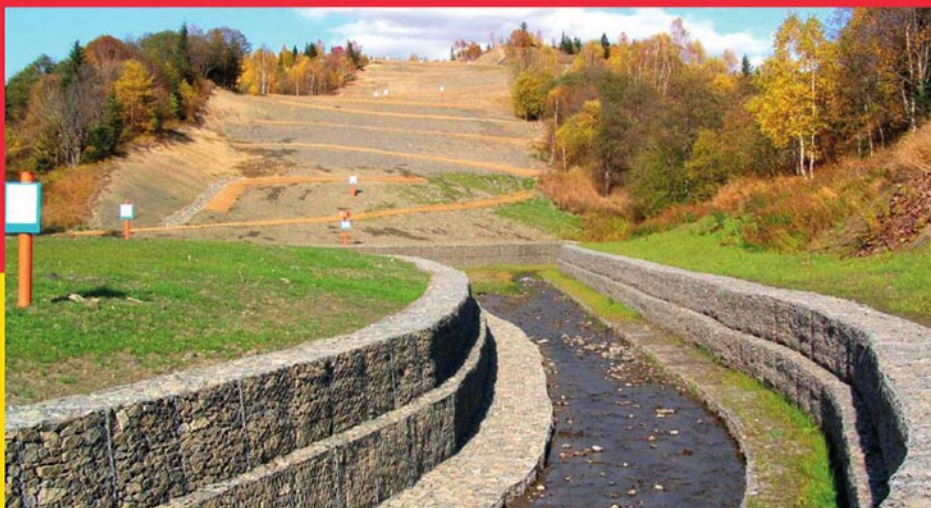


И. А. ИВАНОВ

# ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАБИОНОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

---

2-е издание



УДК 624  
ББК 38.5  
И20

*Рецензенты:*

доктор технических наук *В. Д. Анахин*;  
доктор педагогических наук *В. С. Самсонов*

**Иванов, И. А.**

**И20** Технологии применения габионов в современном строительстве : учебное пособие / И. А. Иванов. – 2-е изд., перераб. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 196 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1357-2

Рассмотрены вопросы применения габионов в мелиорации и дорожном строительстве, ПГС, а также в берегоукрепительных работах и облагораживании территорий. Приведены типы, разновидности и общие требования к габионным конструкциям. Описывается методика проектирования и расчета габионных сооружений, технология крепления, опыт дизайнерских решений использования габионов, примеры сооружений из габионов в условиях Севера и городской застройки.

Для студентов строительных специальностей, а также преподавателей, проектировщиков и строителей.

УДК 624  
ББК 38.5

ISBN 978-5-9729-1357-2

© Иванов И. А., 2023  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1</b>	
<b>Структура мелиоративной сети и наиболее распространённые методы крепления каналов.....</b>	
<b>5</b>	
1.1. Структура мелиоративной сети, конструктивные особенности мелиоративных каналов.....	5
1.2. Существующие технологии крепления дна и откосов каналов .....	20
1.3. Крепление каналов габионами.....	40
1.4. Экологические аспекты крепления гидротехнических сооружений габионами и их износ .....	52
<b>Глава 2</b>	
<b>Общие положения и требования к габионным конструкциям....</b>	
<b>63</b>	
2.1. Типы и разновидности габионных конструкций .....	64
2.2. Нетрадиционные и сопрягаемые с ними габионные конструкции.....	70
2.3. Откосы подтопляемых сооружений .....	75
2.4. Вдольбереговые укрепительные сооружения.....	79
<b>Глава 3</b>	
<b>Машины для изготовления сетки двойного кручения с шестигранной ячейкой .....</b>	
<b>84</b>	
3.1. Классификация скручивающих элементов .....	85
<b>Глава 4</b>	
<b>Методика расчета габионных сооружений .....</b>	
<b>93</b>	
4.1. Классификация объектов, усиливаемых габионными конструкциями, и габионных структур.....	94
4.2. Обоснование принятия проектного решения и выбор конструкции .....	109
4.3. Проектирование стен системы Террамеш .....	122
4.4. Методика проектирования и расчета габионных структур для защиты от размыва откосов насыпей, берегов, мостовых опор и конусов мостов.....	129
<b>Глава 5</b>	
<b>Технология крепления берегов рек, откосов каналов, мостовых переходов и водосбросных сооружений габионами .....</b>	
<b>142</b>	
5.1 Работа габионных конструкций в условиях Севера .....	150
5.2 Экономическое обоснование применения габионов.....	159
5.3 Опыт дизайнерских решений при использовании габионов...	163
<b>Приложение.....</b>	<b>168</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>195</b>

## **Глава 1**

### **Структура мелиоративной сети и наиболее распространенные методы крепления каналов**

#### **Вступление**

Применение габионов имеет самое разнообразное значение – крепление берегов рек, озер и водохранилищ, крепление откосов от камнепадов, крепление железных дорог и автополотна и даже как часть архитектуры во временных сооружениях и ,вероятно, что после ознакомления с книгой читатель расширит свои познания в сфере применения габионов.

Но все-таки основное применение габионов это – мелиорация и дорожное строительство. Строительство мелиоративной сети бывает часто необходимо при строительстве железнодорожного пути и при строительстве автодорог, аэродромов, в промышленном и гражданском строительстве, при строительстве и осушении карьеров, а также при желании придать местности экологическое равновесие. Поэтому вначале мы и остановимся на структуре мелиоративной сети как наиболее универсальной при применении габионов.

#### **1.1. Структура мелиоративной сети, конструктивные особенности мелиоративных каналов**

Мелиоративные системы в соответствии с существующей классификацией подразделяются на оросительные и осушительные.

*Оросительные системы* различают по сельскохозяйственному назначению, техническому состоянию, мощности, способу забора воды из источника орошения и числу обслуживаемых хозяйств.

Состав элементов оросительной системы, их расположение, конструкция оросительной и дренажной сети зависит от природных и хозяйственных условий орошаемого массива, в частности, от геоморфологических, гидротехнических условий, от типа почв, от взаиморасположения источника орошения и орошаемой площади, а также от направления хозяйства – состава сельскохозяйственных культур, размеров орошаемого массива, его конфигурации, от площади хозяйств, расположенных на массиве орошения, от применяемых способов и техники полива, числа и размеров севооборотных участков и других условий .

Оросительная сеть – система оросительных каналов, которые транспортируют воду от источника орошения к орошаемому массиву, распределяют воду между отдельными хозяйствами и подают ее на участки полива.

Для проектирования каналов оросительной сети необходимо знать их назначение, рельеф местности и характер грунтов, в которых будут проходить каналы. Прежде всего следует определить расчетные расходы воды, которые требуется пропустить по каждому из каналов сети. Для этого составляется план водопользования на оросительной системе. Расчетные расходы каналов оросительной сети определяют на основе сочетания во времени потребности в воде отдельных хозяйств и режима источника орошения.

Основным расчетным расходом канала является расход канала, подаваемый на севооборотный участок. Его вычисляют по формуле :

$$Q_H^{CO} = qF_H^{CO} \quad (1.1)$$

где  $q$  – расчетная ордината графика гидромодуля, л/с га;  
 $F_H^{CO}$  площадь севооборотного участка нетто, га.

Расходы нетто всех остальных каналов оросительной сети вычисляют через  $Q_H^{CO}$  с учетом общесистемного плана водопользования. Для большинства оросительных систем при хорошей водообеспеченности все каналы старшего порядка, включая каналы севооборотных участков, подают воду постоянно в течение всего вегетационного периода, в соответствии с графиком гидромодуля. В то же время расчетные расходы каналов согласуют с суточной площадью полива поля, с суточной производительностью сельскохозяйственных машин и механизмов на послеполивной обработке поля. Необходимо также учитывать, что:

$$Q_H^{CO} = \sum Q_H^{bx} \quad (1.2)$$

где  $\sum Q_H^{bx}$  – сумма расходов временных оросителей, работающих на поле одновременно.

Для обеспечения подачи расчетного расхода на поле необходимо учитывать возможные потери воды в оросительных каналах и забирать воду в них с учетом этих потерь:

$$Q_{\text{бр}} = Q_H + Q_{\text{п}} \quad (1.3)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – потери воды из канала, л/с или м<sup>3</sup>/с.

Следовательно, наиболее эффективной схемой работы сети будет такая при которой число каналов, работающих одновременно, и общая протяженность их будут минимальными. Для первой стадии проектирования А. Н. Костяков предложил следующий метод определения потерь воды на фильтрацию, % на 1 км:

$$Q = \frac{A}{Q^m} \quad (1.4)$$

где  $Q$  – расход в конце канала, м<sup>3</sup>/с;  $A$  и  $m$  – коэффициенты, зависящие от водопроницаемости грунта.

Конструкция каналов в земляном русле определяется: расходом канала; требуемой величиной командования канала; характером грунта, в котором он проложен; назначением канала и его расположением на местности; формой сечения; габаритами рабочего органа механизмов, применяемых для строительства. Каналы средней и малой пропускной способности, как правило, имеют трапецеидальное сечение, а большие параболическое.

Для обеспечения самотечной подачи воды из каналов в поливную сеть необходимо командование каналов над орошаемой площадью. Общее командование канала над орошаемой площадью определяется числом порядков младших каналов, получающих воду из рассматриваемого канала и от техники полива. Для гидравлического расчета каналов применяют формулы равномерного движения воды, по которым определяют глубину воды в канале  $h$ , его ширину по дну  $b$  и среднюю скорость течения воды  $V_{cp}$ . Расчеты проводят на пропуск нормального расхода  $Q_{норм}$ , после чего проверяют сечение на пропуск минимального и форсированного расходов. При этом средняя скорость течения воды в канале должна удовлетворять условию:

$$V_{дон}^p > V_{cp} > V_{дон}^3 \quad (1.5)$$

где  $V_{дон}^p$  и  $V_{дон}^3$  – соответственно допустимые скорости на размыв и заиление, м/с.

*Оросительные каналы*, особенно в начальный период эксплуатации, деформируются в результате размыва, заиления и зарастания, влияния низких температур, дополнительных нагрузок от кавальеров, а также просадки грунтов.

Оросительные каналы. В зависимости от величины поливного участка, рельефа местности, грунтовых условий и средств механизации для ее строительства сгруппированы в

соответствии с ОСТ 33-22-76 в 5 групп (табл.1.1) и от положения дна канала по отношению к поверхности земли различаются; в выемке, в полувыемке, в полунасыпи, в насыпи.

Т а б л и ц а 1.1

Строительная глубина, h, м	Ширина по дну, b, м	Заложение откосов, m
Свыше 0,5 до 1,0	0,4; 0,6; 0,8	1,00; 1,25; 1,50
1,0 до 1,5	0,8; 1,0	1,00; 1,25; 1,50
1,5 до 2,0	1,0; 1,5	1,25; 1,50; 1,75; 2,00
2,0 до 2,5	1,5; 2,5	1,50; 1,75; 2,00
2,5 до 3,0	1,5; 2,5	1,50; 1,75; 2,00

*Осушительные системы* имеют следующие основные элементы: осушаемую территорию; регулирующую осушительную сеть; оградительную сеть; проводящую сеть; водоприемник; гидротехнические сооружения на осушительной сети; дороги и сооружения на них.

Регулирующая сеть в зависимости от использования осушаемой территории может быть открытой или закрытой в виде систематической сети открытых каналов, трубчатого дренажа, кротового дренажа, выборочных каналов или дрен, глубоких каналов и дрен. Открытую систематическую осушительную сеть применяют для осушения лугов, лесов, болот при добычи торфа, предварительного осушения болот с последующей заменой ее закрытым дренажем при сельскохозяйственном их использовании.

Оградительная сеть состоит из нагорных, ловчих и береговых каналов и дрен.

К проводящей сети относятся магистральные каналы и коллекторы. Магистральные каналы обычно открытые, коллекторы – открытые и закрытые.



Схемы осушительной сети зависят от сельскохозяйственного использования земель, типа водного питания, размеров полей севооборота, рельефа поверхности, условий эффективной работы сельскохозяйственных машин и границ землепользования. Открытая проводящая сеть ускоряет отвод поверхностных вод весеннего снеготаяния по замерзшей почве без выноса питательных веществ. Открытая оградительная и закрытая проводящая сеть, ввиду большей глубины заложения, оказывают большее осушающее действие по сравнению с регулирующей сетью. Поэтому регулирующую сеть следует проектировать с учетом осушающего действия проводящей и оградительной сети.

По типу водного питания схемы осушения земель подразделяются на: земли атмосферного питания, грунтового водного питания, грундово-напорного питания, намывного водного питания.

Главную причину переувлажнения почв просто объяснить на безуклонных равнинах, а также на сравнительно больших площадях (водосборах) холмистого рельефа. Количественно она оценивается по разному.

Наиболее обоснованный способ количественной оценки причины переувлажнения почв – метод водного баланса.

Уравнение водного баланса (А.А.Богулевский), которым можно пользоваться для этой цели, имеет следующий вид:

$$\Delta W = P + (P_{\Pi} - C_{\Pi}) + (P_{\Gamma} + C_{\Gamma}) - E \quad (1.6)$$

где  $\Delta W$  – общее изменение запасов воды в зоне аэрации за определенный период,  $P$  – осадки,  $P_{\Pi} - C_{\Pi}$  – приток и отток поверхностных вод,  $P_{\Gamma} - C_{\Gamma}$  – приток и отток подземных вод,  $E$  – суммарное испарение.

Для участков с атмосферным типом водного питания (при  $P_{\Pi} - C_{\Pi} = 0$  и  $P_{\Gamma} - C_{\Gamma} = 0$ ) основная причина переувлажнения земель количественно оценивается следующим образом:

$$\Delta W = P - E \text{ когда } P > E$$

Рельеф поверхности также очень сильно влияет на режим влажности почвы. По направлению от водораздельных участков к пониженным количеством воды, поступающей в почву, увеличивается в результате стекания с вышележащей части склона. Поэтому пологие склоны переувлажняются больше, чем крутые, нижние части склона – больше чем верхние.

Исключительно неблагоприятный водный режим почвы складывается на отрицательных формах рельефа. Здесь переувлажнение происходит за счет атмосферных осадков, выпадающих непосредственно на участок, воды притекающей со склонов, притока внутрпочвенных и подземных вод.

Отрицательные формы рельефа следует делить на две группы: проточные (ложбины, балки, долины) и бессточные (котловины или впадины, блюдца, западины). Почвы на проточных отрицательных формах рельефа чаще всего бывают периодически избыточно увлажнены, а на бессточных преобладает постоянный избыток влаги, который вызывает процесс заболачивания и затрудняет развитие культурных растений, а также проход техники.

Метрологическое строение подпочвенных слоев также может служить причиной избыточного увлажнения почвы. Если подпочвенные слои неводонепроницаемы, избыток вод атмосферных осадков не может просачиваться в глубину, быстро переувлажняет почвенный покров до полной влагоемкости и скапливается на его поверхности или в виде поверхностного стока стекает и скапливается в отрицательных формах рельефа.

Если к осушаемому объекту примыкает лес, в котором снеготаяние обычно задерживается, то объект от притока воды ограждается нагорными каналами. При замкнутом бассейне грунтовых вод (грунтовое водное питание) основной метод осушения – понижение их уровня. При небольшой ширине осу-

шаемого объекта и отсутствии притока вод со стороны прилегающих земель достаточно бывает провести один магистральный канал. Если осушаемый объект является только частью обширной заболоченной территории, то для перехвата грунтовых вод с прилегающих земель устраивают ловчие каналы или дрены. В случае, когда на осушаемый объект поступают грунтовые воды с водосбора, устраивают ловчие каналы или дрены. По понижению массива прокладывают магистральный канал. При использовании осушаемых земель под естественные сенокосы и при предварительном осушении проектируют открытую систематическую сеть или редкие глубокие каналы.

При поступлении фильтрационных вод из водохранилищ или рек осушаемые объекты ограждают береговым дренажем, при необходимости устраивают ловчий канал и систематический закрытый дренаж.

При осушении земель грунтово-напорного водного питания уровень напорных вод, поступающих с водосбора, понижают с помощью ловчего канала, который закладывают в местах наивысших пьезометрических напоров на границе объекта. Дно канала врезают в водоносный пласт на 0,3...0,5 м.

По расположению на осушаемой площади регулирующая сеть подразделяется на систематическую и выборочную. В первом случае канал или дрены равномерно расположены по площади осушения на расчетном или нормативном расстоянии друг от друга. Во втором- регулирующая сеть устраивается лишь в тех местах, где уровни грунтовых вод не отвечают требованиям выращиваемым сельскохозяйственным культур. По конструкции регулирующая сеть проектируется открытой (каналы-осушители) и закрытой (закрытый дренаж). При размещении открытой сети осушителей, помимо рельефных условий, учитываются хозяйственные требования: схема открытой сети должна быть увязана с границами полей севооборотов, трассы осушителей должны совпадать с направлением основных обработок почвы.

Проводящая сеть осушительной системы собирает и отводит воды поверхностного и грунтового стока, поступающие в проводящую сеть как непосредственно (грунтовые воды через дно и откосы каналов, а поверхностные – через приемные воронки), так и из регулирующей сети. Количественное соотношение между объемами отводимых поверхностных и грунтовых вод зависит от времени года, гидрологических условий водосбора, типа водного питания и способа осушения. Однако, как правило, максимальные расходы, на которые рассчитывают проводящие каналы, определяют по поверхностному весеннему и летнему паводковому стоку, так как в сравнении с ним максимальный сток грунтовых вод обычно невелик.

Зависимость между размерами водосборной площади и стоком с единицы этой площади в определенных условиях позволяет вычислить количество поверхностного стока, притекающие к проводящему каналу.

При осушении минеральных почв проводящую сеть проектируют по четко выраженным тавельгам и понижениям и принятой схеме регулирующей сети. При осушении болот трассы каналов проводящей сети назначают с учетом рельефа минерального дна и проектируют по его тавельгу. Особенно необходимо выполнять это требование при мощности торфа на болоте более 2 м. Магистральные каналы, прокладываемые на таких болотах, подвергаются значительной осадке, достигавшей 25...30 %, а иногда и более начальной мощности.

Расположение проводящих каналов младших порядков, выпадающих в магистральный канал, в плане, помимо учета гидрологических и гидрогеологических условий их предполагаемой работы, должно отвечать требованиям организации, территории, связанным с агротехникой и технологией сельскохозяйственного производства. Уменьшение поступления избыточных вод на осушаемую площадь с внешнего водос-

бора за счет оградительной сети разгружает регулируемую сеть и позволяет принять ее параметры с учетом уменьшения интенсивности водного питания.

Все каналы, для которых не делают гидравлический расчет, сопрягают с магистральным каналом и водоприемником так, чтобы дно впадающего канала было не более чем на 0,1 м ниже бытового уровня в принимающем канале или водоприемнике.

Для обеспечения более плавного распределения скоростей в принимающих каналах сопряжение в плане с проводящими каналами низких порядков должно осуществляться под углом, близким к прямому, с закреплением устьевого участка. Из этих же соображений радиусы поворотов каналов, для которых не делают гидравлический расчет, должны быть не менее 20 м, а для рассчитываемых (при расчетном расходе до 5 м<sup>3</sup>/с) не менее  $5B$ , где  $B$  – ширина канала по урезу воды при максимальном расчетном расходе.

Основные параметры каналов открытой осушительной сети в соответствии с ОСТ 33-23-79 приведены в таблице 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

Наименование каналов	Строительная глубина, м	Ширина канала по дну, м	Заложение откосов
Каналы, выполняемые общестроительными машинами			
Проводящие, регулирующие, нагорные и нагорноловчие	0,8...1,15	0,4...0,8	1:1; 1:2
	1,5...1,25	0,6...1,5	1:1,5; 1:2,5
	2,5...3,5	0,6...2,0	1:2; 1:2,5
Каналы, выполняемые специализированными машинами			
Регулирующие	0,8...1,0	0,25	1:1
	1,0...1,2	0,25...0,6	1:1; 1:1,5
	1,2...1,7	0,25	1:1

Удельная протяженность каналов открытой оросительной и осушительной сети, отнесенных к 1 га мелиорируемой площади, изменяется в среднем от 40 до 114 м с объемом земляных работ от 280 до 1000 м<sup>3</sup> грунта.

Проведенные ВНИИГиМом и Союзоргтехводстроем широкие статистические и натурные обследования действующих 197 оросительных систем в 9 республиках СНГ на площади 2,6 млн га показали, что протяженность каналов межхозяйственной и внутрихозяйственной сети с расходом до 10 м<sup>3</sup>/с составляет 98,5 % от общей протяженности каналов (табл. 1.3), при этом протяженность каналов в земляном русле составляет 84,9 %, а стоимость работ по строительству каналов – 65,5 % от общей стоимости строительства мелиоративных систем. По грунтовому фону анализ материалов обследований показал, что основной объем строительных работ (77,7 %) выполнялся на устойчивых, слабо- и среднепросадочных грунтах, т. е. в грунтовых условиях, не требующих специальных мероприятий при строительстве мелиоративных каналов. Следовательно, строительство мелиоративных каналов, а в особенности каналов межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, в значительной степени определяет стоимость и сроки строительства мелиоративных систем.

Т а б л и ц а 1.3

#### Основные характеристики оросительных систем

Показатели	Единицы измерения	Количество
Общая стоимость строительства, в том числе	млрд. руб цены 1991 го-да	17,3
Строительство каналов	-	7,4
Строительство сооружений	-	3,9
Освоение земель	-	3,7
Промышленно-гражданские объекты	-	2,3

## Продолжение табл. 1.3

Длина каналов и водоводов, в том числе	тыс. км	97,6
На расход до 2 м <sup>3</sup> /с	-	79,97
На расход 2...5 м <sup>3</sup> /с	-	13,93
На расход 5...10 м <sup>3</sup> /с	-	2,27
На расход более 10 м <sup>3</sup> /с	-	1,43
Длина облицовочных каналов и водоводов, в том числе трубопроводы	тыс. км	14,7
	-	6,93

***Профили русел регулируемых рек и каналов***

Анализ руслового режима каналов, построенных в грунте или создаваемых саморазмывом, показал, что их русла так же, как и русла рек, подвержены свободным деформациям, проявляющимся в самоформировании устойчивых форм и размеров.

Процесс формирования устойчивого русла канала в общей схеме развития сохраняет черты руслового процесса на естественной реке, но совершается под воздействием относительно постоянного во времени расхода и активно протекает до тех пор, пока размеры и форма русла не определяет такую скоростную структуру потока, при которой устанавливается предельно равновесное состояние для грунтов ложа канала.

Практическими наблюдениями установлено, что трапециевидальная форма поперечного сечения неустойчива: откосы таких русел деформируются, угловые пространства заиливаются и, в конце концов, первоначальная форма русла совершенно изменяется – она принимает неправильное произвольное очертание в верхней части и криволинейное в нижней рис. 1.1.

На прямолинейных участках в слабосвязных грунтах (аллювиальных) и в низинных, слагающих поймы рек, поток вырабатывает параболическую или гиперболическую форму русла, а в связных грунтах (глинистых и торфяных) – эллиптическую.

А. Ф. Печкуров отмечает: «На прямолинейных участках в однородных грунтах вырабатывается русло симметричное параболическое. В связных грунтах берега имеют более крутой откос и поперечное сечение приближается к эллиптической форме кривой».

При строительстве осушительных каналов нарушаются естественные условия равновесия грунтовой массы. У откосов канала под влиянием силы тяжести возникают сдвигающие усилия и силы сопротивления в виде внутреннего трения и сил сцепления между частицами грунта. Для сохранения устойчивости откосов необходимо, чтобы между силами сдвига и силами сопротивления сдвигу существовало равновесие.

В процессе строительства канала и быстрого снижения паводковой воды в русле потока грунтовых вод, выклиниваясь через откосы русла, обрушивает нижнюю часть откоса и создает дополнительное сдвигающее усилие на верхний слой грунта откосов.

Образуется так называемое гидродинамическое давление грунтового потока, которое определяется гидравлическим градиентом выклинивающих грунтовых вод.

Процесс оплывания грунта с откосов происходит медленно, на протяжении ряда месяцев. Грунт разрыхляется, насыщается водой, превращаясь в текучее состояние.

Таким образом, на устойчивость откосов оказывают влияние как состав грунта с его физико-механическими свойствами, так и поток грунтовых вод и компрессионные свойства грунта.

Особенно заметно давление кавальеров грунта на берме канала, способствующее вытеканию торфяной бузы в канал.

Профессор А. Ф. Печкуров назвал следующие виды деформации русел рек и каналов:

Смыв грунта с откосов движущимся потоком в русле и выпадающими атмосферными осадками.



Подмыв нижней части откосов при размыве дна и обрушение или скольжения верхнего слоя к дну русла.

Оплывание откосов в зоне выклинивания грунтовых вод.

Оползание призмы в связных грунтах и сплывание жидкого грунта в русло.

Пучение дна давлением грунтовых вод, втекание торфяной бузы в канал.

Деформация сечения русла, связанная с осадкой торфа, высушиванием, крошением и размерзанием грунта.

А. Ф. Печкуров отмечает, что при осушении земель устойчивости русел рек водоприемников и каналов следует придавать важное значение. От их устойчивости зависит действие всей осушительной сети. К основным мероприятиям, предупреждающим деформацию поперечного сечения русел, он относит:

1. Придание откосам надлежащего уклона или заложения, обеспечивающего равновесие между силами сдвигающими и силами сопротивления сдвигу.

2. Одернование верхней и крепления нижней частей откосов и русел в местах, подверженных размыву и гидродинамическому давлению грунтового потока.

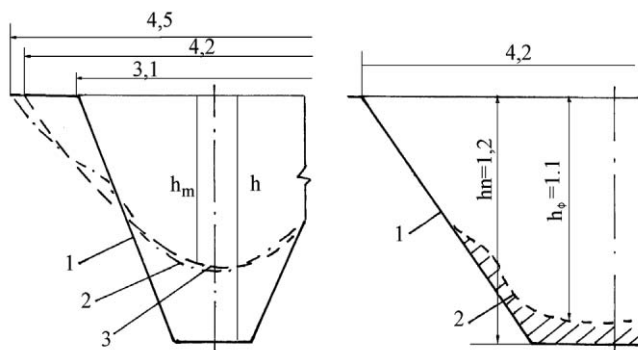
3. Удаление кавальеров за поверхность скольжения.

Следует отметить, что особенно важное значение имеет правильный выбор заложения откосов. Академик А. Н. Костяков считает, что правильное заложение откосов мелиоративных каналов является весьма важным. При крутом заложении откосы оплывают, засоряя русло. При пологом – увеличивают объем земляных работ и потери площади под полосу отчуждения.

Исследованиями И. С. Лапидовской установлено, что главной опасностью для устойчивости открытого русла канала является появление зон выпора грунта в его пределах. Для принятого в проектировании трапецеидального профиля канала

устойчивое заложение откоса, исключаяющее выпор из пределов русла, обычно велико, что приводит к большим потерям полезной площади. Ею рекомендуется использовать более экономичное полигональное сечение, при котором зоны выпора исключаются переходом на критической глубине к более пологому откосу. Исследования Ибад-Заде по устойчивости русел каналов показали, что строительный профиль канала при эксплуатации, деформировавшись, принимает криволинейную устойчивую форму (рис. 1.2). Им предложен метод расчета устойчивого поперечного сечения русла канала параболического профиля, соответствующего профилю естественного русла.

При различных типах водного питания и грунтовых условий А. Д. Брудастов рекомендует устойчивые поперечные сечения крупных осушительных каналов (рис. 1.2) параболических и полуэллиптических профилей. Откосы каналов ниже бытовых горизонтов имеют более пологие заложения и для грунтов с различной устойчивостью имеют различную крутизну откоса. Откосы выше бытовых горизонтов значительно круче нижних отрезков, так как грунты, находящиеся выше уровня грунтовых вод, будут находиться в ненасыщенном состоянии и, благодаря этому, они устойчивы при значительно более крутых откосах .



**Рис.1.1.1. Профили сечений каналов после эксплуатации в течении одного года:**  
 профиль:1 – проектный, 2 – фактический, 3 – расчетный

Е. К. Рабковой предложена методика расчета и профили устойчивых параболических сечений оросительных каналов, проходящих в различных грунтовых условиях рис. 1.1, 1.2.

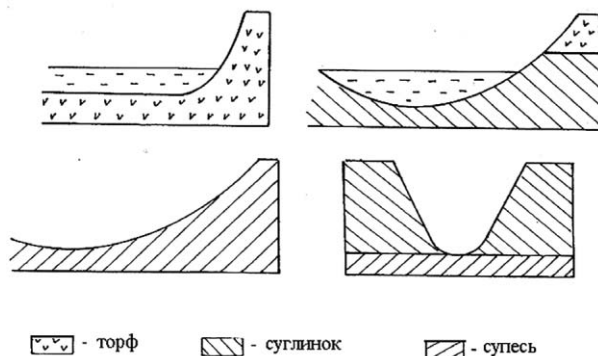


Рис.1.2. Устойчивые поперечные сечения осушительных каналов

## 1.2. Существующие технологии крепления дна и откосов каналов

При производстве комплекса работ по осушению болот наблюдается быстрое заиливание открытой осушительной системы, оползание откосов, перераспределение грунта потоком воды на дне и выносу грунта из осушителей в магистральный каналы. Постадийное производство работ позволяет значительно уменьшить деформации и заиливание русла водоприемника и каналов в процессе их строительства.

Максимальное заиливание в процессе строительства происходит на участках протяжением 1 000 м и ниже впадения в него притоков и на верхней части рабочих участков. По наблюдениям осушительных систем Бар, Тугнуй и Цолга русло заиливалось за 40–120 суток соответственно на 2–4 % от профильного объема земляной выемки.

Объем наносов может быть определен по следующим формулам:

а) при доработке русла по течению воды:

$$V = \frac{PW_n}{100} + \frac{(P_1 - P_2)W_1n_1}{100} + n_2ql \quad (1.7)$$

б) при доработке русла против течения воды:

$$V = \frac{P_3W_n}{100} + \frac{(P_1 - P_2)W_1n_1}{100} - n_2ql \quad (1.8)$$

где  $V$  – объем наносов на регулируемом участке реки, м<sup>3</sup>,  $P$  – среднее заиливание русла за декаду (% от профильного объема выемки) при доработке его по течению воды;  $P_3$  – тоже, при доработке русла против течения воды;  $P_1$  – заиливание русла за декаду на протяжении 1000 м. ниже впадения притока, % от профильного объема выемки грунта на этом участке;  $P_2$  – тоже, ниже стыка строительных участков;  $W$  – профильный объем выемки на регулируемом участке реки м<sup>3</sup>,  $W_1$  – тоже, на 1000 м реки ниже впадения притока м<sup>3</sup>;  $n$  – продолжительность доработки русла, декады;  $n_1$  – количество впадающих притоков;  $n_2$  – количество пересечений со староречьями;  $q$  – заиливание русла грунтом из староречья м<sup>3</sup>/пог. м;  $l$  – длина заиливаемого участка ниже староречья, м;  $P_1$  и  $P_2$  можно определить по данным рис. 1.3.

Для уменьшения размыва и выноса грунта в отрегулированное русло дно устьевых участков притоков на протяжении 100–150 м. плавно сопрягаются с проектным дном, входные отверстия староречий при доработке осыпаются, а выходные – расчищаются. На рис. 1.4 показана стоимость очистки каналов экскаваторами различной конструкции.