позволяетъ ей спускаться ниже извѣстнаго предѣла, зависящаго отъ силы сбоя. Вслѣдствіе постепеннаго увеличенія массы сходящихся струй, сила ихъ взаимныхъ ударовъ, внизъ по теченію воды, возрастаетъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается и разстояніе отъ свальи до вогнутаго берега. Несмотря на преграду, представляемую берегомъ спусканію косы, извѣстно, что подводныя косы, по мѣрѣ спада воды, надвигаются внизъ по теченію. Явленіе это происходитъ по двумъ причинамъ: во-первыхъ, вслѣдствіе размывовъ вогнутыхъ береговъ и во-вторыхъ, главнымъ образомъ, отъ уменьшенія силы сбоя при уменьшеніи расхода воды въ рѣкѣ.

Если очертаніе лѣваго берега имѣетъ крутой и длинный изгибъ, могущій образовать сбойное вдоль себя теченіе воды, какъ показано на планѣ, то ниже перевала располагается плесь. Если же недостаточно развитая кривизна вогнутаго берега не способна удержать около себя сбоя, то произойдетъ растеканіе воды вправо. Растекшаяся вода, въ случаѣ отдаленности праваго берега, прежде чѣмъ достигнуть его, сливается по его отлогостямъ и, не встрѣтивъ препятствія свободному растеканію въ разныя стороны, образуетъ новыя подводныя косы, всегда расположенныя въ косвенныхъ одна къ другой направленіяхъ. Вслѣдствіе такихъ уклоненій теченія въ разныя стороны обнаруживается раздѣленіе рѣки сначала на отдѣльные протоки, которыя за тѣмъ иногда обращаются въ самостоятельныя рукава. Чѣмъ шире русло рѣки, тѣмъ легче образованіе новыхъ протоковъ, а чѣмъ шире разливъ, тѣмъ легче развитіе этихъ протоковъ и обращеніе ихъ въ рукава. Такими стремленіями къ раздѣленію русла на рукава обладаютъ вообще луговыя рѣки, между тѣмъ какъ рѣки съ высокими, незатопляемыми берегами обладаютъ свойствами раздѣленія только на два рукава, при чемъ подобныя явленія замѣчаются въ уширеніяхъ русла, какъ показано на чертежѣ 4-мъ. Вслѣдствіе растеканія воды въ началѣ уширенія русла, когда это уширеніе еще не достигло размѣровъ, изображенныхъ на планѣ, отлагается подводная коса, которая при прямолинейномъ руслѣ располагается въ

видѣ слабо выпуклой внизъ по теченію линіи, почти нормальной къ берегамъ. Выпуклость эта постоянно увеличивается вмѣстѣ съ размывомъ береговъ, производимымъ сливающейся съ косы водою. По мѣрѣ удлиненія косы и пониженія горизонта воды, направленіе стекающихъ струй приближается къ нормальному къ берегамъ, вслѣдствіе чего размывъ ихъ и уширеніе русла увеличиваются. Весенняя вода, надвигаясь съ большею силою инерціи на среднюю часть косы, натираетъ на ея оконечность массу наносовъ, образующихъ современемъ островъ, коего высота увеличивается отъ верхней къ нижней оконечности. Характерное отличіе такого перемела отъ перемела въ луговой рѣкѣ, изображеннаго на чертежѣ 3, заключается въ томъ, что первый изъ нихъ состоитъ почти всегда изъ двухъ подводныхъ косъ, расположенныхъ одна въ началѣ каждаго рукава, а другая въ концѣ; второй-же въ простомъ видѣ состоитъ изъ одной подводной косы, а въ случаяхъ усложненныхъ неправильными очертанія береговъ, — изъ неопредѣленнаго числа надвигающихся одна на другую, подводныхъ косъ.

Сила сбоя ^{сх} пропорціональна живой силѣ двигающей воды, и потому сходящееся расположеніе струй можетъ удерживаться у мало вогнутаго и даже у выпуклаго берега при расходѣ весенней воды, когда струи ея разливаются по всѣмъ песчанымъ отмелямъ и даже заходятъ на берега. По спадѣ весенней воды, сбойное теченіе ея ограничивается вогнутыми частями береговъ и затѣмъ при постепенномъ пониженіи горизонта требуется все большая и большая вогнутость берега, чтобы удержать у него осевую линію направляющагося по фарватеру, сбойнаго теченія. Такъ какъ вогнутость переходитъ въ выпуклость не сразу, то по мѣрѣ уменьшенія вогнутости берега, при пониженіи горизонта воды, мѣсто прекращенія сбойнаго ея движенія и отклоненія струй отъ берега постепенно передвигается все выше и выше, считая по теченію. Вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается перегибъ струй къ противоположному берегу, вслѣдствіе чего и наиболѣе глубокое мѣсто на свалѣ передвигается по ней также противъ теченія, если при этомъ не происходитъ какихъ либо усложненій; зависящихъ напр., отъ посадки на мель перегруженныхъ судовъ или плотовъ. Появляющіяся при этомъ на свалѣ мѣстныя, случайныя возвышенія могутъ послужить къ дальнѣйшему раздѣленію и расхожденію струй и даже къ образованію отдѣльныхъ протоковъ. На планѣ (черт. № 3)

показано расположение шести пунктирныхъ линий, обозначающихъ осевыя направленія сбойныхъ теченій на плесахъ и мѣста расположенія наибольшихъ глубинъ на перекатахъ. Цифры, надписанныя на нихъ отъ I до VI соотвѣтствуютъ постепенному пониженію горизонта воды отъ самаго высокаго до самаго низкаго.

На основаніи нижеизложенныхъ соображеній, подтверждающихся разсмотрѣніемъ данныхъ, полученныхъ непосредственными измѣреніями, составлены изображенныя на чертежѣ № 3 листа 1-го шесть продольныхъ профилей зеркала воды, по направленію указанныхъ пунктирныхъ осевыхъ линий, соотвѣтствующихъ постепенно понижающимся горизонтамъ воды.

Увеличеніе поверхностной скорости теченія и продольнаго уклона воды обусловливается увеличеніемъ расходимости струй, т. е. растеканія воды въ уширеніяхъ русла. При весеннемъ горизонтѣ, когда песчаныя косы залиты водою, наиболѣе суженными мѣстами оказываются среднія части плесовъ, которыя и образуютъ подпоръ распространяющійся кверху, постепенно уменьшаясь, до оконечностей перемеловъ. Расхожденіе весеннихъ струй начинается съ того мѣста, гдѣ разстояніе между гребнями береговъ начинаетъ увеличиваться и приблизительно около тѣхъ пунктовъ, въ которыхъ прекращается вогнутость берега (пунктъ В на планѣ). Расхожденіе весеннихъ струй вызываетъ пониженіе горизонта воды выше перемела, которое, распространяясь нѣсколько вверхъ по теченію, увеличиваетъ уклонъ даже на нижней половинѣ плеса. Схожденіе растекшихся весеннихъ струй, зависящее отъ сближенія гребней береговъ, начинается приблизительно около середины перемела. Происходящее вслѣдствіе этого уменьшеніе уклона, распространяясь въ слабой степени по всему перемелу, увеличивается постепенно внизъ по теченію, до середины плеса. Образующаяся такимъ образомъ продольная профиль имѣетъ на перемелѣ очертаніе вогнутое внизъ.

Послѣ спада высокой весенней воды и обсыханія песчаныхъ косъ теченіе воды встрѣчаетъ препятствіе отъ песчаныхъ донныхъ загражденій, насыпанныхъ на верхней половинѣ перемела растекавшимися здѣсь весенними струями. Песчаные наносы съ верхней части перемела постепенно стираются доннымъ теченіемъ и натираются на нижнюю часть перемела, на которую вмѣстѣ съ тѣмъ передвигается и на ней сосредоточивается усиленное паденіе воды. Вслѣдствіе обсыханія песчаныхъ отложеній, мѣсто раздѣленія струй спускается ниже,

чѣмъ было при весеннемъ горизонтѣ; поэтому уклонъ на нижней части плеса и на верхней части перемела уменьшается. Уменьшеніе уклона въ этомъ мѣстѣ происходитъ также и вслѣдствіе подпора воды, постепенно усиливающагося отъ накопленія наносовъ на нижней части перемела. На самомъ перемелѣ и въ особенности надъ свальемъ обнаруживается сильный перепадъ воды, крутизна коего увеличивается съ пониженіемъ горизонта, а мѣсто расположенія этого перепада на продольной профили, въ зависимости отъ вышеизложенныхъ причинъ, подвигается противъ теченія. Такимъ образомъ, по мѣрѣ спада воды, продольная профиль на перемелахъ изъ вогнутой постепенно переходитъ въ выпуклую. Мѣсто расположенія наибольшаго уклона рѣзко измѣняется послѣ обсыханія косъ, а именно: оно сразу переходитъ съ нижней части плеса на нижнюю часть перемела, а затѣмъ при дальнѣйшемъ пониженіи горизонта воды оно передвигается вверхъ по теченію въ предѣлахъ, ограниченныхъ длиною свалья, т. е. гребня подводной косы.

Какъ уже сказано, отложеніе наносовъ на перемелѣ происходитъ при весеннемъ, растекающемся по косамъ, теченіи воды. Это отложеніе начинаетъ уменьшаться по мѣрѣ пониженія горизонта воды, въ зависимости отъ обнаженія песчаныхъ косъ, которыя, отклоняя струи къ серединѣ русла, производятъ суженіе угла ихъ расходимости. Въ началѣ разсматриваемаго явленія, когда большое количество воды имѣетъ силу еще достаточную для передвиженія значительныхъ массъ песка, таковыя надвигаются съ верхней части перемела, по направленію наибольшихъ скоростей, на нижнюю часть свалья (на нашемъ чертежѣ, у правато берега, близъ пункта Б). Наростаніе гребня подводной косы въ указанномъ мѣстѣ служитъ къ отклоненію воды въ другомъ направленіи (влѣво), содѣйствуя съ одной стороны искривленію фарватера, а съ другой стороны его углубленію и прорѣзыванію верхней по теченію части свалья. Этой причинѣ нужно приписать всѣмъ извѣстное явленіе углубленія переваловъ съ пониженіемъ горизонта воды.

Изслѣдовавъ расположеніе рѣчныхъ теченій, зависящее отъ очертанія гребней береговъ и съ своей стороны вліяющее на форму рѣчнаго дна, мы можемъ съ опредѣленностью избрать такое очертаніе береговъ, которое наилучшимъ образомъ можетъ удовлетворить требованію судоходства — имѣти глубокой и постоянный фарватеръ.

Мы уже видѣли, что для сохраненія фарватернаго сбойнаго теченія вогнутаго берега, сей послѣдній долженъ имѣть плавную и достаточно развитую кривизну. Поэтому удовлетворяющія такому условію, части естественныхъ береговъ должны быть укрѣпляемы обдѣлками, выступы же—срѣзаны или предоставлены размыву теченіемъ, а впадины—маскированы продольными плотинами, связанными съ берегомъ поперечными траверсами, которые имѣютъ назначеніе не позволять струямъ высокой воды, переливающимся черезъ плотину, образовать за нею сбойное теченіе, способное производить размывъ берега и увеличеніе размѣровъ его впадинъ.

На перегибахъ русла, какъ было сказано выше, не существуетъ фарватернаго сходящагося теченія, на нихъ нѣтъ даже, можно сказать, и береговъ, ибо въ такихъ мѣстахъ русло, располагаясь почти нормально къ гребнямъ береговъ, ограничено съ одной стороны нижележащею, съ другой — вышележащею частями рѣки. Для того, чтобы на перегибѣ образовать въ рѣчномъ днѣ достаточно глубокую и устойчивую продольную ложбину, необходимо достигнуть на немъ сбойнаго теченія, а для этого на основаніи изложенныхъ соображеній, нужно создать искусственный берегъ, направленіе коего должно постоянно пересѣкать притекающія струи, а потому расположеніе берега должно быть проектировано такъ, чтобы линіи касательныя къ его очертанію, въ каждой его точкѣ составляли бы острые углы съ направленіемъ притекающихъ струй сбойнаго теченія. Проектируемому берегу слѣдуетъ давать по возможности вогнутое очертаніе, но онъ можетъ имѣть и нѣкоторую выпуклость въ томъ мѣстѣ, гдѣ выступая значительно въ рѣчное русло, пересѣкаетъ направленіе притекающихъ струй. Искусственный берегъ долженъ имѣть такое протяженіе, чтобы ведомое имъ сбойное теченіе, при самомъ низкомъ горизонтѣ не растекшись, могло достигнуть вогнутости противоположнаго берега въ той части его, гдѣ сливающаяся со свалья вода успѣла уже образовать сбойное теченіе. Такъ какъ оконечность искусственнаго берега предназначается для направленія струй при самомъ низкомъ горизонтѣ, то высота берега въ этомъ мѣстѣ должна быть дѣлаема по возможности ниже, дабы не вызывать излишняго подпора высокой воды. Корень искусственнаго берега долженъ быть заложенъ на высотѣ его гребня, если берегъ заливаемый и на высотѣ самаго высокаго горизонта воды, при незатопляемомъ берегѣ. Затѣмъ высота искусственнаго берега можетъ

быть постепенно уменьшаема отъ корня къ оконечности его. Для плавнаго соединенія проектированнаго берега съ выше лежащимъ естественнымъ, корень перваго долженъ быть заложень на томъ мѣстѣ послѣдняго, гдѣ вогнутость его замѣтно уменьшается. Такъ какъ назначеніе искусственнаго берега заключается въ томъ, чтобы прекратить растеканіе воды въ одну сторону, а съ другой стороны образовать собой струй и удержать этотъ сбой около себя, то согласно съ этимъ слѣдуетъ выбирать родъ выправительныхъ сооружений и придавать имъ соотвѣтственные профили и расположеніе въ планѣ. Наиболѣе пригодными для удержанія фарватернаго теченія вдоль берега оказываются полузапруды, обращенныя своими головами наискось противъ теченія, такъ какъ около нихъ струи не только слѣдуютъ очертанію оконечностей головъ, но стремятся провикнуть за ихъ линію, обтекая каждую изъ головъ съ обѣихъ сторонъ. Верхняя по теченію часть искусственнаго берега, предназначенная для отраженія весеннихъ струй отъ выпуклости естественнаго берега, можетъ быть выполнена для лучшаго предохраненія его отъ размыва, посредствомъ устройства продольной плотины, связанной съ берегомъ траверсами.

Крутые откосы способствуютъ сохраненію вдоль берега сбойнаго теченія, тогда какъ пологіе откосы, подобно отлогостямъ косъ, вызываютъ растеканіе струй и образованіе доннаго теченія; поэтому оконечностямъ головъ полузапрудъ, расположенныхъ по линіи сбойнаго теченія, слѣдуетъ давать по возможности крутые откосы. Устраивая ихъ изъ фашинной кладки, я давалъ концамъ головъ половинные откосы; верхняя же, надводная, при меженемъ горизонтѣ, часть головъ на Днѣпрѣ и Припяти дѣлается съ вертикальными откосами, образованными укладкою фашинъ комлями наружу. Такое устройство верхней части оконечностей полузапрудъ имѣетъ весьма важное значеніе для уменьшенія поврежденій фашинной кладки, производимыхъ массою громадныхъ и безпорядочно сплавляемыхъ плотовъ. При крутыхъ откосахъ головъ сбойное теченіе, спускаясь ко дну, производитъ сильныя размывы дна, для предупрежденія которыхъ укладывается подъ оконечность полузапрудъ по одному тюфяку достаточно большихъ размѣровъ для того, чтобы предупредить образованіе глубокихъ ямъ. Что касается опасностей натолкновенія проходящихъ судовъ, то таковыя при крутыхъ откосахъ меньше, чѣмъ при пологіхъ. Несмотря на дѣятельное дневное и ноч-

ное пароходство и сравнительно незначительную ширину фарватера р. Припяти, не было случая удара парохода или судна объ головную оконечность полузапрудь, расположенных у прибойных береговъ. Причина этого заключается въ томъ, что сбойное теченіе, направляясь по крутому откосу сверху внизъ, относитъ судно отъ откоса и предупреждаетъ ударъ въ него, даже при весьма близкомъ разстояніи отъ судна; пологое же очертаніе откоса способствуетъ вкатыванію на него струй, а слѣдовательно навалу судна на сооруженіе.

Корни полузапрудь могутъ быть врѣзаны въ возвышенныя части песчаныхъ косъ; но для предупрежденія отмыва косъ отъ гребней береговъ весеннимъ теченіемъ, слѣдуетъ продолжать корни нѣкоторыхъ полузапрудь до гребней береговъ, давая имъ въ планѣ расположеніе приблизительно нормальное къ очертанію выпуклаго берега, причемъ эти полузапруды получаютъ близъ урѣза меженней воды изгибъ или изломъ, какъ показано на черт. 3. Высота полузапрудь должна соответствовать постепенно уменьшающейся сверху внизъ по теченію, высотѣ проектнаго берега.

Не можетъ быть сомнѣнія, что при назначенномъ на черт. 3 очертаніи сбойнаго берега образуется въ рѣчномъ днѣ глубокая вдоль него ложбина, однако же глубина на ней будетъ меньше глубины на нижележащемъ сліяніи двухъ сбойныхъ теченій, такъ что такое очертаніе берега не послужитъ еще къ полному выравниванію глубинъ. Для уменьшенія глубины въ указанномъ мѣстѣ вогнутаго берега, а вмѣстѣ съ тѣмъ и для предохраненія его подошвы отъ подмыва сосредоточеннымъ теченіемъ, могутъ быть съ пользою примѣнены донныя, показанныя на планѣ пунктирными линіями, сооруженія, направленіе коимъ слѣдуетъ давать наклонное по теченію, дабы преобразовать сходящееся и уклоняющееся внизъ теченіе въ расходящееся и уклоняющееся кверху. Опасаться увеличенія подмыва береговъ отъ такого расположенія донныхъ сооружений нѣтъ основанія, ибо вымоины, образующіяся въ днѣ за сооруженіями, распространяются на незначительную ширину; вымытый же грунтъ разносится расходящимися струями и складывается у подошвы берега, сообщая ему большую пологостч. Надводный корень доннаго сооруженія, конечно, слѣдуетъ располагать нормально къ очертанію берега.

Резюмируя изложенныя соображенія о начертаніи проектнаго берега на перевалѣ, можно установить за правило удлинять вогнутые берега и выдвигать въ русло выпуклыя

ихъ оконечности; иначе же сказать, по возможности развивать выступы верхнихъ частей (запличиковъ) выпуклыхъ береговъ.

Не слѣдуетъ опасаться дурныхъ послѣдствій отъ образованія подпора воды сильно выдвинутою въ русло частью искусственнаго берега, ибо высота его почти не превосходитъ высоты нижележащей песчаной косы по направленію ДЕ, (смотри черт. 3). Такимъ образомъ надъ перемеломъ образуется подпоръ весенней воды, а подпоръ производимый плесомъ, соответственно уменьшится, вслѣдствіе чего продольная профиль весенняго горизонта изъ вогнутой внизъ приблизится къ прямолинейному очертанію, свойственному равномерному распредѣленію уклоновъ и поверхностныхъ скоростей. Послѣ размыва подводной песчаной косы вдоль искусственнаго берега, подпоръ меженней воды уменьшится, при чемъ паденіе распространится кверху, на нижнюю часть плеса, и отчасти внизъ, на верхнюю часть другого плеса; тѣмъ не менѣе значительное паденіе меженней воды останется сосредоточеннымъ около крутого изгиба берега, благодаря образуемому имъ значительному подпору воды. Такое сохраненіе сосредоточеннаго уклона на углубленномъ перемелѣ гарантируетъ сосѣдніе плесы отъ нежелательнаго перемѣщенія на нихъ паденія воды, какъ это зачастую случается при примѣненіи водостѣпительной системы выправленія.

Изложенное правило относительно выдвиганія въ русло оконечностей вогнутыхъ береговъ опредѣлилось практикою выправленія русла р. Припяти, о чемъ доложено было въ докладѣ моемъ первому сѣзду, и оно вошло въ руководство начертанія трассы, выработанное подкомиссіею перваго сѣзда. Первоначально проектному руслу р. Припяти дана была значительная ширина (100 саж.) и для образованія его употреблены полузапруды, размѣщенныя по обѣимъ сторонамъ перемеловъ. Работы эти были выполнены въ 1884 и 1885 г.г., при чемъ обѣимъ берегамъ на перевалахъ дано слабо-выпуклое очертаніе. Однако мелкія мѣста спустились съ перемеловъ и расположились въ колѣнахъ рѣки. Такой результатъ неизбѣженъ потому, что послѣ суженія русла, при расходящемся направленіи береговъ, неминуемо должно послѣдовать растеканіе струй и отложеніе наносовъ. Поэтому пришлось вести постепенно суженіе русла до вогнутостей, посредствомъ выдвиганія полузапрудъ; и вотъ при этомъ выяснилось, что удлиненіе полузапрудъ, расположенныхъ

выше вогнутого берега, не оказывает влияния на углубление перевала; тогда как выдвигание полузапрудь со стороны оконечности противоположного берега, производит сразу углубление фарватера, положение которого дѣлается устойчивымъ въ особенности при увеличеніи числа сооружений, посредствомъ постройки промежуточныхъ полузапрудь. Тоже правило подтвердилось при возведеніи полузапрудь на р. Днѣпрѣ выше г. Кіева, гдѣ для углубленія подхода къ городской пристани, пришлось значительно выдвинуть въ русло оконечность лѣваго, слабо вогнутого берега. Кроме того очертаніе берега и расположеніе полузапрудь, подобныя изображеннымъ на черт. 3, примѣнены для выправленія р. Припяти на Прогнойской мели, при чемъ однако сбойному берегу не дано столь развитого выступа, для избѣжанія дорого стоящаго, сильнаго укрѣпленія противоположнаго берега и въ виду того еще, что здѣсь не представлялось надобности въ достиженіи слишкомъ большой глубины. Послѣ описанныхъ измѣненій, произведенныхъ въ очертаніи трассы р. Припяти близъ м. Чернобыля на 4-хъ перемелахъ, глубина на перегибахъ фарватера получилась раза въ $1\frac{1}{2}$ болѣе желательной, считая отъ самаго низкаго горизонта, и никакихъ дурныхъ послѣдствій на сосѣднихъ участкахъ не послѣдовало, ибо значительная доля паденія осталась на выправленномъ участкѣ, благодаря усиленнымъ подпорамъ, образованнымъ крутыми выступами береговъ. При этомъ нужно замѣтить, что эти выступы не развиты еще далеко до предѣльнаго очертанія, подобнаго изображенному на черт. 3, и потому, если бы потребовалось дальнѣйшее углубленіе русла, можно бы было еще болѣе усилить сбой воды, укрѣпивъ, конечно, подошвы противоположенныхъ береговъ. Такимъ образомъ изложенное объясненіе расположенія рѣчныхъ теченій вполне подтверждается практически полученными данными, обнаруживаніе коихъ предшествовало теоретическому объясненію и послужило отчасти поводомъ для изысканій, наблюденій и обобщеній въ этомъ направленіи.

И такъ для достиженія значительнаго и устойчиваго углубленія русла, необходимо дать вогнутому берегу правильное очертаніе и достаточную кривизну и посредствомъ искусственнаго его удлиненія, довести около него воду до вогнутости противоположнаго берега, съ которымъ слѣдуетъ поступать такимъ же образомъ. При этомъ перегибы русла уничтожаются и получаютъ берега, попеременно вогнутые

въ разныя стороны. Такіе берега можно назвать ведущими, струенаправляющими, сбійными или фарватерными.

До сихъ поръ я говорилъ о вогнутыхъ берегахъ, развитіемъ коихъ возможно избѣжать перегибовъ русла, или лучше сказать, обратить перегибы въ переломы. Устройство подобныхъ береговъ и составляетъ главное средство для выправленія теченія въ интересахъ судоходства; однако же нельзя оставить безъ вниманія и противоположныхъ береговъ, къ которымъ растекается донное теченіе. Оно, какъ было выяснено выше, поднимаясь по пологостямъ снизу вверхъ, достигаетъ поверхностныхъ слоевъ и обращается въ верховое теченіе, которое своими струями, сходящимися къ фарватеру, образуетъ сбійное теченіе у вогнутыхъ береговъ. Въ виду такого обращенія доннаго теченія въ верховое, для достиженія равномерности сбоя и для недопущенія ослабленія его, послѣдствіемъ чего является расхожденіе струй отъ фарватера, искривленіе его и уменьшеніе глубины, — надлежитъ заботиться о равномерности растеканія воды по выпуклому берегу.

Препятствіями къ однообразному растеканію воды по пологимъ берегамъ служатъ боковые рукава и прораны, удаляясь по которымъ донное теченіе лишаетъ главное сбійное теченіе притекающихъ къ нему, струй и черезъ то уменьшаетъ сбій воды къ фарватеру, послѣдствіемъ чего можетъ произойти растеканіе струй съ фарватера и прекращеніе онаго. Нерѣдко наблюдаемое обмелѣніе рукавовъ, при ихъ раздѣленіи, есть прямое послѣдствіе описаннаго явленія; поэтому боковые рукава и прораны въ берегахъ подлежатъ закрытію. Боковыми рукавами я называю такіе, коихъ направленіе при отдѣленіи отъ главнаго русла не соотвѣтствуетъ направленію теченія въ семь послѣднемъ, при чемъ въ боковой рукавъ направляется донное теченіе, которое, вступивъ въ рукавъ, сейчасъ же обращается въ сбійное около одного изъ его береговъ.

Вліяніе прорана въ берегѣ на уменьшеніе сбоя воды на фарватерѣ видно на планѣ № III листъ 5-й, изъ котораго также видно, что въ проранѣ, расположенный нормально къ сбійному теченію, ни одна верховая струя, даже самая крайняя, не была втянута; а между тѣмъ по спадѣ воды, за гребнемъ берега, на пространствѣ нѣсколькихъ десятинъ, поверхность земли оказалась покрытою наноснымъ пескомъ,

который могъ быть принесенъ изъ Днѣпра только лишь доннымъ теченіемъ.

Кромѣ рукавовъ и прорановъ, ослабленіе обращенія доннаго теченія въ верховое происходитъ при увеличеніи пологости выпуклыхъ береговъ, когда донное теченіе, значительно удаляясь отъ фарватера, перестаетъ снабжать его сходящимися струями въ достаточной степени, послѣдствіемъ чего является ослабленіе сбоя, удаленіе фарватера отъ вогнутого берега, растеканіе верховыхъ струй и отложеніе наносовъ. Подобное явленіе наблюдается главнымъ образомъ на перемелахъ, при уширеніяхъ русла. Даже значительное суженіе русла въ такихъ мѣстахъ не достигаетъ его выправленія и фарватеръ не получаетъ ни ожидавшейся глубины, ни устойчиваго расположенія. Это происходитъ оттого, что искусственное суженіе дѣйствуетъ на слѣдствіе, а не на причину. Уширеніе русла не есть коренная причина обмелѣнія и неустойчивости фарватера, но само есть послѣдствіе неправильнаго, въ интересахъ судоходства, расположенія рѣчныхъ теченій. Сужая русло посредствомъ выдвиганія въ русло обоихъ береговъ, создаютъ сбойныя теченія у каждаго изъ береговъ, и фарватеръ, не имѣя возможности прочно установиться около одного изъ нихъ, передвигается въ зависимости отъ перемѣнъ, происходящихъ на сосѣднихъ участкахъ рѣки и отъ измѣненій горизонта воды,—отъ одного до другого берега, располагаясь неправильными изгибами. Трасса, ограниченная двумя параллельными или приблизительно параллельными линіями, красива только на планѣ, будучи же воспроизведена постройкою сооружений въ рѣчномъ руслѣ, никогда не вызываетъ переформированія его согласно проектнымъ предназначеніемъ, ибо эти предназначенія не согласны съ законами расположенія рѣчныхъ теченій. Напротивъ на планахъ нѣкоторыхъ исполненныхъ работъ на заграничныхъ рѣкахъ можно видѣть, что расположеніе фарватера систематично уклоняется отъ проектныхъ предположеній, что изгибы фарватера имѣютъ случайное, временное, подвижное очертаніе, при чемъ онъ не рѣдко располагается у выпуклыхъ береговъ, вогнутости же прикрываются наносами въ видѣ подвижныхъ косъ.

Такія послѣдствія примѣненія водостѣпнительной системы на перемелахъ сдѣлаются понятными, если разсмотрѣть вліяніе, оказываемое на донное теченіе сооружениями, выступающими со стороны оконечности выпуклаго берега. Донное

теченіе, достигая головъ полузапрудъ, не можетъ быть ими отклонено къ вогнутому берегу, но неминуемо, отъ удара въ откосы сооружений, обращается въ сбойное теченіе, спускающееся къ дну и вымывающее ямы близъ сооружений. Обратясь затѣмъ вновь въ донное, оно растекается, унося вымытый грунтъ во всѣ стороны и въ томъ числѣ на фарватеръ, который такимъ образомъ не только не углубляется, но можетъ подвергаться замелѣнію. Такія полузапруды, ограничивая ширину вѣерообразно-расходящагося теченія, могутъ увеличить сбой воды къ фарватеру лишь только на нѣкоторомъ разстояніи внизъ по теченію, и потому по близости свалья не должны быть устраиваемы, но онѣ могутъ принести несомнѣнную пользу, будучи располагаемы въ началѣ перевала. Расположеніе и профиль полузапрудъ у выпуклаго берега должны быть совершенно другія, чѣмъ у оконечности вогнутого берега, ибо назначеніе ихъ—не привлекать къ себѣ фарватерное теченіе, а напротивъ служить къ отклоненію его къ противоположному берегу, главнымъ же образомъ къ уменьшенію угла расходимости струй доннаго теченія, которое такимъ образомъ можетъ быть ранѣе обращено въ верховое теченіе, направленное къ увеличенію сбоя по близости свалья. Поэтому такія полузапруды слѣдуетъ располагать наклонно по теченію, отгибая даже оконечности ихъ въ сторону теченія, а откосамъ ихъ слѣдуетъ давать по возможности большую пологость. Расположеніе полузапрудъ близъ свалья, какъ сказано выше, можетъ отвлечь отъ фарватера воду и усилить кромѣ того сбой на немъ ниже свалья, гдѣ желательное ослабленіе сбоя для уменьшенія размывовъ дна у вогнутого берега. Тѣмъ не менѣе для того, чтобы воспользоваться струями доннаго теченія, для скорѣйшаго заворачиванія ихъ на свалье къ фарватеру, возможно расположить у выпуклаго берега донныя сооружения, параллельныя берегамъ (подобно изображенному на черт. 3). Нужно полагать, что подобныя сооружения, измѣнивъ продольное направленіе доннаго теченія въ поперечное къ берегу, могутъ послужить къ болѣе быстрому образованію изъ этого теченія верховыхъ струй, направленныхъ обратно доннымъ, т. е. въ сторону фарватера.

Въ естественномъ руслѣ сбой и растеканіе воды расположены неравномѣрно: въ плесахъ наблюдается сбойное теченіе, а на перекатахъ—растекающееся. Выпрямленіе русла должно стремиться достигнуть равномѣрности распредѣленія этихъ теченій по длинѣ рѣки и для этого направлять теченіе

посредствомъ рациональнаго устройства береговъ такимъ образомъ, чтобы въ каждой поперечной профили происходило и сбой воды и растеканіе ея. Въ интересахъ судоходства—имѣть сбойное теченіе по всей длинѣ рѣки, а потому главная забота должна быть приложена къ обращенію растекающагося на перекатахъ теченія въ сбойное, но для этого необходимо заботиться также о равномерности растеканія доннаго теченія посредствомъ уменьшенія, гдѣ нужно, угловъ расходимости струй, а равно и объ увеличеніи ихъ расходимости въ плесахъ, посредствомъ устройства донныхъ сооружений. Что-же касается стѣсненія русла, то само по себѣ оно пользы не приноситъ и является лишь только послѣдствіемъ выдвиганія въ русло ведущаго берега на самомъ перемелѣ и отклоняющаго, т. е. выпуклаго берега,—выше перемела.

Изложенная теорія расположенія рѣчныхъ теченій и сдѣланные изъ нея выводы для рациональнаго выправленія рѣкъ основаны на наблюденіяхъ надъ дѣйствіемъ выправительныхъ сооружений, на наблюденіяхъ надъ движеніемъ поплавокъ и вообще плывущихъ по водѣ тѣлъ, на изслѣдованіи формы рѣчнаго русла и способовъ передвиженія наносовъ. Масса подобныхъ данныхъ послужила для обобщенія и для повѣрки выводовъ, а полное согласіе ихъ съ выводами и заключеніями, сдѣланными на основаніи разсмотрѣнія формулъ динамики, подтверждаетъ вѣрность теоріи. Тѣмъ не менѣе для развитія этой теоріи въ интересахъ научно правильной постановки выправленія рѣкъ, а также для полученія вполне согласныхъ съ дѣйствительностью данныхъ, могущихъ послужить основаніемъ для математическихъ изслѣдованій въ области гидродинамики,—необходимы дальнѣйшія, болѣе точныя наблюденія надъ направленіемъ и расположеніемъ рѣчныхъ струй. Подобныя наблюденія не производились до сего времени за неимѣніемъ приспособленныхъ къ тому инструментовъ. Достойно вниманія, что до сихъ поръ мы не имѣли возможности точно опредѣлять направленіе теченія даже поверхностнаго слоя воды, такъ какъ направленіе движенія поплавокъ, какъ было выяснено мною, не вполне согласуется съ направленіемъ рѣчныхъ струй. По этому первое, въ чемъ нуждается нынѣ рѣчная гидравлика для постановки ея на степень точной науки,—это устройство инструментовъ, посредствомъ коихъ возможно-бы было опредѣлять направленіе движенія воды во всѣхъ точкахъ поперечныхъ сѣченій русла.

Для опредѣленія направленія вѣтра служить флюгеръ; подобный-же подводный флюгеръ можетъ служить и для опредѣленія направленія рѣчныхъ струй, однако-же устройство такого инструмента для воды должно быть гораздо сложнѣе, а наблюденія гораздо затруднительнѣе, чѣмъ надъ флюгеромъ воздушнымъ. Этотъ послѣдній указываетъ направленіе вѣтра въ горизонтальной плоскости, а подводный флюгеръ долженъ указывать направленіе движенія воды одновременно, какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ. Уклоненія въ направленіяхъ рѣчныхъ струй одной отъ другой совершаются весьма медленно и незначительно, а потому для выясненія этихъ уклоненій необходима чувствительность и точность инструмента. Но всего затруднительнѣе установка и ориентировка подводнаго инструмента и наблюденіе надъ его показаніями. Какъ бы нибыло укрѣплено судно на якоряхъ или причалахъ, оно имѣетъ всегда нѣкоторыя колебательныя и вращательныя движенія, сообщаемыя ему силою теченія, вѣтромъ и даже передвиженіемъ на немъ людей. По симъ причинамъ установка прибора на суднѣ сдѣлала бы результаты наблюденій неточными и даже совершенно невѣрными. Наблюдать за движеніемъ подводнаго флюгера непосредственно не возможно, а устройство передаточныхъ механизмовъ, могущихъ указывать его движенія, затруднительно по той причинѣ, что такіе механизмы увеличиваютъ сопротивленія свободному движенію флюгера и уменьшаютъ его чувствительность. Всѣ эти обстоятельства указываютъ на то, что приборъ, предназначенный къ точному опредѣленію направленія подводныхъ струй, не можетъ обладать простотою устройства и не можетъ не требовать довольно сложныхъ приспособленій, при употребленіи его для измѣреній.

Изслѣдованія посредствомъ подводнаго флюгера должны быть произведены по возможности въ большомъ объемѣ, дабы возможно было сдѣлать изъ наблюденій точные выводы, откинувъ случайныя вліянія, не рѣдко на столько усложняющія наблюдаемое явленіе, что съ перваго раза оно кажется беспорядочнымъ и неподчиненнымъ никакимъ опредѣленнымъ законамъ. Такъ на примѣръ, для ясности передачи понятія о двоякого рода теченіяхъ въ рѣчномъ руслѣ, я говорилъ, что часть живаго сѣченія занята сбойными или сходящимися струями, а другая — донными или расходящимися; въ дѣйствительности-же, на многихъ пунктахъ можетъ быть обнаружено схождение и расхождение струй не въ двухъ только

частяхъ поперечнаго сѣченія, но въ нѣсколькихъ. Чтобы изучить причины такихъ усложненій, необходимо точно и подробно изслѣдовать самое явленіе посредствомъ повторительныхъ измѣреній направленія струй въ близкихъ одинъ отъ другаго пунктахъ и на нѣсколькихъ, близко одно отъ другаго расположенныхъ, поперечныхъ сѣченіяхъ русла.

Для производства подобнаго рода изысканій мною проектированы и изображены на представляемыхъ чертежахъ, съ помощью состоящаго въ моемъ распоряженіи техника Багницкаго, два подводные флюгера, изъ коихъ одинъ обладаетъ сравнительною простотою установки, а другой также не маловажнымъ достоинствомъ — возможностью для наблюдателя показаній слѣдить за колебательными движеніями флюгера.

На листахъ 9, 10, 11 и 12 изображенъ флюгеръ, предназначенный для мгновеннаго измѣренія направленія струй. Приборъ этотъ состоитъ изъ полой желѣзной трубы, наружный діаметръ коей равенъ $1\frac{1}{4}$ дюйма, а толщина стѣнки $\frac{3}{16}$ дюйма, длина трубы около 3-хъ саж. По всей длинѣ трубы сдѣланъ продольный прорѣзь, шириною $\frac{3}{16}$ дюйма, считая по наружной ея окружности. На поверхности трубы сдѣланы насѣчки, въ разстояніи одна отъ другой черезъ 0,01 саж., служащія для измѣренія глубины дна и для опусканія флюгера на желаемую глубину. Внутри желѣзной трубы *a* движется плотно вставленный въ нее, мѣдный цилиндръ *b* (листъ 10), который посредствомъ продольнаго выступа, проходящаго сквозь прорѣзь трубы (листъ 11), на глухо соединенъ съ наружною, мѣдною трубкою *c*, двигающеюся вмѣстѣ съ внутреннимъ цилиндромъ, вверхъ и внизъ по желѣзной трубѣ. Для укрѣпленія ихъ на желаемой глубинѣ служитъ желѣзная чека *z*, проходящая подъ мѣдный цилиндръ и сквозь отверстія въ стѣнкахъ желѣзной трубы, которыя сдѣланы на разстояніяхъ 5 сотыхъ сажени одно отъ другаго. Средняя по высотѣ часть трубки *c* вырѣзана такъ, что она представляется въ видѣ двухъ отдѣльныхъ трубокъ, высотой по 2 дюйма, связанныхъ между собою внутреннимъ цилиндромъ *b*; а на среднюю, вырѣзанную часть трубки *c* надѣта мѣдная трубка *d*, вращающаяся въ горизонтальной плоскости вокругъ вертикальной оси, совпадающей съ геометрическою осью желѣзной трубы. На серединѣ по высотѣ трубки *d* отлиты выступы, въ кои вставлены стальные оси *e* (листъ 11, разрѣзь *D—E*). На этихъ осяхъ вращается эллиптическое кольцо *ж*, въ которое вставлены стержни, снабженные двумя, по-

ставленными подъ прямымъ угломъ тонкими стальными листами, образующими на одномъ стержнѣ стрѣлку, а на другомъ—хвостъ флюгера. Такимъ образомъ флюгеръ посредствомъ кольца *ж* вращается въ плоскости вертикальной около горизонтальныхъ осей *e*, а вмѣстѣ съ ними и съ трубкою *d* въ плоскости горизонтальной вокругъ трубки *e*. Для измѣренія угловъ отклоненія флюгера отъ горизонтальнаго положенія служитъ вертикальный лимбъ *з* (листъ 10), вращающійся вмѣстѣ съ флюгеромъ въ горизонтальномъ направленіи; а для измѣренія угловъ отклоненія флюгера отъ нулевой вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось трубы и средина прорѣза, служитъ горизонтальный лимбъ *и* (листъ 11). Вертикальный лимбъ даетъ возможность измѣрять углы отклоненія флюгера до 30° внизъ и вверхъ отъ горизонтальной плоскости; а горизонтальный лимбъ имѣетъ по 60° въ обѣ стороны отъ нулевой плоскости. Для горизонтальнаго лимба взята болѣе длинная дуга въ виду того, что уклоненія струй въ горизонтальныхъ направленіяхъ, нужно полагать, будутъ гораздо значительнѣе уклоненій струй въ вертикальной плоскости. Горизонтальный лимбъ долженъ быть не подвиженъ, и потому онъ прикрѣпленъ посредствомъ изогнутыхъ полосъ *i* къ кольцеобразнымъ выступамъ неподвижной трубки *e*; вертикальный же лимбъ прикрѣпленъ посредствомъ прямыхъ полосъ *к* къ выступамъ вращающейся трубки *d*. Дѣленія на лимбахъ назначены черезъ $\frac{1}{16}$ градуса, т. е. точность измѣреній предположена въ $10'$, безъ употребленія нониуса. Металлическія полосы, служація для прикрѣпленія лимбовъ, обращены тонкими ребрами противъ теченія, а плоскими сторонами по теченію для того, чтобы представлять наименьшее сопротивленіе движенію воды. Для задержанія въ произвольный моментъ движенія флюгера служатъ параллельныя лимбамъ, имѣющія съ ними одинаковую длину и близъ нихъ помѣщенныя полосы въ видѣ дугъ, снабженныхъ съ внутренней, обращенной къ флюгеру, стороны, маленькими зубчиками. Эти зубчатыя дуги подобно лимбамъ прикрѣплены къ выступамъ тѣхъ же мѣдныхъ трубокъ, къ коимъ неподвижно прикрѣплены лимбы, съ тою только разницею, что зубчатыя дуги имѣютъ возможность, вращаясь около мѣстъ своего прикрѣпленія, удаляться отъ флюгера, давая ему свободу двигаться. а приближаясь къ нему слегка на него нажимать и такимъ образомъ задерживать его въ неподвижномъ положеніи. Сообразно этому, горизонтальная зубчатая дуга *л* по-

средствомъ изогнутыхъ полосъ *m* прикрѣплена къ нижнему выступу неподвижной трубки *в*; при чемъ эти полосы не привинчены наглухо подобно полосамъ *i*, но имѣютъ возможность вращаться около оси *n* (листъ 11 разрѣзъ II—I). Полосы *m*, соединяясь между собою спереди флюгера, т. е. со стороны стрѣлки его, образуютъ дугу, огибающую трубку *в*. Отъ этихъ полосъ, надъ осями *n* идутъ къ верху, неразрывно съ ними связанная, двѣ вѣтви, представляющія продолженіе тѣхъ же полосъ *m*. Онѣ вверху отогнуты взадъ, т. е. къ хвосту флюгера и соединены вмѣстѣ дужкою *о*. Такимъ образомъ полосы *m* имѣютъ видъ колѣнчатого рычага, при чемъ если верхняя оконечность вертикальныхъ вѣтвей, дужка *о*, прижата къ выступу трубки *в*, то зубчатая дуга *л*, находящаяся на оконечностяхъ горизонтальныхъ вѣтвей, нажимаетъ своими зубцами на остріе *n*, прикрѣпленное къ серединѣ (противъ дѣленія 0) вертикальнаго лимба, вмѣстѣ съ которымъ, какъ сказано выше, вращается флюгеръ въ горизонтальномъ направленіи. Посредствомъ пружины *p*, прикрѣпленной къ поверхности трубки *в*, дужка *о* постоянно прижата къ выступу трубки *в*, а зубчатая дуга *л* къ острію *n* вертикальнаго лимба, при чемъ движеніе флюгера въ горизонтальной плоскости не возможно. Передъ опусканіемъ инструмента въ воду, для того чтобы дать флюгеру свободу движеній въ горизонтальномъ направленіи, нужно пальцемъ немного отогнуть дужку *о* отъ выступа трубки *в*, тогда пружинка *с*, прикрѣпленная сверху цилиндра *б*, опустится внизъ и своимъ концемъ упрется въ дужку *о*, не позволяя ей болѣе приблизиться къ выступу трубки *в*. Въ такомъ положеніи флютеръ вмѣстѣ съ вертикальнымъ лимбомъ и трубкою *д* будетъ свободно вращаться около вертикальной оси. Въ то мгновеніе, когда желаютъ опредѣлить направленіе струи въ плоскости горизонтальной, достаточно дернуть за шнурокъ *н*, проходящій сверху внизъ, внутри желѣзной трубы и прикрѣпленный къ пружинкѣ *с*, которая, поднявшись, дастъ возможность дужкѣ *о* прижаться, вслѣдствіе давленія пружины *p*, къ выступу трубки *в*.

Для задержанія движенія флюгера въ желаемый моментъ въ вертикальной плоскости служить зубчатая дуга *т*, которая посредствомъ полосъ *y* прикрѣплена къ тѣмъ же выступамъ вращающейся трубки *д*, къ которымъ неподвижно прикрѣпленъ вертикальный лимбъ посредствомъ полосъ *к*. Полосы *y*, обогнувъ трубку *д*, прикрѣплены къ выступамъ ея, спереди

прибора, посредствомъ шарнировъ *ф*, такъ что зубчатая дуга *т*, вращаясь вмѣстѣ съ полосами *у* около шарнировъ *ф*, можетъ удаляться и приближаться къ острію *х*, составляющему оконечность штыря, на коемъ устроенъ хвостъ флюгера. Для постоянного нажатія полосъ *у* вмѣстѣ съ зубчатою дугою *т* на остріе *х* флюгера служатъ двѣ пружины *и*, укрѣпленные на среднемъ выступѣ той же вращающейся трубки *д*: Такимъ образомъ вертикальная зубчатая дуга *т*, подобно горизонтальной дугѣ *л*, постоянно нажата на остріе флюгера и для того, чтобы освободить его движенія въ вертикальной плоскости нужно, немного отведя отъ него рукою дугу *т*, опустить проволоку *ч* такъ, чтобы сдѣланные на ней утолщенія *ш*, въ видѣ металлическихъ пробокъ, вошли въ промежутки между съ одной стороны неподвижно укрѣпленными полосами *к* вертикальнаго лимба и съ другой стороны, полосами *у* зубчатки, надавливаемыми пружинами *и*. Къ концу проволоки *ч* привязанъ шнурокъ *щ*, который, подобно шнурку *ъ*, пройдя черезъ два маленькіе шкива *э*, укрѣпленные между двумя пластинками *ю*, направляется внутри желѣзной трубы, кверху. Пластинки *ю* привинчены къ верху цилиндра *б*. Чтобы при дерганіи шнурка *щ*, проволока *ч* не могла быть втянута между шкивиками *э*, на верхнемъ ея концѣ сдѣлано утолщеніе *я*. Когда пробки *ш* вставлены между полосками *у* и *к*, флюгеръ свободно двигается на кольцѣ *ж* около осей *е*, но лишь только дернуть шнурокъ *щ*, какъ пробки *ш* поднимутся и полосы *у*, вращаясь около шарнировъ *ф* и будучи прижимаемы пружинами *и*, придавятъ зубчатую дугу *т* къ острію *х* флюгера, который сдѣлается черезъ это неподвиженъ. Вынувъ приборъ изъ воды, можно прочесть на лимбахъ отклоненія флюгера отъ горизонтальной плоскости и отъ плоскости вертикальной, проходящей черезъ ось трубы *а* и середину сдѣланнаго въ ней вырѣза.

Желѣзная труба *а* прибора устанавливается на дно рѣки посредствомъ чугунной чашки *б* (листъ 9-й) съ зубьями по окружности, которая, или проникая въ песокъ, или задерживаясь за выступы камней, дастъ неподвижное мѣсто для опоры флюгера. Труба должна быть при измѣреніяхъ вертикальна, а чашка можетъ принимать различныя положенія сообразно неровностямъ дна, поэтому соединеніе трубы съ чашкою сдѣлано посредствомъ стального яблока *в*, которое винтовою нарѣзкой надѣто на оконечности трубы, а къ чашкѣ прикрѣплено посредствомъ привинченныхъ къ ней накладокъ *г*.

Верхній конецъ желѣзной трубы, какъ показано на об- щемъ видѣ прибора (листъ 9), посредствомъ крюка и пень- коваго каната подвѣшенъ къ перекладинѣ, которая можетъ быть укрѣплена на столбахъ, поставленныхъ на двухъ спаренныхъ суднахъ, причемъ промежутокъ между ними долженъ быть сдѣланъ по возможности больше, въ зависимости отъ длины имѣющихся въ продажѣ, брусевъ, кои будутъ употре- блены для связи судовъ. Посредствомъ небольшой лебедки будутъ производиться опусканіе и вынутіе прибора изъ воды для чтенія показаній лимбовъ и для новаго отвода зубчатыхъ дугъ или, короче сказать, для заряженія прибора. Для того чтобы легче ориентировать приборъ при повторительныхъ опу- сканіяхъ, слѣдуетъ его устанавливать каждый разъ на одно и то же мѣсто дна. Въ виду этого судна должны быть непод- вижно укрѣплены четырьмя канатами, притянутыми съ кормъ и носовъ къ опущеннымъ съ разныхъ сторонъ якорямъ. Отъ опорной чашки будутъ идти къ внутреннимъ бортомъ судовъ, въ наклонномъ противъ теченія направленіи, два тонкіе, про- волочные каната (непоказанные на чертежѣ), которые, будучи натянуты при первой установкѣ прибора, приведутъ чашку на прежнее мѣсто при послѣдующихъ, повторительныхъ на- блюденіяхъ.

Какъ было объяснено выше, флюгеръ можетъ быть опу- скаемъ по желѣзной трубѣ, на различную желаемую глубину до дна. Приборы, служащіе для установки трубы въ верти- кальномъ положеніи и для ориентировки его въ планѣ, точно также могутъ быть передвигаемы по трубѣ; но для наблюде- ній, производящихся въ одномъ пунктѣ рѣчнаго русла, они сразу устанавливаются на высотѣ удобной для наблюдателя, стоящаго на подмосткахъ, устроенныхъ между бортами судовъ.

Для приведенія желѣзной трубы *a* въ вертикальное поло- женіе служатъ два взаимно перпендикулярные уровни *b* (листъ 12), а для ориентированія ея въ планѣ—астролябія. Всѣ эти приборы помѣщены вмѣстѣ на мѣдной доскѣ *c*, которая по- средствомъ закраинъ *g* привинчена къ мѣдной трубкѣ *d*. Сія послѣдняя, подобно вышеописанной такой же трубкѣ у флю- гера, соединена съ внутреннимъ мѣднымъ цилиндромъ *e* по- средствомъ стѣнки *ж*, отлитой вмѣстѣ съ цилиндромъ и труб- кою и двигающейся вдоль прорѣза желѣзной трубы *a*. При- боръ этотъ укрѣпляется на желаемой высотѣ, подобно флю- геру, чекою *z*, проходящею подъ цилиндромъ *e*, сквозь сдѣ- ланныя въ стѣнкахъ желѣзной трубы отверстія. Неподвиж-

ные діоптры и астролябіи направляются по линіи, обозначенной створами на берегу, а для того чтобы установить приборъ въ створѣ, возможно натягивать одни изъ канатовъ, идущихъ къ якорямъ и ослаблять другіе; если же нѣтъ необходимости дѣлать наблюденія точно въ одной профили, то для опредѣленія на планѣ мѣста стоянки прибора, возможно воспользоваться подвижными діоптрами *i* съ нониусами, для засѣчекъ помощью измѣренія угловъ. Подъ тѣмъ же приборомъ выпущены изъ желѣзной трубы шнурки *ш* и *н*, идущіе снизу отъ флюгера. Шнурки эти намотаны на катушки, дергая за которыя, возможно мгновенно закрѣплять флюгеръ въ положеніи, соотвѣтствующемъ направленію рѣчной струи, въ желаемый моментъ, какъ было описано выше.

Подъ описаннымъ приборомъ помѣщаются рычаги *б* (листъ 9), коими труба *а* поварачивается для приведенія неподвижныхъ діоптровъ въ створъ профили, причемъ нуль горизонтальнаго лимба флюгера приходитъ въ плоскость перпендикулярную къ плоскости избраннаго поперечнаго сѣченія русла. Желѣзная трубка *в*, къ коей прикрѣплены рычаги, надѣта на трубу *а* и можетъ быть по ней передвигаема, а закрѣпляется она на желаемой высотѣ посредствомъ такой же чеки *г*, какъ флюгеръ и астролябія. Послѣ вставки чеки вращеніемъ рычаговъ можно поворачивать трубу *а*. Для наклоненія ея въ разныя стороны, при приведеніи въ вертикальное положеніе по двумъ описаннымъ уровнямъ, служатъ три натянутые, пеньковые или тонкіе проволочные канаты *д*, закрѣпленные наружными концами къ столбикамъ, помѣщеннымъ на судахъ и на промежуточныхъ между ними подмосткахъ, а внутренними концами привязанные къ проушинамъ *е* подвижной гайки *ж*, двигающейся вдоль винта *з*. Приводимый въ вращеніе посредствомъ рукоятки *и*, винтъ заставляеть гайку *ж* двигаться вдоль желѣзной полосы *к* и такимъ образомъ приближаетъ и удаляетъ трубу *а* отъ мѣста неподвижнаго закрѣпленія каната на судиѣ, причемъ длина натянутого каната не измѣняется. Такимъ образомъ приведеніе трубы въ вертикальное положеніе производится подобно приведенію трубы нивелира въ горизонтальное положеніе. Полосы *к*, прикрѣпленныя къ трубкѣ *и*, надѣтой на трубѣ *в*, не препятствуютъ сей послѣдней свободно вращаться при поворачиваніи рычаговъ *б*.

Описанный приборъ имѣеть то достоинство, что установка его для опредѣленія мгновеннаго направленія струи производится на судахъ и не требуетъ особыхъ приспособленій; не-

достатки же его, коихъ не найдено возможнымъ избѣгнуть при проектированіи, не имѣя еще практики работъ съ подобными инструментами, заключаются въ необходимости вынимать приборъ для повторительныхъ наблюденій и отчасти въ тонкости частей и сложности устройства, требующихъ аккуратности и осторожности въ обращеніи.

Описанный флюгеръ можетъ быть примѣненъ и для измѣренія скоростей, для чего вмѣсто острія къ нему должно быть прикрѣплено спереди колесо съ винтомъ, подобное употребляемому въ вертушкѣ Баумгартена (листъ 13-й). Главное затрудненіе при проектированіи этого прибора заключается въ устройствѣ размыканія и смыканія зубчатыхъ колесъ съ безконечнымъ винтомъ вертушки такимъ образомъ, чтобы не препятствовать свободному движенію флюгера. Электрическія проводники не вполне удовлетворяютъ этому условію, а потому отдано предпочтеніе рычажному замыкателю, устроенному слѣдующимъ образомъ.

Зубчатая колеса помещены въ рамкѣ *б*, вращающейся около оси *в*. Пружина *г* гостоянно отжимаетъ рамку внизъ, не допуская прикосновенія колеса *д* къ непрерывно вращающемуся силою теченія, безконечному винту *е*. Для смыканія зубчатого колеса съ винтомъ необходимо приподнять лѣвый конецъ рамки *б*, вращая ее около оси *в* и преодолевая при этомъ упругость пружины *г*. Для этого служитъ вертикальный стержень *ж* (смотриѣть разрѣзы), съ горизонтальнымъ на верхнемъ концѣ штифтикомъ *з*, проходящимъ въ прорѣзы колѣнчатого рычага *и*, при вращеніи коего стержень *ж*, опускаясь и поднимаясь, можетъ смыкать и размыкать зубчатое колесо съ винтомъ. Рычагъ *и*, прикрѣпленный къ рамѣ *б* вертушки, приводится въ движеніе рычагомъ *к* (смотриѣть планъ), прикрѣпленнымъ къ кольцу вертушки, на коемъ она качается въ вертикальной плоскости. Рычагъ *к* приводится въ движеніе рычагомъ *л* (смотриѣть разрѣзы по АБ), прикрѣпленнымъ къ выступу наружной трубки, вращающейся вмѣстѣ съ вертушкою въ плоскости горизонтальной. Такимъ образомъ для смыканія и размыканія колеса *д* съ винтомъ *е* нужно дѣйствовать на верхній конецъ рычага *л*. На чертежахъ показано сплошными чертами положеніе рычаговъ при сомкнутіи колеса съ винтомъ, а пунктирными чертами—при разомкнутіи ихъ. Вслѣдствіе дѣйствія пружины *г* верхній конецъ рычага *л* постоянно нажатъ на поверхность желѣзной трубы. Для смыканія колеса съ винтомъ, нужно отвести этотъ конецъ отъ трубы и для

этого служить мѣдное кольцо *м*. Въ положеніи, показанномъ на чертежѣ, кольцо это, упираясь въ конецъ рычага, смыкаетъ зубчатое колесо съ винтомъ, а въ положеніи, показанномъ пунктиромъ, конецъ рычага приблизился къ желѣзной трубкѣ, а винтъ разобщился съ колесомъ. Всѣ рычаги вращаются вмѣстѣ съ вертушкою около вертикальной оси, причемъ для уменьшенія тренія верхняго конца рычага *л* о поверхность желѣзной трубы, онъ снабженъ каточкомъ *н*. Кольцо *м* отлито вмѣстѣ съ выступомъ *о* и внутреннимъ цилиндромъ *п*, такъ что при опущенномъ положеніи цилиндра, когда онъ лежитъ на пластинкахъ *ю* (смотри описание устройства флюгера), винтъ вертушки разобщенъ отъ зубчатаго колеса, а при поднятомъ, — сообщенъ съ нимъ. Однакоже на большихъ глубинахъ собственнаго вѣса цилиндра *п* недостаточно для надежнаго смыканія и размыканія прибора; поэтому вѣсъ этого цилиндра усиленъ спиральною пружиною *р*, надѣтою на стержень *с*, прикрѣпленный къ пластинкамъ *ю* и свободно проходящій сквозь цилиндръ *п*. Къ верхнему концу стержня *с* прирѣланъ неподвижно крючекъ *т* и прикрѣпленъ съ другой стороны крючекъ *у*, вращающійся около оси *ф* и прижимаемый постоянно къ неподвижному крючку пружиною *х*. Посредствомъ пружины *р* цилиндръ *п* постоянно прижатъ къ пластинкамъ *ю* и колесо разобщено съ винтомъ. Для смыканія ихъ нужно дернуть за шнурокъ *ц*, прикрѣпленный посредствомъ дужки *и* и пластинки *ш* къ цилиндру *п*. При дерганіи шнурка *ц* пластинка *ш* приподнимается до крючка *т*, а затѣмъ опускаясь вслѣдствіе упругости пружины *р*, упрется въ выступъ крючка *у* и будетъ оставаться въ такомъ положеніи во все время смыканія винта съ зубчатымъ колесомъ. Для размыканія нужно только дернуть шнурокъ *э*, тогда выступъ крючка *у* выйдетъ изъ подъ пластинки *ш*, которая отъ дѣйствія пружины *р* опустится внизъ вмѣстѣ съ цилиндромъ *п* и кольцомъ *м*. Вышеописанные шнурки *ш* и *ъ*, служащіе для закрѣпленія флюгера въ вертикальной и горизонтальной плоскостяхъ, свободно проходятъ въ отверстіяхъ сквозь цилиндръ *п*.

Для измѣренія скоростей описанными приборами нужно сначала посредствомъ шнурковъ *ц* и *ъ* закрѣпить неподвижно флюгеръ съ цѣлю опредѣленія направленія струи, а вслѣдъ затѣмъ не вынимая флюгера, сомкнуть безконечный винтъ вертушки съ зубчатыми колесами посредствомъ шнурка *ц*, замѣтивъ при этомъ время по секундомѣру. Затѣмъ по прошествіи извѣстнаго времени нужно разомкнуть приборъ по-

мощью шнура *э* и, вынувъ изъ воды, прочесть показанія лимбовъ и число оборотовъ зубчатыхъ колесъ.

Подводный флюгеръ другаго типа (смотри листы 14 и 15), состоитъ изъ двухъ крестообразно расположенныхъ, взаимно перпендикулярныхъ стальныхъ лопастей *А. А.*, укрѣпленныхъ на стальномъ же коромыслѣ *В*, вращающемся въ вертикальной и горизонтальной плоскостяхъ. Для уравниванія крыльевъ флюгера, на другомъ концѣ коромысла помѣщается свинцовая гиря въ видѣ конуса *В*. Осью для горизонтальнаго движенія служитъ латунная трубка *Г*, съ конусообразной стальной втулкой *Д* на нижнемъ концѣ. Ось для вертикальныхъ поворотовъ проходитъ черезъ ту же трубку, по ея диаметру *Е*. Нижняя ось трубки упирается въ ячейку стальной подставки *Ж*, укрѣпленной на внутренней сторонѣ бронзоваго кольца *З*. Кольцо *З* навинчивается на нижній конецъ желѣзной трубы *И*, которая и служитъ основаніемъ всего прибора.

Латунная трубка проходитъ чрезъ середину основной трубы, такъ что геометрическія оси обѣихъ трубъ совпадаютъ.

На верхнемъ концѣ главной трубы, точно также какъ на нижнемъ, навинчена бронзовая дуга *Г*, въ верхней части которой помѣщенъ стальной винтъ *К* съ заостреннымъ концемъ, въ который упирается верхній конецъ средней трубки. Подобнаго устройства подводный флюгеръ можетъ показывать въ одно время уклоненіе струи въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ. Для опредѣленія горизонтальнаго уклоненія служитъ стрѣлка *Л*, насаженная на среднюю трубку и лимбъ *М*, прикрѣпленный къ главной трубѣ. Струя воды, повернувъ лопасть флюгера вправо или влѣво, повернетъ и среднюю трубку, а слѣдовательно и стрѣлку, которая покажетъ на лимбѣ величину угла уклоненія струи. Для показаній вертикальныхъ отклоненій струй служитъ стрѣлка съ коромысломъ *Н* и лимбъ *О*, укрѣпленные оба на средней трубкѣ, стрѣлка подвижно на оси, а лимбъ неподвижно. Передача стрѣлкѣ вертикальныхъ колебаній флюгера достигается посредствомъ двухъ проволокъ *П П* одинаковой длины и параллельно идущихъ отъ плечъ коромысла флюгера къ плечамъ коромысла стрѣлки. Проверка и натягиваніе проволокъ производится помощью винтовыхъ муфтъ *Р Р*.

Для помѣщенія флюгера на желаемой глубинѣ, главная, основная труба размѣчена краской на сотыя доли сажени.

Для ориентировки прибора по профили, означенной въ-

хами на берегу, служатъ діоптры *C*, прикрѣпленные съ боку, къ верхней части прибора, а для отвѣсной установки служатъ уровни *T*, помѣщенные на горизонтальномъ лимбѣ.

Длина всего аппарата около 3 саж. позволяетъ производить наблюденія, опуская его до 2,5 сажень подъ горизонтъ воды.

Для установки флюгера служить треножный штативъ, снабженный прямоугольной, изъ полыхъ желѣзныхъ трубъ, рамой. Какъ верхняя, связывающая часть штатива, такъ и ноги его сдѣланы изъ дубоваго или другаго тяжелаго и крѣпкаго дерева. Столъ штатива окованъ по бокамъ желѣзными пластинами, выступающіе концы которыхъ служатъ проушинами для ногъ. Ноги штатива, окованныя по ребрамъ, по всей своей длинѣ, прямоугольнымъ желѣзомъ, укрѣплены въ проушинахъ помощью нажимныхъ винтовъ *aaa*. Для воспрепятствія погруженію ногъ въ мягкій грунтъ дна, оконечности ихъ снабжены желѣзными чашками *bbb*. Эти чашки и на твердомъ каменистомъ грунтѣ, упираясь въ него своими острыми краями, не позволяютъ скользнуть штативу. Чтобы не допустить раздвиганія ногъ далѣе извѣстнаго предѣла, онѣ соединены почти на серединѣ своей высоты веревками *ooo*, отъ мѣстъ прикрѣпленія коихъ идутъ концы этихъ веревокъ, служащія при опусканіи штатива въ воду для раздвиганія ногъ.

Рама, по которой опускается флюгеръ, прикрѣплена съ боку, къ верхней части площадки штатива, помощью двойнаго шарнира *г*, позволяющаго ей свободное качаніе. По главной рамѣ, на роликахъ движется вверхъ и внизъ маленькая рамка *д*, снабженная двумя растворяющимися на шарнирахъ скобами *ее*. Такая же скоба помѣщается и на верхней части главной рамы *ж*. Въ эти три скобы вставляется труба флюгера: Для приведенія въ отвѣсное положеніе трубы флюгера, отъ нижней части рамы идутъ три тонкія бичевки *ззз*, каждая изъ коихъ проходитъ черезъ блоки *и*, помѣщенные у концовъ ногъ штатива, и направляется вверхъ, вдоль по ногѣ, къ валикамъ съ рукоятками и храповыми колесами *iii*. Натягивая или опуская вращеніемъ рукоятокъ эти три бичевки, можно привести флюгеръ въ отвѣсное положеніе.

Для поднятія и опусканія флюгера на желаемую глубину служитъ бичевка *к*, идущая отъ движущейся вмѣстѣ съ флю-

геромъ рамки *d*, черезъ блокъ *л*, насаженный на верхней части большой рамы, къ валу *н*.

При наблюдёніяхъ въ одномъ мѣстѣ на разныхъ глубинахъ, не требуется каждый разъ наводить діоптры по створной линіи, такъ какъ при началѣ наблюдёній возможно закрѣпить трубу флюгера въ скобахъ *е*е посредствомъ винтовъ *п*п.

Для увеличенія тяжести прибора, въ виду приданія штативу большей устойчивости, подъ верхней площадкой его, по срединѣ ея, подвѣшенъ на блокѣ желѣзный, цилиндрическій резервуаръ *p* съ водой, на днѣ коего сдѣлано отверстіе съ клапаномъ для наполненія и выпуска воды.

Для перевозки и установки штатива съ флюгеромъ, требуется два спаренныя судна съ надстройкою надъ ними, какъ показано на чертежѣ. Высота надстройки, 3,5 саж., достаточна для поднятія всего штатива изъ воды. Поднятіе и опусканіе штатива будутъ производиться помощью небольшой лебедки, помѣщенной на мостикѣ задней части шаланды. Съ обѣихъ сторонъ обстройки, въ рамахъ движутся по роликамъ подъемныя платформы, съ откидными на шарнирахъ бортами *B*. При такомъ устройствѣ платформъ, наблюдатель, поднимаясь и опускаясь на нихъ, постоянно находится у верхняго конца трубы близъ лимбовъ и установительнаго аппарата. Подъемъ платформъ съ наблюдателемъ производится той же лебедкой, которая служитъ для подъема штатива. Съ этой цѣлью, къ главному канату въ точкѣ *B* прикрѣплены два боковые каната, которые вмѣстѣ съ нимъ переходятъ черезъ трехкивный, неподвижный блокъ *Г*, помѣщенный на верху обстройки и отсюда пройдя подъ блоками *ДД*, переходятъ на блоки *ЕЕ* и опускаются къ платформамъ. Для завоза и выемки якорей потребуется небольшой дубъ. Установка суденъ (шаланды) на якоряхъ по створной линіи показана на схематическомъ планѣ.

Флюгеръ второго типа имѣетъ два недостатка по сравненію съ флюгеромъ перваго типа, а именно: 1) перевозка, опусканіе, установка и подъемъ штатива требуютъ гораздо болѣе времени, чѣмъ установка перваго прибора, а потому для практическаго примѣненія съ цѣлью точнаго и по возможности быстрого опредѣленія расхода воды, первому прибору нужно отдать предпочтеніе, и 2) наблюденія помощью перваго прибора производится, стоя на неподвижныхъ подмосткахъ, устроенныхъ на суднахъ или козлахъ, а для наблюдёній надъ флюгеромъ втораго типа наблюдатель дол-