

Н.Б. Барышников, М.В. Соболев, Е.А. Поташко, Е.М. Скоморохова, Е.С. Субботина

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА БЕРЕГАХ И В РУСЛАХ РЕК В ЦЕЛЯХ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ

N.B. Barishnikov, M.V. Sobolev, E.A. Potashko, E.M. Skomorohova, E.S. Subbotina

DEVELOPMENT PRINCIPLES OF OPTIMAL PLACING OF THE HYDRAULIC WORKS ON BANKS AND RIVERBEDS FOR MINIMIZATION POTENTIAL HYDROLOGICAL RISKS

Рассмотрены принципы размещения на берегах и в руслах равнинных рек активных и пассивных гидротехнических сооружений. Вскрыты причины гидрологических рисков при проектировании и строительстве активных и пассивных гидротехнических сооружений. В качестве таковых рассмотрены риски при строительстве и эксплуатации водохранилищ, мостовых переходов, водозаборов, водовыпусков и переходов трубопроводов через реки. Приведены рекомендации по минимизации возможных ущербов при этих рисках.

Ключевые слова: гидрологические риски, регулирующие водохранилища, ГЭС, мосты, мостовые переходы, переходы трубопроводов, русловые процессы, реки, минимизация, натурная информация.

Principles of optimal placing active and passive hydraulic works on banks and riverbeds of the peneplain rivers have been examined. Reasons of hydrological risks in time of the designing and building active and passive hydraulic works have been identified. Among these reasons have been examined: risks in time of the building and exploitation of reservoirs, bridges, water intakes, water outlets and pipelines crossings across the rivers. Recommendations on minimization potential damages from this risks have been given.

Key words: hydrological risks, regulating reservoirs, hydropower plants, bridges, bridge and pipeline crossings, river bed evolutions, rivers, minimization, location information.

В соответствии с современной концепцией все гидротехнические сооружения и водохозяйственные мероприятия, проводимые в бассейне или в русле и пойме реки, подразделяются на активные и пассивные (рис.1). К активным относятся сооружения и мероприятия, которые не только испытывают на себе воздействие русловых процессов, но и оказывают на них существенное влияние. К пассивным относятся те сооружения, которые только испытывают на себе воздействие русловых процессов, но существенного влияния на них не оказывают.

Исходя из этого, рекомендации по размещению этих двух групп сооружений должны существенно отличаться друг от друга. Для первой группы сооружений необходимо оценивать не только то какое воздействие на них окажут русловые процессы, но и какое влияние окажут эти сооружения на окружающую среду в целом и русловые

процессы в частности. При их проектировании необходимо учитывать фоновый прогноз развития русловых процессов на период в 100 лет и более.

Для пассивных сооружений необходимо оценить какое воздействие русловые процессы окажут на них, а так же оценить последствия влияния сооружения на экологическую обстановку в районе сооружения.



Рис. 1 – Типизация речных инженерных сооружений по их воздействию на русловые и пойменные процессы (по Б.Ф. Сنيщенко)

Для этих сооружений необходимо составить локальный прогноз развития русловых деформаций на период действия сооружения, которое рассчитано на 30-50 лет. Локальный прогноз разрабатывается на основе фонового прогноза. При этом, в зави-

симости от типа сооружения, может быть использован либо гидроморфологический, либо гидравлический метод [1,2].

Прежде чем перейти к анализу принципов размещения гидротехнических сооружений отметим, что основные ущербы целиком и полностью определяются человеческим фактором. Именно незнание основных закономерностей развития русловых процессов приводят к принятию неправильных решений и, как следствие, к большему экономическим ущербам.

Рассмотрим основные принципы размещения гидротехнических сооружений на берегах и в руслах рек.

Наиболее важным является выбор местоположения плотины ГЭС и регулирующего водохранилища. При этом рассматривается и оценивается несколько вариантов и из них выбирается оптимальный с точки зрения экономики и экологической безопасности.

При выборе местоположения плотины ГЭС прежде всего рассматривается величина напора, одна из главных составляющих, определяющих мощность ГЭС ($N=\beta QH$). Здесь Q – расчётное среднесуточное значение расхода воды, H – величина напора и β – коэффициент равный произведению коэффициентов полезного действия на величину ускорения силы тяжести (g).

Величина напора в общем и целом определяет площади затопления и подтопления земель. В качестве примера можно привести Чебоксарскую ГЭС, построенную не только для выработки энергии, но и для обеспечения повышенных значений минимальных транзитных глубин. Причём в данном случае основным фактором является не получение энергии, хотя этот фактор также имеет большое значение, а обеспечение минимальной транзитной глубины, примерно равной 4,0 метрам на участке от г. Городец, где расположена плотина Горьковской ГЭС, до г. Н. Новгород. Именно этот участок лимитирует судоходство с осадкой 3,5-4,0 метра, так как, несмотря на мощные дноуглубительные работы, минимальная транзитная глубина, отсчитываемая от проектного уровня, не превышает 2,3-2,5 м. На этом участке длиной 54 км, ежегодно удаляется до 11 миллионов кубометров аллювия, но при увеличении разработки лимитирующих перекатов происходит посадка уровня примерно на такую же величину, на которую уменьшились отметки дна лимитирующих перекатов. Сразу же встаёт вопрос, в чём причина такого положения и какой выход из него?

Действительно, одной из основных задач строительства каскада ГЭС на р. Волге была необходимость обеспечения минимальной транзитной глубины на всём расстоянии от Москвы до Астрахани примерно равной 4 метрам. В системе каскада ГЭС, завершающую стадию регулирования стока и обеспечению 4-х метровых минимальных транзитных глубин отводилось водохранилище Чебоксарской ГЭС. По проектным данным оно должно быть заполнено водой до отметки 68,0 метра. Однако в настоящее время оно заполнено водой до отметки 63,0 метров, т.е. на 5,0 метров ниже проектной отметки, что и послужило причиной уменьшения минимальных транзитных глубин на участке Н. Новгород – Городец. Основными причинами не наполнения водохранилища до НПУ явились большие площади затопления и особенно подтопления плодородных сельскохозяйственных земель, а также подтопление г. Н. Новгород.

Поэтому необходимо было уже на стадии проектирования изучить другие возможные варианты решения этой проблемы. Этого сделано не было, что и привело к большим гидрологическим рискам и нанесению ущерба как энергетике, так и судоходству. В результате, судоходство и энергетика испытывают большие трудности, особенно в маловодные годы.

Рассмотрим возможные пути минимизации гидрологических рисков. Таких путей два. Первый — это подъём уровня в водохранилище на 5 метров до отметки в 68,0 метров. Но этот путь, как уже указывалось, нельзя признать эффективным из-за больших сельскохозяйственных и других ущербов. Второй путь — был предложен сотрудником воднотранспортной нижегородской академии проф. Р.Д. Фроловым. Его предложение заключается в строительстве вблизи г. Нижний Новгород низконапорной плотины с водопропускным отверстием в пределах судового хода. Более того, в проекте предусмотрено строительство по верхней части этого сооружения мостового перехода. Несмотря на то, что мосты, хотя, как известно, за счёт значительного сужения дороги и создают автомобильные пробки, их отсутствие ещё более осложняет ситуацию. Поэтому, в случае реализации этого проекта решается сразу несколько важных хозяйственных проблем: увеличиваются минимальные транзитные глубины на участке Городец — Н.Новгород, увеличивается выработка электрической энергии, за счёт ликвидации холостых сбросов на ГЭС, необходимых для обеспечения судоходных глубин, уменьшаются площади затопления и подтопления сельскохозяйственных угодий и наконец ликвидируется угроза подтопления зданий в г. Н. Новгород, расположенных на низких отметках.

Однако прежде, чем принять окончательное решение необходимо рассмотреть и другие возможные варианты. В частности, строительство нескольких низконапорных ГЭС на лимитирующем участке и другие.

Для минимизации ущербов необходимо учитывать и другие негативные процессы, возникающие при строительстве водохранилищ ГЭС как в верхнем, так и в нижнем бьефах, такие как разрушение берегов водохранилищ, в верхних бьефах, местный и общий размывы русла — в нижних бьефах водохранилищ, сопровождаемые посадками уровней, что приводит к обнажению водозаборов и водовыпусков и нарушению работы судоходства. Особенно остро стоит вопрос о строительстве в нижних бьефах различных, в том числе гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий, проводимых в последующий период после строительства водохранилищ и не предусмотренных в их проектах,

Особенно острой является проблема организации разработки русловых карьеров в нижних бьефах ГЭС. Она приводит к значительному увеличению ёмкости русел и, как следствие, к дополнительным посадкам уровней. Последние приводят к значительным негативным последствиям: обнажению водозаборов и водовыпусков, разрушению опор мостов, причалов, набережных и, как следствие, к резкому уменьшению продолжительности затопления пойм, что особенно негативно сказывается на их сельскохозяйственной продуктивности в аридных зонах.

Какие же работы необходимо провести с целью минимизации гидрологических рисков при проектировании и строительстве водохранилищ ГЭС. Основными являются сбор информации и оценка экономической эффективности различных вариантов

с условием их экологической безопасности. Крайне важным является анализ вариантов строительства и эксплуатации других гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий, проектируемых и эксплуатируемых в период последующей эксплуатации ГЭС с учётом требований различных водопользователей (дорожное строительство, сельское и рыбное хозяйство, переходы трубопроводов и ЛЭП, судоходство и др.). Можно в качестве примера рассмотреть крайне не эффективное проектирование и строительство Бухтарминской ГЭС на верхнем участке р. Иртыш. Водоохранилище проектировалось на основе условия многолетнего регулирования стока. Однако оно так и не было полностью заполнено водой. В начале 60-х годов прошлого столетия обширные плодородные поймы р. Иртыш перестали затопляться и стали сначала остепняться, а затем и опустыниваться, что привело к резкому уменьшению их сельскохозяйственной продуктивности. Попуски из водоохранилища, минуя турбины, для затопления поймы, в первый год привели к существенному повышению их сельскохозяйственной продуктивности за счёт того, что, затопившая пойму волна пуска вымыла запасы гумусных частиц из пониженных участков ее рельефа и равномерно распределила их по пойме. В последующие же годы, несмотря на затопления поймы при пусках, её урожайность резко снизилась, так как вместо гумусных частиц на пойму стали поступать частицы песка, из размываемого русла в нижнем бьефе ГЭС. Для решения проблемы, с учётом того, что воды верховьев Иртыша (Чёрный Иртыш) практически полностью разбираются на орошение Китайской стороной, был ниже Бухтарминской ГЭС построен каскад других ГЭС.

Таким образом, для минимизации потерь за счёт гидрологических рисков необходимо:

- совершенствование методов расчётов как максимальных расходов воды, русловых деформаций, посадок уровней, процессов взаимодействия потоков и других характеристик, так и повышение качества исходной натурной информации;
- экспертиза проектов должна осуществляться не только гидротехниками, но и обязательно гидрологами, в том числе русловиками и экологами.

Рассмотрим гидрологические риски и пути их минимизации при проектировании и строительстве мостовых переходов.

На основе анализа картографических планово-высотных аэрофотосъёмочных и космических материалов осуществляется предварительный выбор участков расположения мостов. Как правило, выбирают три таких участка. Далее, необходимо проводить дополнительную съёмку местности, так как реки за короткий период времени, в частности при прохождении катастрофических паводков, могут весьма существенно изменять положение своего русла. После проведения дополнительных топо- геодезических, гидрологических и других работ на основе экономических расчётов с учётом экологической безопасности, осуществляется выбор основного участка расположения мостового перехода. Даже на этой стадии возникают риски за счёт неправильного обоснования выбора расчётного участка. Особенно, если учитывать российские условия (наличие лобби, давление чиновников и др.). При этом обязательным условием является, то, что дорога подводится к мосту, а не мост к дороге, так как железобетонные конструкции значительно дороже и сложнее для производства, чем земляные работы.

Следующая стадия – выбор направления оси моста. Как правило, оно выбирается нормально к динамической оси потока. При несовпадении осей руслового и пойменного потоков ось моста назначается перпендикулярно оси руслового потока, если 70% и больше максимального расхода воды расчётной обеспеченности проходит по руслу, или оси пойменного потока, если по пойме проходит 70% и более максимального расхода воды расчётной обеспеченности. Как правило, мосты под различными углами к осям руслового и пойменного потоков не строят, кроме исключительных случаев.

При этом возникают гидрологические риски за счёт ошибок в расчётах долей русловой и пойменной составляющих потока. Особенно эта проблема обострилась в последние 10-20 лет, когда наметился резко выраженный тренд повышения водности большинства рек ЕТР, что поставило под сомнение методику, рекомендованную СНиПом и основанную на условии стационарности гидрологических процессов. Какими же способами можно минимизировать гидрологические риски в этих случаях? Одним из таких путей является путь, основанный на данных натуральных наблюдений за «метками высоких вод» и сведениями о морфометрических характеристиках русел и пойм и их коэффициентах шероховатости. Эти данные позволяют получать расчётные значения максимальных расходов воды на основе методики, учитывающей эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков. При этом расчёт максимальных расходов воды осуществляется на основе графических зависимостей вида

$$V_p/V_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$$

для русловой части потока, приведённой на рис. 2 и

$$Q_n/(Q_p + Q_n) = f[F_n/(F_p + F_n); n_n/n_p; \beta]$$

для пойменной части, приведённой на рис. 3

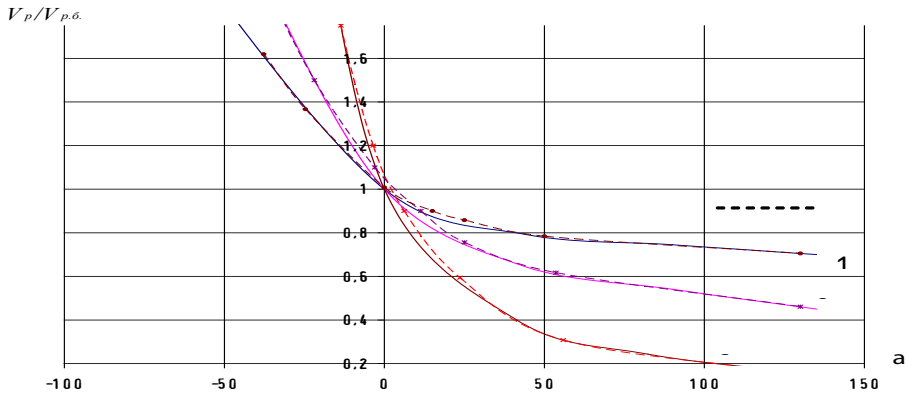


Рис. 2 – Кривые $V_p/V_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$. 1- $h_p/h_{p.б.} = 1, 10$; 2- $h_p/h_{p.б.} = 1.25$; 3 - $h_p/h_{p.б.} = 1.50$ 4. – уточнённое положение кривых

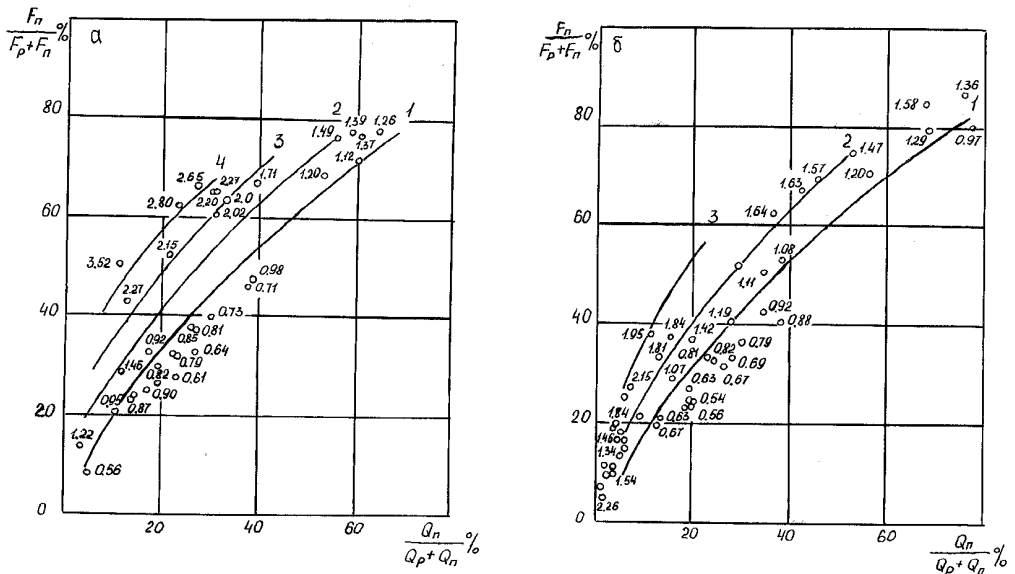


Рис. 3 - Кривые $Q_n / (Q_p + Q_n) = f(F_n / (F_p + F_n), n_n / n_p)$:
 а и б - соответственно третий и второй типы взаимодействия потоков
 Около точек значения n_n / n_p : 1 - $n_n / n_p = 1,0$; 2 - $n_n / n_p = 1,5$; 3 - $n_n / n_p = 2,0$; 4 - $n_n / n_p = 2,5$.

Здесь индексы р и р.б. обозначают, что скорости руслового потока определяются при наивысших уровнях «р» или при уровнях затопления бровок прирусловых валов «р.б.». Индексы означают, что параметры относятся к русловому «р» или пойменному «п» потокам.

В данной методике учтено влияние эффекта взаимодействия потоков и допускается расчёт на основе формулы Шези только при уровне затопления бровки прируслового вала, когда этот эффект либо отсутствует, либо его влияние мало.

Следующим гидрологическим риском является выбор расчётной обеспеченности максимальных расходов воды и расчётного гидрографа стока и особенно продолжительности периода воздействия максимального расхода воды. При этом величины гидрологических рисков резко возрастают. Для их уменьшения необходимо построить по натурным данным кривые расходов воды и вспомогательные. По этим кривым определить значения максимальных расходов, соответствующие уровням 1% обеспеченности и сравнить эти данные с данными, полученными на основе статистических расчётов.

Гидротехники обычно ставят сплошную дамбу через пойму, перекрывая такой дамбой даже мощные протоки. Так на р. Амур, при строительстве автодорожного моста, были перекрыты две протоки, одна из них с расчётным расходом воды около 1000 м³/с, а другая с расходом около 700 м³/с. За счёт этого был расчищен, прилегающий к мосту участок поймы, для увеличения пропускной способности подмостового русла. В этом случае возникают гидрологические риски:

— за счёт резкого сжатия пойменного потока и направления его под различными углами в русловую поток. Так на р. Волге в 30 км выше г. Казани был построен автодо-

рожный мост. При этом дамба длиной около 5 км полностью перекрыла пойму. Когда была построена дамба и струенаправляющие сооружения, сосредоточенный поток ударил в струенаправляющее сооружение, разрушая его и разбрасывая 18-метровые металлические шпунтовые сваи. Для предотвращения полного смыва дамбы строители были вынуждены с помощью земснаряда прорыть на пойме канал, шириной 300 м и глубиной 20 – 25 метров.

Этот пример иллюстрирует просчёты при проектировании, когда не 1%, а 60% максимальный расход воды смог разрушить дамбу и струенаправляющее сооружение. Для уменьшения таких гидрологических рисков необходимы были точные натурные данные и проведение испытаний на физических моделях участков русел с поймами не только для уточнения величины пойменной составляющей, но, и что является более важным, плавного введения пойменного потока в русловую [3,4].

Особое место занимают гидрологические риски, вызванные погрешностями расчётов местного и общего размывов подмостовых русел. Известно, что около 30% аварий мостов обусловлено размывами у опор мостов. Причиной этого является несовершенство формул и методов расчётов глубин размыва подмостовых русел. Какие же пути минимизации гидрологических рисков в этих условиях. Один из них – совершенствование расчётных методов. Другой – увеличение коэффициентов запаса при строительстве этих опор. Известно, что расчётная зависимость, в частности для глубин местного размыва вида $h_{mp} = f(h, v, k, G, k_\phi, k_k \text{ и др.})$, является многофакторной. Более того, она осложняется в зависимости от характера грунтов (сыпучие или связные). Поэтому практически все формулы для расчётов максимальных глубин местного размыва являются эмпирическими. К тому же производство натуральных исследований осуществляется после прохождения экстремального паводка, т.е. в условиях, когда воронка размыва частично заносится, поступающими в неё наносами. Модельные же испытания из-за масштабного эффекта, эффекта пространственности и других причин приводят к результатам существенно отличающимся от натуральных.

После анализа принципов размещения активных гидротехнических сооружений на берегах и в руслах рек и разработки рекомендаций, направленных на минимизацию возможных гидрологических рисков, приведём результаты аналогичных исследований, но уже по размещению пассивных гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий. Как вытекает из таблицы (рис.1), к пассивным сооружениям в первую очередь относятся водозаборы и водовыпуски и переходы трубопроводов через реки. Это наиболее часто строящиеся и эксплуатируемые гидротехнические сооружения. Не умоляя значения других сооружений, примем за основу анализа и разработки рекомендаций эти виды сооружений, а именно водозаборы, водовыпуски и переходы трубопроводов через реки. Как указывалось, срок действия этих сооружений составляет 30-50 лет. Поэтому прогноз русловых процессов и вызываемых ими русловых деформаций должен быть составлен на этот же период. Как указывалось, при этом может быть применено одно из направлений в оценке русловых деформаций: гидроморфологическое или гидравлическое. По-видимому, в данном случае целесообразно ограничиться гидроморфологическим методом.

Главным затруднением при выборе местоположения водозаборов и водовыпусков является выбор участка с русловым процессом, не затрудняющим эксплуатацию водозабора. При этом наихудшими являются участки русел рек как с побочным типом руслового процесса, так и многорукавные русла. В первом случае, особенно в многоводные периоды скорость перемещения побочной резкой возрастает и водозабор может быть полностью занесён наносами, что приводит к необходимости его переноса, как это было на р. Обь у г. Барнаула или проведению дорогостоящих мероприятий по его защите.

Изложим рекомендации по размещению **водозаборов и водовыпусков** при различных типах русловых процессов.

Немеандрирующее русло с ленточными грядами

Рекомендации по размещению: практически все сооружения в любых створах будут испытывать колебания отметок дна от подваля до гребня гряды.

Рекомендации по защите: водозаборы желательны ковшовые, неизбежны периодические расчистки русла у ковшей. Можно рекомендовать перевод наносов в безгрядовый режим, однако это требует регулирования стока воды и наносов.

Ограниченное меандрирование

Определяющий фактор: размыв вогнутых берегов в ходе сползания излучин и намыв выпуклых.

Рекомендации по размещению: водозаборы и водовыпуски целесообразно располагать в низовых концах плесовых лощин.

Рекомендации по защите: при медленном сползании — укрепление берега на участке сооружения, при быстром сползании — отторжение пойменного массива (спрямление русла).

Свободное меандрирование

Рекомендации по размещению: водозаборы и водовыпуски размещаются в хорошо развитых излучинах на слабдеформируемых плёсах. В слабо развитых излучинах то же, но требуется одновременное регулируемое спрямление излучин. Необходимо крепление их вогнутого берега при затопляемых поймах, возведение поперечных земляных дамб на перекатах излучин.

Незавершённое меандрирование

Определяющий фактор — стадия развития спрямления.

Рекомендации по размещению: водозаборы и водовыпуски размещаются в плёсе отмирающего рукава по рекомендациям аналогичным для свободного меандрирования.

Рекомендации по защите: стимулирование спрямлений с последующий их поддержкой креплением на входе протоки.

Многорукавные русла

В случаях русловой и пойменной многорукавности сооружения размещаются в соответствии с типом руслового процесса в протоке и рекомендациями данными для этого типа.

Переходы трубопроводов через реки

Следует отметить, что переходы трубопроводов через реки могут быть двух типов: воздушные и подводные.

К воздушным типам переходов применяются те же требования, что и к мостовым переходам, поэтому здесь рассмотрим только рекомендации по расположению подводных переходов через реки при различных типах русловых процессов.

Немеандрирующее русло с ленточными грядами.

Изменения отметок дна связаны с перемещением гряд. Амплитуда колебания отметок дна равна высоте гряд.

Рекомендации по размещению: практически сооружения в любых створах будут испытывать колебания отметок дна.

Рекомендации по защите: трубопроводы должны размещаться на 1,5 м ниже отметок подвалей гряд.

Побочневый тип процесса

Определяющий фактор: напозание побочней.

Рекомендации по размещению: переходы в любом месте с залеганием на глубину не менее 1,0–1,5 м ниже отметки подвалей побочней (в зависимости от класса сооружений).

Ограниченное меандрирование

Определяющий фактор: размыв вогнутых берегов в ходе сползания излучин и намыв выпуклых.

Рекомендации по размещению: переходы размещаются при медленном сползании излучины на перекатах русла, при быстрых – в пределах плёсовых лощин.

Свободное меандрирование

Определяющий фактор: стадия развития излучин.

Рекомендации по размещению: при всех стадиях развития излучин в точках перегиба русла (на перекатах) с залеганием ниже сезонных деформаций.

Незавершённое меандрирование

Определяющий фактор: стадия развития спрямления.

Рекомендации по размещению: переходы размещаются в отмирающих рукавах близ точки перегиба русла, в спрямлениях – в зависимости от типа руслового процесса в них.

Многорукавные русла

В случаях русловой и пойменной многорукавности сооружения размещаются в соответствии с типом руслового процесса в протоке и рекомендациями, данными для этого типа.

Основными недостатками при проектировании и строительстве водозаборов, водовыпусков и переходов трубопроводов является человеческий фактор, так как ошибки могут возникать:

- из-за недостатка натурной информации за последние годы;
- погрешности определения типа руслового процесса и, главное скорости его развития;

- необходимость учёта возможности «всплывания» трубопроводов, особенно при транспортировке газа;
- недостаточного учёта воздействия других гидротехнических сооружений, расположенных выше или ниже створа перехода или водозабора и водовыпуска.

Рекомендации по минимизации ущерба:

- повышение квалификации проектировщиков в области гидрологии и особенно русловых процессов;
- использование современных методов получения натурной планово-высотной и гидрологической информации;
- учёт при определении скоростей движения русловых образований, водности расчётного периода;
- освоение методики расчётов поправок к скоростям движения русловых образований за счёт водности расчётного периода.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № П1385 от 02 сентября 2009 г.) по направлению «Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф».

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Русловые процессы [Текст] / Н.Б. Барышников// – СПб.: изд-во РГГМУ, 2008.– 438с.
2. *Кондратьев Н.Е.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса [Текст] / И.В. Попов, Б.Ф. Снищенко // –Л.: Гидрометеиздат, 1980.— 272 с.
3. *Истомин Е.П., Слесарева Л.С.* Оценка риска экстремальных гидрометеорологических явлений [Текст] / Е.П. Истомин, Л.С. Слесарева // –СПб.: Ученые записки, РГГМУ, №16, 2010.– с.14-22.
4. *Векшина Т.В.* Гидрологические сопротивления рек, зарастающих растительностью [Текст] / Т.В. Векшина // –СПб.: Ученые записки, РГГМУ, №15, 2010.– с.19-27.