

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Б26
В62

**Республиканский межведомственный
сборник научных трудов**

Основан в 1971 году Выпуск 20

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Минск 1993

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусская государственная политехническая академия

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Основан в 1971 году

ВЫПУСК 20

Минск 1993

B62

Редакционная коллегия

Г.Г.Круглов (гл.редактор), С.П.Гатилло (отв.секретарь), Э.П.Коваленко, Д.А.Козлов, А.Н.Колобаев, В.М.Маскк, Э.И.Михневич, Г.А.Щербаков (зам.гл.редактора)

Рассматриваются проблемы водохозяйственного строительства республики. Разрабатываются методы расчета гидросооружений и дренажей, исследуется влияние окружающей среды на малые реки и водохранилища. Предлагаются мероприятия по очистке производственных стоков, изучаются физические свойства грунтов.

Расчитан на специалистов в области использования и охраны водных ресурсов.

В.М.Масюк, Л.К.Стичинский
(Белгипроводхоз)

ВОДНОМУ ХОЗЯЙСТВУ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ -
ОТРАСЛЕВОЙ СТАТУС

В Республике Беларусь протекает 20,8 тыс. рек, имеется 10,8 тыс. озер, построено около тысячи искусственных прудов и водохранилищ, в которых зааккумулировано более 1 млрд. куб.м воды, густота речной сети составляет 44 км на 100 кв.км территории. Объем поверхностных вод с собственной территории в средние по водности годы равен 36,4 куб.км, а с транзитными водами - 57,1. В многоводные годы речной сток возрастает до 96 куб.км, возобновляемые запасы грунтовых вод превышают 16 куб. км. Водопотребление же на современном уровне - чуть больше 3 куб.км. Казалось бы немало для столь небольшой территории. Но это лишь на первый взгляд. Состояние водных ресурсов в республике не может не настораживать.

Достаточно сказать, что Белоруссия в составе бывшего Союза по величине речного стока занимала лишь 7-е, а по удельным ресурсам речного стока на душу населения - 9-е место среди других республик. В настоящее время в водные источники сбрасывается более 2 куб. км сточных вод, которые несут 54 тыс. т органических веществ, 2 тыс. т нефтепродуктов, 355 тыс. т сульфатов, 404 тыс. т хлоридов и других вредных веществ. Почти 75 % колодцев питают население водой, загрязнение которой превышает санитарные допуски.

Итак, водные проблемы существуют. Начнем с главной: водными ресурсами, формирующимися на территории республики, в государственном масштабе никто не управляет. Водопользователей много - промышленность, сельское хозяйство, речной флот, коммунальное хозяйство, здравоохранение и т.д., а единственного органа управления вод-

ными ресурсами, как и отрасли в народном хозяйстве, нет. В связи с этим в республиканском водопользовании наблюдаются значительные неувязки. Существовавшее ранее Министерство мелиорации и водного хозяйства фактически никаких юридических прав на водные ресурсы не имело, и не являлось водным собственником, а лишь осуществляло водохозяйственное строительство по заказам других отраслей. Комитету по экологии также не переданы управленческие функции. В конечном счете учетом водопользования не занимается никто.

Проектирование водохозяйственных объектов рассредоточено в десятках проектных институтов, что не позволяет проводить единую техническую политику водопользования. Хотя формально головным институтом по водным ресурсам числится Белгипроводхоз, законодательно это не закреплено. В то же время во всех цивилизованных государствах существуют органы управления водными ресурсами, которые имеют государственный статус (США, Франция, Англия, Япония, Швеция, Бельгия, Италия и т.д.). В них законодательно сосредоточены все функции управления водопользованием: планирование, проектирование, строительство, контроль и охрана водных ресурсов.

Сейчас, когда Республика Беларусь делает первые шаги независимого существования, проблема рационального использования и охраны вод приобретает особую актуальность. Поэтому незамедлительно нужен орган управления водными ресурсами — специальная отрасль народного хозяйства.

Если говорить об использовании водных ресурсов для нужд народного хозяйства в широком плане, то на первое место встает вопрос неравномерного их распределения по территории республики. Южная ее часть уже сегодня испытывает серьезный водный дефицит, в то время как на севере имеется некоторый избыток поверхностных вод. Невольно приходится возвращаться к проблеме межбассейновой переброски стока. Примером может служить Вилейско-Минская водная система, решившая многие хозяйственные и социальные проблемы столицы. Аналогичные проработки сделаны институтом "Белгипроводхоз" по переброске стока из водосбора Западной Двины в водосбор Днепра, в озеро Нарочь и ряд других. Однако до проектирования дело пока не дошло.

Для объективной оценки рационального использования водных ресурсов Республики Беларусь возникла необходимость в срочной разработке Генеральной схемы использования водных ресурсов на период 20-25 лет, которая решила бы как внутренние, так и межрегиональные проблемы (на границах Украины, Литвы, Латвии, России). Возгла-

нить эту работу может институт "Белгипроводхоз", имеющий богатый опыт таких проработок.

Одной из важнейших проблем является качество водных ресурсов. Наиболее загрязнены воды в зоне Минска, областных и промышленных центров. Вызывает озабоченность загрязнение водных ресурсов стоками животноводческих комплексов. Неотложной задачей становится сельское водоснабжение, где вода загрязнена прежде всего азотистыми веществами, что опасно для здоровья людей. Но пока делаются только первые робкие шаги по централизованному водоснабжению села. По этому показателю республика занимает одно из последних мест среди республик СНГ.

Еще одна из острых проблем использования водных ресурсов связана с энергетическим кризисом. Видимо, есть смысл вернуться к рассмотрению целесообразности строительства малых ГЭС на водных артериях республики. Для этого необходимо оценить техническую и экономическую эффективность строительства таких ГЭС, разработать технико-экономическое обоснование с привлечением специалистов, в том числе и Белгипроводхоза.

Энергетический кризис затрагивает и проблему водного транспорта. Как известно, стоимость водных перевозок значительно дешевле перевозок другими видами транспорта. Страны Европы широко пользуются этим преимуществом. В частности, на территории Польши уже создан современный водный путь в Балтийское море практически от границы Белоруссии. В то же время, например, Днепро-Бугский канал не отвечает мировым стандартам и требует серьезной реконструкции, которая позволит связать Черное и Балтийское моря и наладить на этой трассе современное судоходство. Возможны варианты строительства водного пути через Припять-Березину-Свислочь в г. Минск, который после этого может стать "морским" портом. Есть и другие предложения.

Таким образом, краткий обзор состояния водного хозяйства Республики Беларусь свидетельствует о том, что назревшие проблемы требуют безотлагательного решения.

К РАСЧЕТУ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОСЛИВА
ДВУХЪЯРУСНОГО ВОДОСБОРСНОГО СООРУЖЕНИЯ

При создании водохранилищ, особенно на равнинных реках, важным является выбор эффективного паводкового водосборного сооружения, позволяющего сбрасывать в нижний бьеф необходимые расходы и одновременно не приводить к увеличению фронта наиболее дорогостоящих бетонных сооружений в составе подпорных гидроузлов, ограждающих дамб. В качестве таких сооружений для пропуска воды применяются низконапорные двухъярусные водосборные сооружения, состоящие из водослива практического профиля (в большинстве случаев с широким порогом) – верхний ярус – и донного водосбора или водоспускания нижний ярус. Увеличение пропускной способности здесь достигается не только за счет одновременной работы обоих трактов, но и изменения гидравлических условий при их совместной работе.

На водохозяйственных объектах Беларуси к запроектированным и построенным сооружениям подобного типа можно отнести [1]:

а) водосливы практического профиля с донным отверстием водохранилищ "Круча" (расчетный расход $75,6 \text{ м}^3/\text{с}$), в колхозе им.Калинина (расчетный расход $122 \text{ м}^3/\text{с}$), "Рудня" (расчетный расход $226,0 \text{ м}^3/\text{с}$), "Зельва" (расчетный расход $277,0 \text{ м}^3/\text{с}$), "Крапивинка" ($128 \text{ м}^3/\text{с}$), "Палужское" ($99,6 \text{ м}^3/\text{с}$, см.рис.1) и др.;

б) водосборы доковой конструкции с широким порогом и донным отверстием водохранилища на р.Голубина в совхозе "Прогресс" (расчетный расход $80,1 \text{ м}^3/\text{с}$) и пруда на р.Индурка в колхозе "Авангард" (расчетный расход $37,5 \text{ м}^3/\text{с}$).

в) двухъярусные водосборы сборно-моновитной конструкции водохранилищ в колхозе "Маяк" (расчетный расход $97,0 \text{ м}^3/\text{с}$) и на р.Быстрофь (расчетный расход $146,0 \text{ м}^3/\text{с}$).

Как известно [2], гидравлическая работа таких сооружений при совместном действии поверхностного и донного ярусов обусловлена взаимодействием разделяющихся в вертикальной плоскости потоков перед сооружением и возросшим расходом в верхнем бьефе. Это, как правило, приводит к увеличению их пропускной способности, при этом особенно значительно увеличиваются расходы поверхностного яруса (из-за фактического уменьшения степени стеснения нисходящего по-

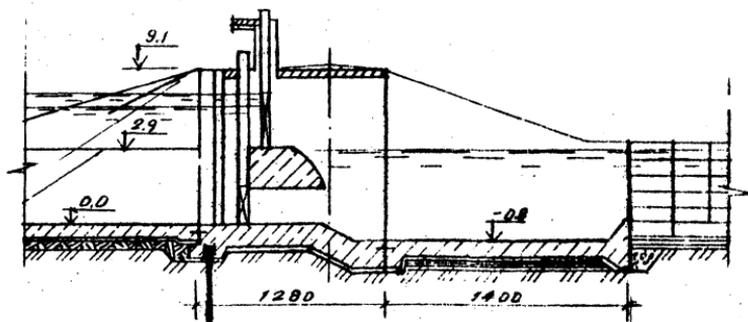


Рис. I. Паводковый двухъярусный водослив водохранилища "Полужское"

тока и возрастания скоростного напора перед сооружением при одном и том же напоре на гребне водослива наблюдается увеличение его расхода до 30–35 %). Однако до сих пор в справочно-нормативной литературе отсутствуют рекомендации по учету этих явлений при расчете пропускной способности двухъярусных водосливных сооружений.

С учетом изложенного выше, на основании анализа структуры существующих расчетных зависимостей для расхода (коэффициента расхода) обычного (одноярусного) водослива с широким порогом [3–5] и введения коррективов в определении отдельных параметров делается попытка использовать их для расчета пропускной способности водослива с широким порогом в составе двухъярусного водосливного (водопрпускного) сооружения. Значения вычисленных по данной методике расходов сопоставляются с опытными данными, полученными автором на модели аналогичного сооружения.

Как известно, расход через водослив с широким порогом рекомендуется определять по формуле:

$$Q = \sigma_c \sigma_n m b \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (I)$$

где σ_c – коэффициент бокового сжатия потока;
 σ_n – коэффициент подтопления;
 m – коэффициент расхода неподтопленного водослива в условиях плоской задачи;
 b – ширина водослива;
 H_0 – полный напор; $H_0 = H + \frac{\alpha V_0^2}{2g}$, где H – напор над гребнем водослива; α – коэффициент Кориолиса;

V_0 - подходная скорость; $V_0 = \frac{Q_0}{S_{\text{в.б.}}}$ (Q_0 - расход в верхнем бьефе, а $S_{\text{в.б.}}$ - площадь живого сечения перед водосливом).

Для неподтопленного водослива и при отсутствии бокового сжатия

$$Q = m v \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (1')$$

при этом значение коэффициента расхода m рекомендуется определять по зависимостям, предложенным А.Р.Березинским [5]:

при прямоугольном входном ребре

$$m = 0,32 + 0,01 \frac{3 - \rho_{\text{в.б.}}/H}{0,46 + 0,75 \rho_{\text{в.б.}}/H}, \quad (2)$$

при закругленном входном ребре

$$m = 0,36 + 0,01 \frac{3 - \rho_{\text{в.б.}}/H}{1,2 + 1,5 \rho_{\text{в.б.}}/H}. \quad (3)$$

В зависимостях (2) и (3) $\rho_{\text{в.б.}}$ - высота порога водослива со стороны верхнего бьефа.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что влияние на пропускную способность водослива совместного действия водосборных трактов может быть учтено при определении полного напора H_0 (подходная скорость должна находиться по суммарному расходу) и коэффициента расхода m , при нахождении которого по формулам (2) и (3) вместо полной высоты порога $\rho_{\text{в.б.}}$ должна подставляться высота порога $\rho'_{\text{в.б.}}$, характеризующая его возвышение не над дном подходного канала, а над условной плоскостью раздела потоков перед сооружением на нисходящий (водосливной) и восходящий (водосборной) (см. рис.2).

Таким образом, в настоящей работе предлагается для определения пропускной способности водослива, работающего совместно с донным водосбором, использовать рекомендуемую для обычных водосливов зависимость (1) или (1'), однако входящие в нее параметры H_0 и m находить с учетом совместной работы поверхностного и донного водопропускных ярусов.

С учетом этого

$$H_0 = H + \frac{\alpha V_0^2(c)}{2g}, \quad (4)$$

где $\alpha = 1,1$, а $V_0(c)$ - подходная скорость, которая в первом приближении может быть определена по величине суммарного расхода водослива и водосбора в предположении их независимой работы:

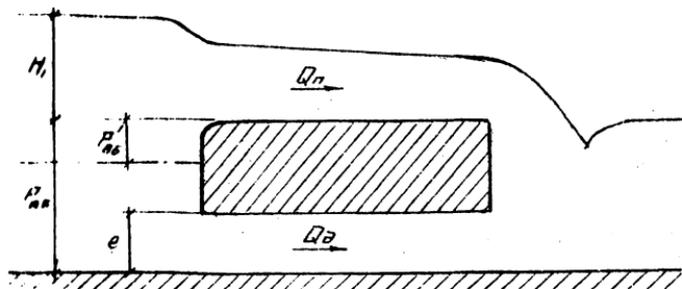


Рис. 2. Расчетная схема водослива с широким порогом и донным водосбросом

$$V_{0(c)} = \frac{Q'_n + Q'_д}{\delta(\rho_{в.б.} + H)}, \quad (5)$$

где Q'_n и $Q'_д$ - соответственно расходы поверхностного водослива и донного водосброса при их изолированной работе и одном и том же уровне в верхнем бьефе;

$\delta(\rho_{в.б.} + H) = \Omega$ - площадь живого сечения перед сооружением.

Значение коэффициента расхода m может быть найдено только после предварительного определения условной высоты порога $\rho'_{в.б.}$ (высоты порога над плоскостью раздела, рис. 2), для чего рекомендуется полученная ранее [2] и подтвержденная экспериментально зависимость вида:

$$\rho'_{в.б.} = (\rho_{в.б.} - e) \frac{Q'_n}{Q'_д + Q'_n}, \quad (6)$$

где e - высота входного отверстия донного водосброса.

Тогда коэффициент расхода водослива, работающего совместно с донным водосбросом, например при закругленном входном ребре порога, может быть определен по формуле (3).

С целью оценки предлагаемой методики учета влияния совместного действия водосливов на пропускную способность водослива были определены значения расходов Q_p для пяти напоров над гребнем ($H = 3,0-9,0$ см через 1,5 см) и выполнено их сравнение с опытными расходами водослива Q , полученными автором на модели аналогичного двухъярусного водосбросного сооружения при совместном действии трактов с помощью специальной раздельной колки со сторо-

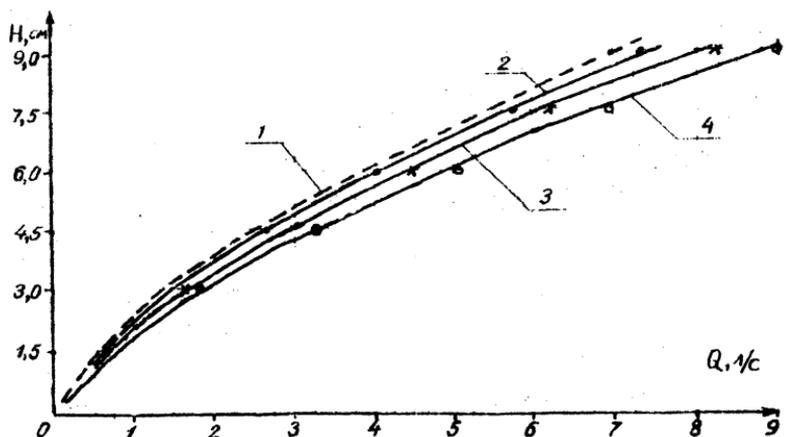


Рис.3. Графики $Q = f(H)$ водослива. 1 - при изолированной работе; 2-4 - при совместной работе при высоте донного отверстия соответственно 1, 3 и 5 см (•, × и ◦)

ны нижнего бьефа [2]. Приведенные на рис.3 расходы получены расчетным путем. На графики 2-4 нанесены опытные точки, характеризующие измеренные на модели расходы для тождественных условий.

Сопоставление опытных и расчетных данных позволяет сделать заключение, что предлагаемая методика расчета, использующая общепринятые зависимости по определению пропускной способности обычных водосливов с корректировкой отдельных параметров, может быть рекомендована для оценки их расходов при совместной работе с донным водосбросом, так как вполне удовлетворительно учитывает влияние донного тракта двухъярусного водосбросного сооружения на пропускную способность поверхностного. Вычисленные значения расходов водослива для условий совместного действия водопропускных трактов в одних случаях несколько выше, а в других - несколько ниже опытных, однако расхождение между ними, как правило, не превышает 2-3 %.

Литература

1. Каталог индивидуальных водопропускных сооружений для прудов и водохранилищ/Минводхоз БССР, Белгипроводхоз. - Минск, 1986.
2. Симицын Н.В. Совместная работа водосливов двухъярусных сооружений и гидравлика потока на входном участке /Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - Минск, 1967.

3. Гидротехнические сооружения (Справочник проектировщика). Под общ. ред. В.П.Недриги. - М.: Стройиздат, 1983.
 4. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г.Киселева. - М.: Энергия, 1975.
 5. Рекомендации по гидравлическому расчету водосливов. Ч. I. - 1974. Ч. 2. - Л.: ВНИИГ, 1976.
-

УДК 624.131.552.6

Ю.А.Соболевский,
Упендра Махато (БГПА)

ГИДРОДИНАМИКА СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Водокаменные и грязекаменные селевые потоки возникают в горных местностях.

Известно большое количество катастроф, связанных с подвижкой селей [1-3]. Так, например, в ночь с 17 на 18 августа 1891 г. в Тироле селевой поток с волной 18 м вырвался из ущелья Австрийских Альп и покрыл большую территорию слоем грязекаменного материала. Неоднократно сели набрасывались на один из крупнейших городов Тихоокеанского побережья США - Лос-Анджелес. Сель 1938 г. принес с гор грязекаменную массу более 11 млн.м куб. при среднем расходе 2000 м куб./с и нанес громадные убытки, погибло более 300 человек. 8 июля 1921 г. тяжелая катастрофа произошла в Алма-Ате. Потокom были унесены 182 дома вместе с жителями, погибло около 400 человек. На площадь города была вынесена масса каменного материала около 1,5 млн.т. Выше Алма-Аты на реке Малая Алмаатинка 15 июля 1973 г. в результате прорыва моренных озер в верховьях озер образовался сель, который за два часа заполнил емкость перед плотиной Медео и принес 4 млн.м куб. селевых отложений. Максимальный расход селевого потока достигал 2-3 тыс.м куб/с. Вечером 18 июля по руслу Малой Алмаатинки прошли еще две селевые волны, которые также были задержаны селезащитной земляной плоти-

ной высотой 115 м, возведенной ранее в урочище Медео. Тем самым была надежно защищена Алма-Ата.

В Перу при селевой катастрофе 1970 г. погибло более 50 тыс. человек и 800 тыс. осталось без крова. Подобные примеры можно множить и множить. В мировой практике сложилось определенное направление борьбы с этим грозным явлением. В настоящей статье затронем лишь некоторые основополагающие моменты.

1. Формирование селевых потоков. Сель, подобно паводку, образуется благодаря интенсивному стоку поверхностных (дождевых и талых) вод, которые размывают, смывают, подхватывают и переносят рыхлый материал, накапливающийся в водосборном бассейне горной реки, временного водотока, оврага и т.п. Механизм зарождения селевого потока вдоль ложины иллюстрируется рис.1. Прежде всего ливень вызывает оползень в верхней части склона. Обрушившиеся камни, нанося удары, являются как бы спусковым крючком к началу селя водонасыщенного коллювия или оползневого делювия вдоль некоторого ложа. Тогда оба потока, подобно вязкой жидкости, со скоростью 1-10 м/с движутся по ложбине стока или долине реки, вызывая эрозию отложений. Окончательно селевые потоки, разливаясь веером, застывают сравнительно тонким слоем осажденных частиц различного гранулометрического состава, от крупных глыб до пыли и глины. Ориентировочно можно определить размер крупных включений, транспортируемых селем и выпадающих в осадок при седиментации по следующей приближенной зависимости: $d = 0,2 V^2$, где V - средняя скорость селевого потока, м/с. Так, при $V = 3$ м/с громадные валуны и глыбы размером 1,8 м будут волочиться и выпадать в осадок на большом расстоянии от первоначального их местоположения. Известны случаи, когда селевым потоком перемещались глыбы объемом до 1500 м куб. [2].

Объем и мощность потоков, их режим определяются количеством дождевых и талых вод, поступающих в водосборный бассейн, скоростью и одновременностью добегаания до главного водотока, где формируется сел.

При симметричной форме бассейна поверхностные воды прибегают к транзитному створу одновременно, создают высокий подъем уровня и резкое увеличение расходов. При несимметричном бассейне паводок будет нарастать постепенно и по величине при прочих равных условиях будет меньше.

Разрушительная энергия селей, обусловленная перемещением ог-

речных водокаменных и грязекаменных масс с большими скоростями, пропорциональна превышению водосборного бассейна над базисом эрозии, площади водосборного бассейна и величине уклонов его рельефа. Геоморфологические условия селеопасных русел можно разделить на три части: а) верхнюю, в виде полуцирка с крутыми (от 30° до 40°) склонами, покрытыми осипями, обвалами, оползневыми участками с глубокими промоинами и оврагами; б) среднюю (транзитную) с уклонами до $25-30^{\circ}$; в) нижнюю (приустьевую), где происходит накопление вынесенного пролювиального материала (рис.1).

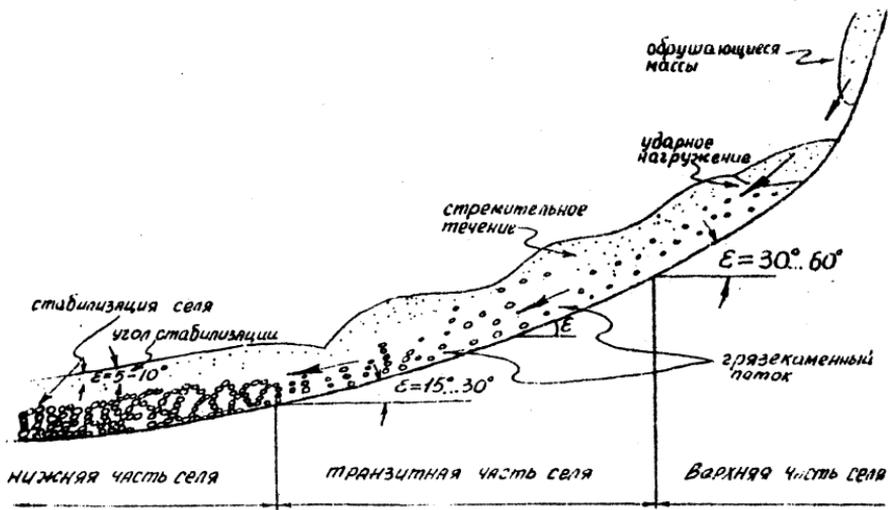


Рис.1. Схема развития и протекания селя

Селевые потоки обычно застывают при уклонах от 5 до 10° . Известны места, где средняя транзитная часть имеет небольшое протяжение или полностью отсутствует. Тогда селевой поток формируется по всей длине.

Как показывают многочисленные наблюдения [1,2], наступлению селей предшествуют длительные обложные дожди, которые пропитывают влагой отложения по пути следования будущего водокаменного, грязекаменного или грязевого потока. Тогда рыхлые отложения в значительной мере теряют связность. Последующие ливни большой интенсивности вызывают на высоких отметках обвалы и оползни, которые и служат, как это показано выше, началом селевого потока. Развитию

грязевых потоков перед обложными дождями и последующими ливнями способствуют длительные засухи, приводящие глинистые отложения к усадкам с глубокими трещинами.

В формировании селевых потоков участвует множество факторов. Часть из них подготавливают рыхлые отложения к разжижению, а часть - являются непосредственной причиной зарождения, развития и протекания селевых потоков. К последним относятся фильтрационные и гидродинамические факторы. Так, при насыщении рыхлых, выветрелых пород во время обложных дождей покровные отложения на горных склонах превращаются в неустойчивую грунтовою массу, пропитанную водой. Из-за уклонов местности в этих отложениях формируется фильтрационный поток с градиентами, близкими к уклонам подстилающего скального ложа.

Перед началом прохождения селя по ложу срединной транзитной части долины действует фильтрационный поток, параллельный поверхности склона по всей толще слоя грунта. Этот поток меняет свое направление, как только по ложу двинется селя. Направление линий тока, и, следовательно, фильтрационных сил становятся нормальными к поверхности склона: возникает восходящий фильтрационный поток для затопленного откоса. Отсюда рассуждения по поводу предельного состояния грунта для параллельного склону фильтрационного потока следует вести из условия сдвига; при наличии восходящего фильтрационного потока - из условия сдвига и фильтрационного отрыва связного грунта. Теория же руслового потока рассматривает стадии размывающих скоростей, грядособразования и начала взвешивания грунта. Нам, очевидно, более всего должны интересовать стадия размыва ложа и стадия взвешивания грунта, когда идет интенсивный захват материала по ходу движения селевого потока. Для стадии размыва влекущая сила $T \approx \gamma_{сел} H_{сел} l$ (где $\gamma_{сел}$ - удельный вес селевого потока, l - уклон русла) как для широких русел.

Для стадии взвешивания равнодействующая лобового и подъемных усилий для частиц грунта

$$F = \alpha_0 A \gamma_{сел} \frac{V^2}{g}$$

где α_0 - коэффициент подъемной силы, принимаемый от 2 до 6;

A - поперечная площадь переносимых частиц;

V - скорость движения селя;

g - ускорение силы тяжести.

Удельная энергия селевого потока зависит от его мощности и скорости движения. Имея в виду значительные скорости движения тяжелой жидкости, правомочно усмотреть фактор захвата грунта в процессе развития селевого потока. Тогда в подучечные районы выражения для критических уклонов и градиентов фильтрующих бесконечных откосов следует ввести скоростной напор с противоположным знаком как символ захвата и таким образом приблизительно оценить этот фактор.

2. Анализ устойчивости на основе обобщенной задачи Ренкина бесконечно прямолинейного откоса при воздействии селевого потока. Грунты наклонного ложа вовлекаются в селевой поток после того, как они будут насыщены водой, а достаточно протяженный откос перед началом ливневого паводка насытится водой и будет фильтровать. Такие фильтрующие откосы можно рассматривать как бесконечные, а напряженное состояние слагающего его грунта следует относить к плоской задаче теории предельного состояния.

При оценке нарушений устойчивости откосов (при действии фильтрационного и селевого потоков) следует различать два условия:

- 1) условие сдвига;
- 2) условие фильтрационного взвешивания для несвязных грунтов и фильтрационного отрыва для связных.

Условие сдвига увязывается с обычными принятыми в теории предельного состояния представлениями о характере линий скольжения в грунтовом массиве. Условия фильтрационного взвешивания для несвязных грунтов и фильтрационного отрыва для связных характеризуются градиентами напора восходящих к плоскости откоса фильтрационных потоков.

Критериями этих двух условий являются соотношения удельного веса взвешенного в воде грунта к удельному весу воды для подкаменного потока и удельному весу шлеивато-глинистой суспензии для грязекаменного потока.

Для анализа гидродинамики зарождения грязекаменных потоков будем развивать задачу Ренкина. Так как эта задача вошла в круг классических решений статики сплошной среды, основы теории которой были разработаны и обобщены В.В.Соколовским [4], то в нашем изложении используем терминологию и символику, ставшую традиционной для этой теории.

Рассматриваем предельное напряженное состояние приповерхностного слоя откоса под действием селевого потока для двух

случаев: а) бесконечного водонасыщенного откоса при наличии в нем фильтрации параллельно склону (рис.2 а); б) бесконечного водонасыщенного загропленного движущимся селем откоса при наличии фильтрации нормально к поверхности слоя (рис.2 б).

Предшествующие выкладки к такому рассмотрению изложены в монографии Ю.А.Соболёвского [5].

а) Можно предположить, что при выходе селевого потока на его транзитный участок будет иметь место в поверхностном слое ложа фильтрация вдоль склона. Тогда действие скоростного потока может вызвать предельное состояние в откосном слое конечной толщины под селем.

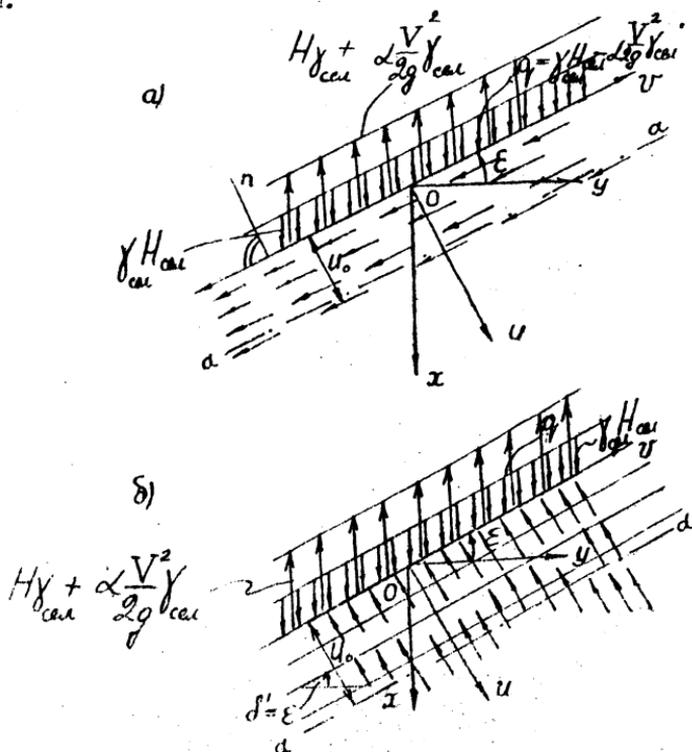


рис.2. Расчетная схема эжекции селевым потоком грунта откоса: а — фильтрационный поток движется параллельно поверхности откоса ($\beta = 90^\circ$); б — фильтрационный поток выходит нормально к поверхности откоса ($\beta = 0^\circ$)

Для этой цели используем равенство связи критического угла наклона бесконечного фильтрующего откоса, слоя предельно напряженного грунта и пригрузки на нем [5]:

$$(\gamma_{sz} u_0 + q) \sin \epsilon_{кр} = (\gamma_{sb} u_0 + q) \operatorname{tg} \rho \cos \epsilon_{кр} + k, \quad (1)$$

- где γ_{sz} - удельный вес насыщенного водой грунта;
 γ_{sb} - удельный вес взвешенного в воде грунта;
 ρ - угол внутреннего трения грунта;
 k - удельное сцепление грунта;
 $\epsilon_{кр}$ - критический угол наклона откоса в предельном напряженном состоянии;
 u_0 - толщина приповерхностного откосного слоя грунта в предельно напряженном состоянии;
 q - пригрузка откоса.

В качестве пригрузки используем статическое и динамическое воздействие селевого потока [6,7]:

$$q = q_{ст} + q_{дин} = H_{сел} \gamma_{сел} - \left(H_{сел} + d \frac{V^2}{2g} \right) \gamma_{сел},$$

здесь α - коэффициент динамичности селя (в первом приближении принимаем его равным единице).

Тогда

$$\left(\gamma_{sz} u_0 - \alpha \frac{V^2}{2g} \gamma_{сел} \right) \sin \epsilon = \left(\gamma_{sb} u_0 - \alpha \frac{V^2}{2g} \gamma_{сел} \right) \operatorname{tg} \rho \cos \epsilon + k. \quad (2)$$

Откуда критическая смещающая грунт в пределах толщины слоя скорость селя определится как

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2g \left[\frac{\gamma_{sb} u_0 \operatorname{tg} \rho}{\alpha \gamma_{сел} \operatorname{tg} \rho - \operatorname{tg} \epsilon} - \frac{\gamma_{sz} \operatorname{tg} \epsilon}{\gamma_{сел} \operatorname{tg} \rho - \operatorname{tg} \epsilon} + \frac{k}{\gamma_{сел} (\operatorname{tg} \rho \cos \epsilon - \sin \epsilon)} \right]}{1}}; \quad (3)$$

при $k = 0$

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{2g \left[\frac{\gamma_{sb} \operatorname{tg} \rho}{\alpha \gamma_{сел} \operatorname{tg} \rho - \operatorname{tg} \epsilon} - \frac{\gamma_{sz} \operatorname{tg} \epsilon}{\gamma_{сел} \operatorname{tg} \rho - \operatorname{tg} \epsilon} \right]}{1}} \quad (3)$$

Глубина предельно напряженного слоя грунта под действием селевого потока

$$u_0 = \frac{\alpha \frac{V^2}{2g} (\operatorname{tg} \epsilon \cos \epsilon - \sin \epsilon) \gamma_{\text{сел}} + k}{\gamma_{\text{сб}} \operatorname{tg} \epsilon \cos \epsilon - \gamma_{\text{сз}} \sin \epsilon}$$

при $k = 0$

$$u_0 = \frac{\alpha \frac{V^2}{2g} (\operatorname{tg} \epsilon - \operatorname{tg} \epsilon') \gamma_{\text{сел}}}{\gamma_{\text{сб}} \operatorname{tg} \epsilon - \gamma_{\text{сз}} \operatorname{tg} \epsilon'}$$

Таким образом, при выходе селевого потока на транзитный участок в его ложе формируются условия предельного состояния грунта в ограниченном слое. Эти условия облегчают захват грунта этого слоя с вовлечением его в селевой поток.

б) Однако водонасыщенный грунт ложа, поверхность которого покрывается движущимся селем, ответит поворотом фильтрационного потока нормально к поверхности склона. При этом правомерно для оценки последующего сдвижного эффекта в толще грунта u_0 использовать соответствующую зависимость, где вводится δ' — угол наклона линий равного давления к поверхности склона. Тогда

$$\begin{aligned} \sin \epsilon_{\text{кр}} \left[(\gamma_{\text{сб}} u_0 - \alpha \frac{V^2}{2g} \gamma_{\text{сел}}) \operatorname{tg} \delta' \operatorname{ctg} \epsilon + \gamma_{\text{в}} u_0 \right] = \\ = (\gamma_{\text{сз}} u_0 - \alpha \frac{V^2}{2g} \gamma_{\text{сел}}) \operatorname{tg} \delta' \cos \epsilon_{\text{кр}} + C_k \operatorname{tg} \delta' \end{aligned} \quad (5)$$

Из этого уравнения можно найти сдвижную критическую скорость селевого потока для полосы грунта толщиной u_0 . Из-за изменчивости величины $\operatorname{grad} k$ решение приближенно будет справедливо лишь на ограниченных участках, где угол δ' наклона равного давления к контуру откоса будет отличаться незначительно.

Энергия селевого потока не ограничивается сдвижным эффектом и переводом слоя грунта в предельно напряженное состояние. Интенсивность воздействия такова, что при движении вниз по водонасыщенному транзитному участку возникнет фильтрационный отрыв части грунта с его захватом и разжижением. Селевой поток наполнится новой массой грунта и его разрушительная сила возрастет.

Далее фильтрационный отрыв грунта при движении селевого

потока прослеживается путем анализа выражения, приведенного в монографии [5]:

$$i_{кр} = \frac{\gamma_{sb}}{\gamma_w} \cos \varepsilon + \frac{p}{\gamma_w u_0} + \frac{2k}{\gamma_w u_0}, \quad (6)$$

где

$$i_{кр} = \frac{\sin(\varepsilon - \delta')}{\sin \delta'} \quad \text{и} \quad p = \left[H_{ces} \gamma_{ces} - \left(H_{ces} \gamma_{ces} + d \frac{V^2}{2g} \gamma \right) \right] \cos \varepsilon.$$

Тогда

$$\gamma_w u_0 \frac{\sin(\varepsilon - \delta')}{\sin \delta'} = \gamma_{sb} \cos \varepsilon - d \frac{V^2}{2g} \cos \varepsilon + 2k. \quad (7)$$

Здесь следует учитывать изменчивость значений гидравлических градиентов на выходе фильтрационного потока на склон, по которому движется селевой поток.

Анализ фильтрационной устойчивости склона транзитного участка необходимо начинать с построения изобар, т.е. линий равного порового давления. Следует иметь в виду, что при постоянстве направлений линий тока нормально к поверхности прямолинейного откоса величина гидравлического градиента будет возрастать из-за изменчивости направления линий равного давления. Так, угол наклона δ' линии равного давления к прямолинейному контуру откоса при восходящем фильтрационном потоке будет изменяться от $\delta' = \varepsilon$ до $\delta' = 0$, соответственно изменяется и градиент ($i = \text{grad} H$) от 0 до ∞ .

Ввиду того, что в выражении (7) отсутствует линейный размер вдоль склона, определение толщи фильтрационно оторванного (или разжиженного) грунта и скорости, при которой эти явления происходят, следует производить методом фрагментов. На рис. 3 показана эпюра выходных градиентов. Задаваясь скоростью движения сели V , возможной толщиной фильтрационно-взвешенного грунта при соответствующих параметрах селевого потока и грунта, можно определить гидравлические градиенты и линии равного порового давления с наклоном

$$\text{grad } H = \frac{\sin(\varepsilon - \delta')}{\sin \delta'}$$

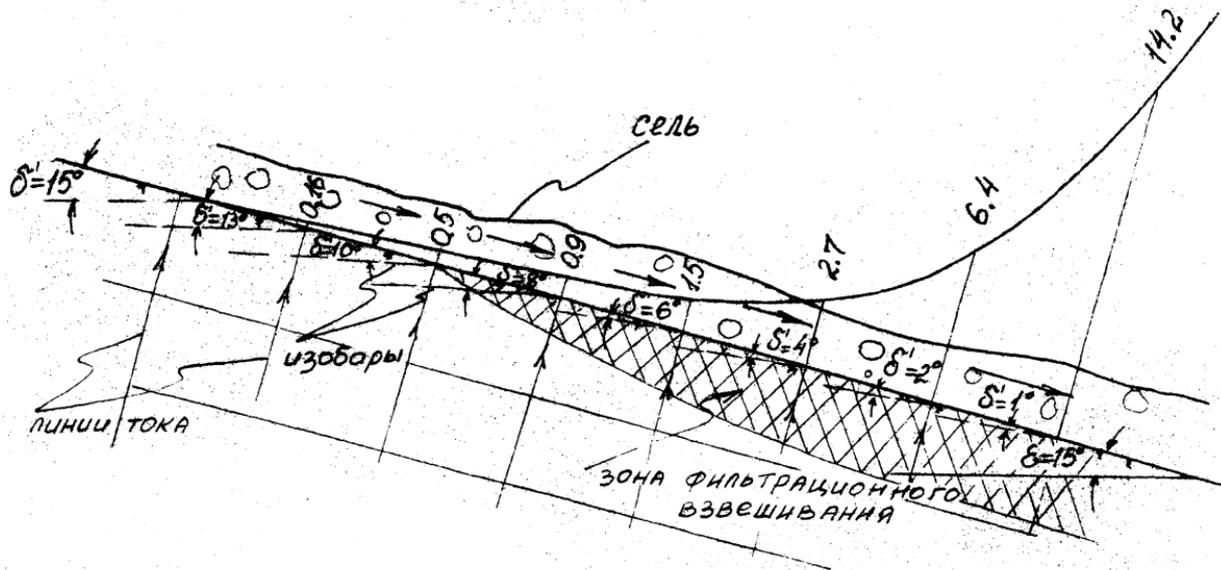


Рис.3. Эпюра выходных градиентов водонасыщенного склона под селевым потоком

к контуру откоса и тем самым очертить по длине транзитного участка область захвата грунта селевым потоком.

3. Условия стабилизации водо- и грязекаменных потоков. Грязевая суспензия движется со скоростью 1-10 м/с. В финале поток растекается веером по плоской поверхности грунта. Стабилизируясь, сели образуют пологие склоны или задерживаются во временных запрудах с валами 5 и даже 10-15 м высотой. Скорость движения потока зависит от плотности суспензии, в которой перемещается каменный материал. Плотность колеблется от 1 до 1,40 т/см³, т.е. представлена либо водой с незначительными примесями пылеватых частиц, либо пылевато-глинистой суспензией. Плотность селя может составлять 1,75 т/см³ и более в зависимости от насыщения каменным материалом. Средняя вязкость селя при размерах камней 1,5-1,8 м в поперечнике может достигать 3 м/с. В качестве угла внутреннего трения в селевом потоке рекомендуется принимать их кинематический угол внутреннего трения, который приблизительно может быть принят равным 25° [5].

Используя зависимость для критического наклона участка высачивания, найдем пределы угла стабилизации селевых потоков при плотностях суспензий от 1 до 1,4 т/м³ куб. и плотности селя в целом, равной 1,75 т/м³ куб.

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\gamma_{\text{сб}}}{\gamma_{\text{селя}}} \operatorname{tg} \rho ;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{17,5-10}{17,5} \operatorname{tg} 25^{\circ} = 0,20; \quad \varepsilon = 11^{\circ} 19' ;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{17,5-14,0}{17,5} \cdot \operatorname{tg} 25^{\circ} = 0,09; \quad \varepsilon = 5^{\circ} 08' ;$$

Угол стабилизации будет находиться в пределах от 11° (для водной взвешенной среды) до 5° (для пылевато-глинистой суспензии), что собственно и наблюдается в областях распространения селевых потоков.

Теперь представим, что нам удалось насытить селя воздухом с помощью перфорированных труб, проложенных по пути следования потока, доведя вмещающую суспензию до удельного веса 7,5 т/м³ куб.

Тогда

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{17,5 - 7,5}{17,5} \operatorname{tg} 25^\circ = 0,27; \quad \varepsilon = 15^\circ.$$

Из вышеприведенного текста вытекает, что на транзитном участке развития и движения селя создаются фильтрационные условия для захвата больших масс грунта и пополнения ими грязекаменного потока. Очевидно, как это следует из рис.3, что для того, чтобы избежать явления фильтрационного взвешивания грунта ложа при прохождении по нему селя, селеопасные участки необходимо глубоко дренировать. Тогда осуществляется эффективное погашение порового давления, возникающего из-за скоростного напора, резко уменьшается захватный эффект селя, пресекается наращивание его энергии на транзитном участке.

Литература

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геодинамика. - Л.: Недра (Ленингр. отд.), 1977.
2. Маслов П.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. - М.: Высшая школа, 1982.
3. Decja B., Dhital M., Thapa B., Wagner A. Mountain Risk Engineering. Handbook - Part 1. Subject Background. ICIMOD. - Kathmandu, Nepal, 1991.
4. Соболевский В.В. Статика сыпучей среды. - М.: Гостехиздат, 1954.
5. Соболевский В.В. Водонасыщенные откосы и основания. - Минск: Высшая школа, 1975.
6. Михневич Э.И. Устойчивость русел открытых водотоков. - Минск: Ураджай, 1988.
7. Чертоусов М.Д. Гидравлика. Специальный курс. - М. Л.: Госэнергоиздат, 1962.

ДРЕНАЖИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ
И УТИЛИЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из наиболее негативных последствий при создании водохранилищ является затопление и подтопление земель и связанное с этим уменьшение земельного фонда. В целом по СНГ при создании водохранилищ затоплено около 7 млн. га земель. Причем на площадь земель, попадающих в зоны обрушения берегов, приходится 3-5 % площади затопления [1]. Значительные площади часто выходят из сельскохозяйственного оборота и в нижнем бьефе довольно протяженных плотин из-за неудовлетворительной работы их дренажа [2]. Поэтому изучение работы приплотинных и придамбовых дренажей является актуальной задачей в настоящее время. Кроме того, стоимость применяемых в качестве дренажа строительных материалов (асбестоцементные, бетонные или гончарные трубы, щебень и гравий) возросла в 10 раз и более и поэтому требуется переход на другие, более дешевые их виды. Необходимо также совершенствование дренажей для увеличения водозахватной способности и исключения нависания депрессионной поверхности грунтовых вод над ними.

Авторами проанализирована работа дренажных устройств с использованием синтетических и утилизированных материалов, изучены конструкции дренажей, предлагаемых другими авторами, и выполнены конструктивные разработки дренажей с использованием разных материалов.

Определенный интерес представляет конструкция придамбового дренажа кассетного типа, в котором вместо обратного фильтра использованы дренажные гофрированные трубы из поливинилхлорида с равномерным подключением их устьев по длине отводящей трубы, выполненной без перфорации [3]. Применение этой конструкции в качестве придамбового дренажа на водохранилище "Козики" позволило сэкономить 650 м³ щебня и 1605 м³ гравийно-песчаной смеси [3].

Использование утилизированных материалов в настоящее время находит все большее применение при проектировании и водохозяйственном строительстве в Республике Беларусь. Одним из перспективных материалов являются отслужившие свой срок автомобильные покрышки. Они используются при устройстве дрен-накопителей: располагаясь над дренажной, покрышки увеличивают ее водозахватную способность [4].

Однако, несмотря на то, что институтом Белгипроводхоз использованные покрышки широко вводятся в практику проектирования и уже построено значительное количество сопрягающих сооружений, в которых крепление выполнено из них (например Хорский перепуск [5]), что позволило уменьшить стоимость в 2 раза, покрышки не применяются как материал для устройства придамбовых дренажей, хотя объемы последних довольно значительны.

Имеется обширный материал по конструктивным разработкам дренажей из использованных покрышек, который представлен авторскими свидетельствами [6-8].

Основываясь на предложенных разными авторами технических решениях и опыте эксплуатации придамбовых дренажей, разработаны более совершенные конструкции, позволяющие существенно повысить водозахватную способность и понизить депрессионную поверхность грунтовых вод в теле плотины и тем самым исключить ее нависание над дренажем. Эти конструкции позволяют не только уменьшить стоимость самого дренажа, но и использовать в сельскохозяйственном обороте площади земель в нижнем бьефе дамбы.

На кафедре ГТЭС БПА разработаны конструкции дренажных устройств с применением синтетических и утилизированных материалов.

Дренаж земляных плотин на водопроницаемом основании (рис. 1), состоящий из приемной части в виде блоков из использованных автомобильных покрышек 1, гравийной обсыпки 2 и отводящей части из

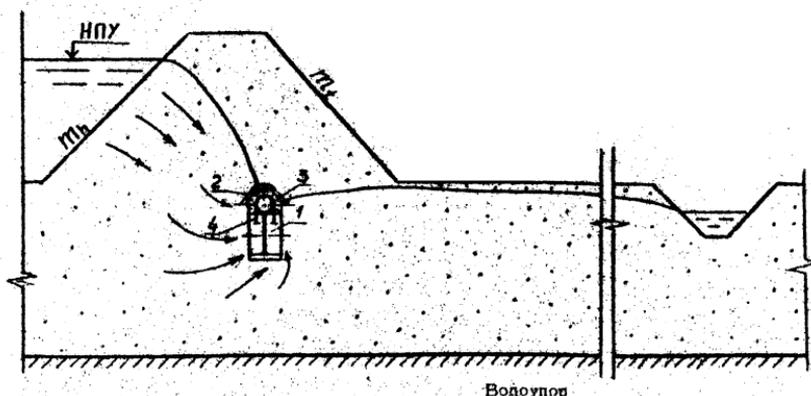


Рис.1. Дренаж земляных плотин на водопроницаемом основании
 1 - использованные автомобильные покрышки; 2 - гравийная обсыпка; 3 - дренажные трубы; 4 - анкерные стержни

дренажных труб 3. Для повышения надежности соединения, трубы 3 при помощи анкерных стержней 4 соединены с блоками из покрышек I. Количество блоков из покрышек I по вертикали определяется из условия предотвращения подтопления территории в нижнем бьефе плотины. Устройство вертикальной дренажной траншеи обеспечивает перехват основной части фильтрационного потока и снижение его уровней в нижнем бьефе (за дренажем) до допустимых значений по условиям эксплуатации территории в нижнем бьефе. Для обеспечения надежного перехвата грунтового потока в теле плотины и работы дренажа без нависания над ним депрессионной поверхности внешний диаметр дренажных труб 3 (с учетом толщины гравийной обсыпки) должен быть больше критическим. Соблюдение этого условия требует иногда значительного увеличения диаметра дренажных труб. В этом случае горизонтальная дрена 3 может выполняться в виде блоков из использованных автомобильных покрышек I.

Дренажное устройство (рис.2), состоящее из перфорированной бетонной или асбестоцементной трубы I, снизу и сверху которой уложены горизонтально друг на друга и вплотную друг к другу по всей длине трубы I автомобильные покрышки 2. Между ними уложены фильтрующие прокладки 3. Покрышки объединены между собой горизонтальными и вертикальными связями 4. Внутреннее пространство автомобильных покрышек 2 заполнено крупнозернистым материалом. По внешней поверхности покрышек выполнена перфорация. В каждом вертикальном ряду сверху на

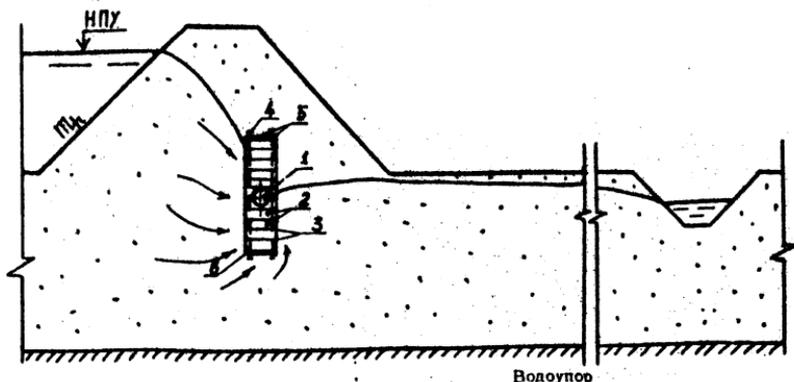


Рис.2. Дренажное устройство.

- I - трубы; 2 - торообразные элементы; 3 - фильтрующие прокладки;
4 - связи; 5 - крышки; 6 - днище

покрышки уложены крышки 5, а снизу днище 6. Для обеспечения удобного прилегания покрышек, расположенных в непосредственном примыкании к трубам I, в них выполнены желоба.

Дренажное устройство работает следующим образом. Фильтрационный поток поступает в отверстия, выполненные на внешней поверхности покрышек, и через фильтрующие прокладки 3 - во внутреннее пространство, заполненное крупнозернистым материалом, где движется снизу вверх в нижней части дренажа или сверху вниз в его верхней части. Пройдя таким образом крупнозернистый материал, поток попадает на приемные отверстия, расположенные на внешней поверхности трубы I, по которой отводится в нижний бьеф.

Муфта для соединения дренажных труб (рис.3), состоящая из торообразного корпуса I (автомобильной покрышки), имеющего верхнюю 2

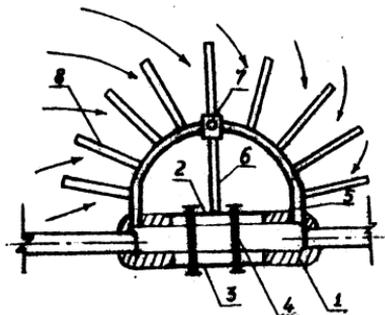


Рис.3. Муфта для соединения дренажных труб.

I - торообразный корпус; 2 и 3 - верхняя и нижняя крышки; 4 - болтовые соединения; 5 - дугообразные элементы; 6 - стойки; 7 - цилиндрическая коробка; 8 - фильтрующий элемент

и нижнюю 3 крышки, объединенные между собой болтами 4 с прокладками и гайками. В верхней части корпуса I установлены перпендикулярно друг к другу два полых дугообразных элемента 5, опирающихся в центральной части на стойку 6. Объединение дугообразных элементов 5 осуществлено при помощи специальной цилиндрической коробки 7 в виде втулки с отверстиями, имеющей верхнюю и нижнюю крышки. На внешней поверхности дугообразных элементов перпендикулярно к ним и равномерно по длине размещены фильтрующие элементы 8.

Дренажная призма (рис.4), состоящая из приемной части в виде обратного фильтра из гравийного материала I, уложенного между

грунтом тела плотины и отводящей частью из использованных автомобильных покрышек 2, установленных вертикально рядами друг на друга. Покрышки, расположенные во втором ряду, установлены в пространство, образованное покрышками 2 нижнего ряда, и так далее. Для ограничения их перемещения в ряду по краям каждого ряда установлены вертикально и перпендикулярно последним стопорные покрышки 3, через которые про-

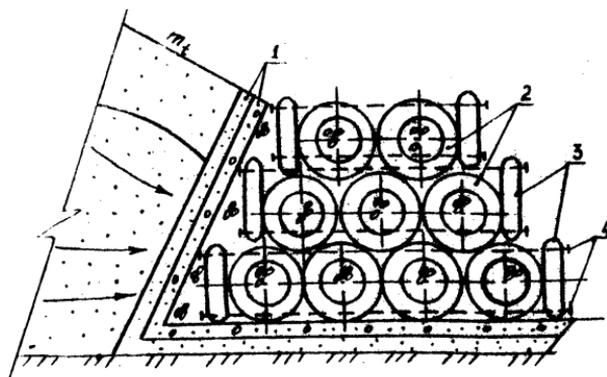


Рис.4. Дренажная призма. 1 - обратный фильтр из гравия; 2 - использованные автомобильные покрышки; 3 - стопорные покрышки; 4 - анкерные стержни

пущены анкерные стержни 4, имеющие накладки с гайками для осуществления натяжения.

Литература

1. Авакян А.Б. Народнохозяйственные и экономические последствия пуска водохранилищ// Гидротехническое строительство. - 1991. - № 8. - С. 1-8.
2. Крутлов Г.Г., Сурма Н.В. Борьба с подтоплением территорий в нижних бьефах плотин и ограждающих дамб. - НТИ Мелиорация и водное хозяйство. - 1990. - № 12. - С. 27-30.
3. Красуцкий А.А. Изношенные автопокрышки - материал для гидротехнических сооружений// Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. - № 6. - С. 17-19.
4. Водчиц Н.Н., Мороз М.Ф., Глушко К.А. и др. Конструкция призмобового дренажа// НТИ Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. - № 4. - С. 5-10.
5. Минаев И.В. Расчленение водосборов - метод экологической мелиорации земель// Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. - № 4. - С. 35-39.
6. А.С. № 939632 (СССР). Водоприемник дренажной системы/ Гайтис И.Ю., Смилга Х.А. - Б.И. № 24, 1982.
7. А.С. № 1587130. А1. Способ формирования дренажного фильтра/ Габитов Ф.Г. - Б.И. № 31, 1990.
8. А.С. № 1483017. А1. Муфта для создания дренажных труб/ Габитов Ф.Г. - Б.И. № 20, 1989.

Н.М.Кунцевич, Мурильо Аякс
(БГПА)

НИЗКОНАПОРНЫЙ БАШЕННЫЙ ВОДОСБРОС С ДВУХЪЯРУСНОЙ ТРУБОЙ И ЕГО ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Для гашения избыточной энергии потока за водосбросными сооружениями наиболее эффективным считается способ, основанный на соударении вытекающих струй, направленных под углом друг к другу [1]. Однако использование этого способа для низконапорных трубчатых водосбросов затруднено из-за сложности разделения и изменения направления струй выходящего потока. Гашение избыточной энергии потока при переливе через верх башни путем соударения с дном ее и изменением направления движения также эффективно, хотя и не использует эффекта соударения струй, но требует больших плановых размеров башни, что влечет значительное удорожание сооружения. К тому же пропуск расходов через верх башни ограничивается повышением уровня в водохранилище на 1-1,5 м из-за значительного затопления территории и требованием утяжеления башни против всплывания, поэтому пропуск расходов через донные отверстия, находящиеся под большим напором, позволяет сократить размеры сооружения, хотя увеличивает скорости на выходе из трубы.

Для использования эффекта соударения струй при пропуске расходов через донные отверстия в низконапорных трубчатых водосбросах разработана конструкция башенного водосброса (рис.1) с двухъярусной отводящей трубой [2]. При пропуске расчетных расходов поток через разные по высоте, расположенные друг над другом, два отверстия в башне поступает в двухъярусную трубу, нижняя часть которой заканчивается водобойным колодцем, перекрытым сверху решетчатой плитой. Верх нижней трубы является дном верхней и располагается на уровне дна отводящего канала. Нижний поток, выходящий под большим напором, проходит через решетки перпендикулярно верхнему, пересекается с ним и гасит избыточную энергию путем соударения струй.

Конструкции подобных низконапорных трубчатых водосбросов с тонкой разделительной стенкой гидравлически не исследованы, хотя совместная работа двухъярусных сооружений исследовалась и высказывались мнения об изменении структуры потока в верхнем бьефе и влиянии ее на пропускную способность. Так, И.Я.Татаров [3], исследуя пропускную способность водослива, работающего совместно с донными трубами, обраца-

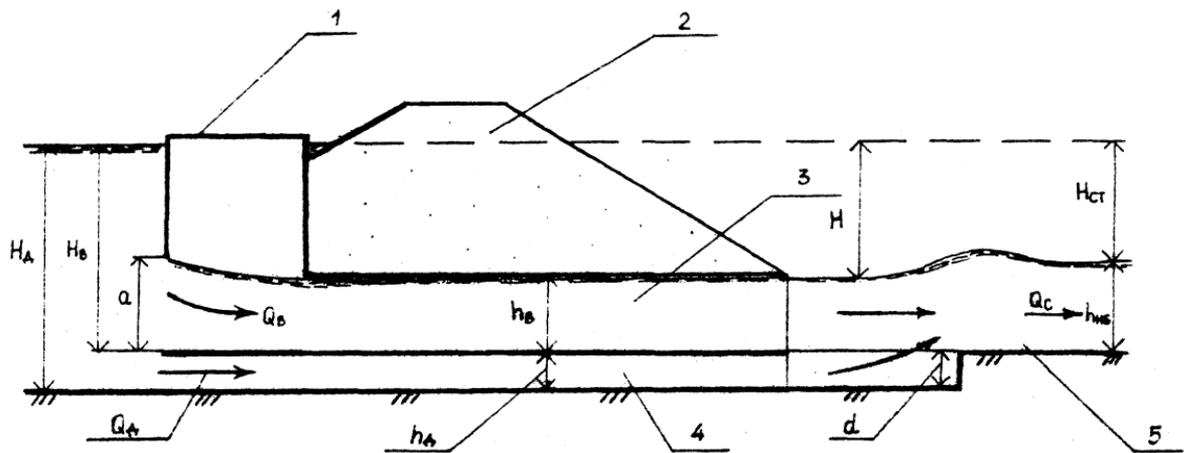


Рис.1. Схема башенного водосбора с двухъярусной трубой.

1 - башня; 2 - грунтовая плотина; 3 и 4 - верхняя и нижняя трубы; 5 - отводящий канал

ет внимание на то, что при извилистой работе водослива заметно падает его пропускная способность, а в пространственных условиях из-за влияния бокового сжатия коэффициент расхода становится несколько меньше, чем в условиях плоской задачи.

Н.В.Синицын [4], изучая влияние структуры потока в верхнем бьефе на пропускную способность двухъярусных отверстий, показывает, что изменение структуры потока в верхнем бьефе влечет увеличение пропускной способности верхнего отверстия (до 12 %) и уменьшение расхода через донное отверстие (до 4 %), хотя суммарная пропускная способность сооружения остается практически без изменения.

Исследуя совместную работу многорядных труб, авторы [5] показывают, что пропускная способность нижнего яруса труб ниже, а верхнего выше при совместной работе отверстий по сравнению с изолированной работой их. Отсутствие порога со стороны верхнего бьефа увеличивает пропускную способность отдельно работающих труб и совсем незначительно - при совместной работе многоочкового водосброса. Сравнение пропускной способности труб многоочкового и одноочкового двухъярусного водосброса показывает, что у изолированного одноочкового водосброса она выше.

С.М.Слесский [6] отмечает, что пока нет строгих данных о взаимодействии потоков в верхнем бьефе двухъярусных сооружений, поэтому расчет пропускной способности следует проводить для каждого из отверстий как одноярусного сооружения, но с учетом того, что для верхнего отверстия берется напор не от дна подводящего канала, а от условной разделительной линии (восходящего и нисходящего потоков) без учета скоростного напора в пространственных условиях (с.337) и принятое ее положение в расчетах лучше там, где теснее раздельный оголовок между ярусами (с.127).

При совместной работе отверстий происходит значительное увеличение коэффициента вертикального сжатия донной струи [7], что нельзя не учитывать при конструировании двухъярусных сооружений.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что нельзя однозначно перенести их на работу предложенной конструкции башенного водосброса с двухъярусной трубой, так как в конструкции толщина разделительной стенки между отверстиями мала по сравнению с глубиной в верхнем бьефе (1:25-1:40) и высотами отверстий труб (1:5 - 1:15). Ранее исследованы конструкции без водобойного колодца, при этом недостаточно изучена работа отверстий в пространственных условиях, при наличии башен, с длинными труба-

ми и водобойным колодцем, подводящим и отводящим каналами трапецеидального сечения и др.

Гидравлические исследования проводились на модели башенного водосброса, выполненной из органического стекла в масштабе 1:8 - 1:15 н.в. и установленной в лотке шириной 1 м. Высота башни водосброса - 40 см, ширина труб в свету - 10 см, высота донной трубы - 5 см, верхней - 5-15 см, длина трубы - 1,5 м, уклон труб и каналов $\alpha = 0$. Измерение расходов велось треугольным водосливом, установленным в верхнем бьефе. Исследования проведены при длине водобойного колодца, не влияющей на пропускную способность, и без перелива воды через верх башни.

При конструировании водосброса и проведении гидравлических исследований учитывались результаты ранее проведенных исследований, но не всегда уделялось внимание выявлению влияния отдельных элементов или их параметров на работу сооружения, а оценивалась их совместная работа в целом.

Проведенные гидравлические исследования показали, что в пространственных условиях не представляется возможным определить в верхнем бьефе визуально (краска, нити) или по эпюрам скоростей границу раздела между потоками, поступающими в верхнюю и нижнюю трубы, так как сложное сжатие потока (в плане и в вертикальной плоскости) вызвано элементами конструкции (подводящий канал, открышки, башня, пазы затворов, откосы грунтовой плотины и др.). Поэтому линия раздела принята условной, совпадающей с дном верхней трубы.

Анализ работ по определению пропускной способности отверстий при совместной работе показывает, что авторы [3-6] предлагают вести расчет ее раздельно для верхнего и нижнего отверстий независимо от схемы их работы, а затем расходы суммировать.

При установлении схемы работы башенного водосброса принято, что затворы поднимаются и сначала открывают донное отверстие (трубу), а затем - верхнее, высота которого определялась из расчета, что при незатопленном истечении через это отверстие поток свободно, без удара о низовую стенку башни входит в верхнюю трубу и не касается верхней ее кромки [8]. При таком открытии затвора обеспечивается максимальная пропускная способность трубы, не наблюдается вакуирования и сильного колебания потока в башне. Соотношение высот верхнего отверстия и трубы подтверждает данные, приведенные в работе [7].

Опытами установлено, что пропускная способность труб (отвер-

стей) башенного водосброса при совместной работе Q_c^o практически равна сумме расходов донной $Q_d^{p(o)}$ и верхней $Q_B^{p(o)}$ труб при раздельной их работе. Расходы труб во всех диапазонах исследований не имеют линейной зависимости от напоров. При совместной работе труб величины расходов отличаются от величин суммарных расходов труб до $\pm 12\%$. Хотя пропускная способность труб при совместной работе Q_c практически равна сумме расходов донной Q_d^p и верхней Q_B^p труб при раздельной работе, но правильнее их зависимость представить в виде

$$Q_c = k(Q_d^p + Q_B^p). \quad (1)$$

Коэффициент k выражает соотношение расходов при совместной работе труб и суммарных (донной и верхней) при раздельной их работе. Значение коэффициента k в диапазоне исследований изменяется от 0,98 до 1,14. Установить зависимость k от соотношения расходов, проходящих через полное сечение донной и верхней труб, не представилось возможным, а было замечено, что величина k изменяется от степени подтопления выходящего в нижний бьеф потока. Так, для совместно работающих труб и свободном истечении в нижний бьеф, когда поток, выходящий из верхней трубы, больше отклоняется вниз и, очевидно, оказывает большее сопротивление потоку, выходящему из донной трубы, значение k близко к 1. С повышением глубин в нижнем бьефе схема истечения потока несколько изменяется, так как выходящий поток из верхней трубы как бы приподнимается и пропускная способность совместно работающих труб становится больше, чем сумма расходов, пропускаемых отдельно работающими трубами, и значение коэффициента k становится больше 1.

Проведенные исследования подтвердили данные опытов Н.Н. Степанова [9], полученные для совместной работы донных водосбросов с отводами отсасывающих труб гидротурбинного блока при различном открытии донных затворов, где значение k учитывалось при определении пропускной способности. При этом значение k изменялось в пределах 0,83–1,05 и показана его зависимость от степени открытия донного затвора. При этом меньшее значение k соответствует полному открытию затворов. На основании данных опытов можно предположить, что на величину k влияет соотношение пропускаемых расходов, однако наши опыты не подтвердили это предположение.

На основании полученных данных мы склонны предположить, что коэффициент k больше зависит от степени заполнения труб и схе-

мы присоединения расхода. Значение k по результатам наших исследований независимо от соотношения расходов и перепада уровней можно принять равным $\approx 1,06$ (рис.2). Подтверждением данного предположения является хорошее совпадение опытных расходов при совместной работе труб с рассчитанными по формуле (I) с использованием ниже приведенной методики для определения пропускной способности донной и верхней труб при раздельной их работе (рис.3).

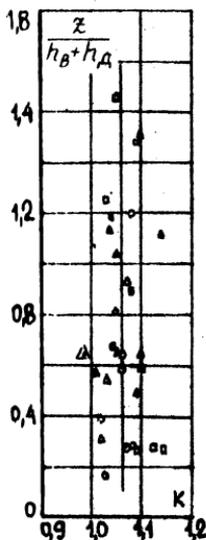
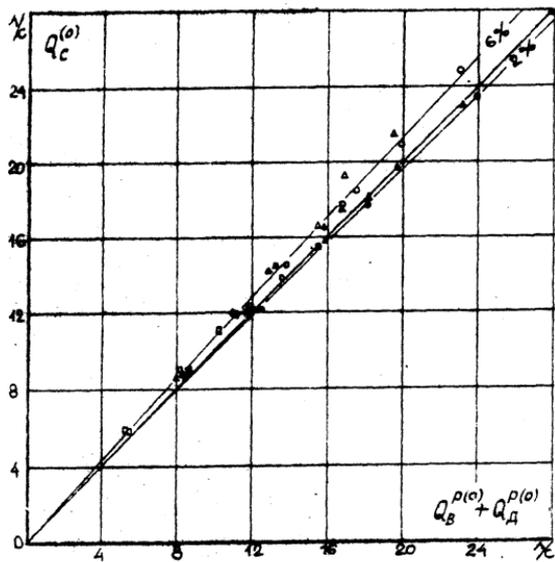


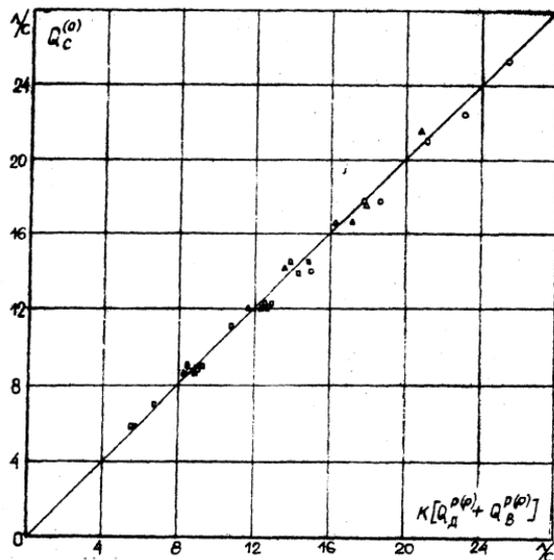
Рис.2. Зависимость коэффициента k от отношения перепада уровней в бьефах Z и суммы высот h_B и h_D .

При расчете пропускной способности труб приходится сталкиваться также с проблемой определения величины напора, а следовательно, и коэффициента расхода. Здесь следует согласиться с С.М.Слисским [6] (с.348), что можно брать две величины напора, а следовательно, и коэффициента расхода. Напор можно определить по разности удельных энергий потока - сечения в верхнем бьефе и двумя сечениями в нижнем бьефе - в створе выходного отверстия из трубы или в створе нормального распределения скоростей. Определение средней (удельной) энергии в створе выходного отверстия на практике связано с трудностями, так как в лаборатории ее определяют с помощью пьезометров по эпюре давлений. К тому же ее величина зависит от соотношения уровней воды в бьефах, степени затопленности выходного сечения, конструкции выхода и др. Так, при наличии длинной разделительной полки в нижнем бьефе, когда не нарушаются кривизна струй и гидростатическое распределение давлений, значения энергии в названных сечениях близки друг к другу, а при подтоплении выравниваются [6].

На практике более рационально измерять статические уровни в верхнем и нижнем бьефах в сечениях с нормальным распределением ско-



а



б

Рис.3. Сравнение расходов, пропускаемых через башенный водосбор:
 а - опытных при совместной работе труб $Q_c^{(o)}$ и суммы расходов при раздельной работе донной $Q_D^{P(o)}$ и верхней $Q_B^{P(o)}$ труб; б - опытных при совместной работе труб $Q_c^{(o)}$ и рассчитанных по формуле (I)

$$\frac{h_e}{h_d} = \begin{array}{l} \square - 1,0; \triangle - 1,5; \circ - 2,0 \text{ — свободное истечение} \\ \blacksquare - 1,0; \blacktriangle - 1,5; \bullet - 2,0 \text{ — затопленное истечение} \end{array}$$

ростей потока, где имеются зависимости уровней воды от расходов, и по перепаду уровней z определять величину напора.

Пропускную способность донной трубы при раздельной работе рекомендуется определять по формуле:

$$Q_d^p = \mu_d^p \omega_d \sqrt{2g [H_d - (h_{NB} + d)]}, \quad (2)$$

- где μ_d^p - коэффициент расхода донной трубы при раздельной работе;
 ω_d - площадь поперечного сечения донной трубы;
 H_d - глубина воды в верхнем бьефе до дна нижней трубы (разность отметок уровня воды в водоеме и дна нижней трубы);
 h_{NB} - глубина воды в отводящем канале;
 d - глубина водобойного колодца.

Так как эксплуатационникам удобнее определять статический

напор $H_{ст} = z = H_d - (h_{NB} + d)$, то его значение принято при определении коэффициента расхода. На основании опытных данных значение коэффициента расхода μ_d^p изменяется в пределах 0,67-0,81. Его значения переменны и зависят от режима сопряжения бьефов, глубин воды и др.

Следует отметить, что при незначительном подтоплении донной трубы коэффициент расхода имеет почти постоянное значение $\mu_d^p = 0,78$ и только при малых перепадах уровней, когда $z \leq (1,4-1,5)h_d$, коэффициент расхода имеет переменное значение (h_d - высота донной трубы).

Значение коэффициента расхода μ_d^p рекомендуется определять в зависимости от соотношения перепада уровней и высоты донной трубы (рис.4).

Работа донной трубы приближается к работе трубы с напорным вакуумным режимом, когда у потолка трубы устанавливается пониженное давление, а на входе, в месте наибольшего сжатия потока, образуется зона наиболее пониженных давлений. В

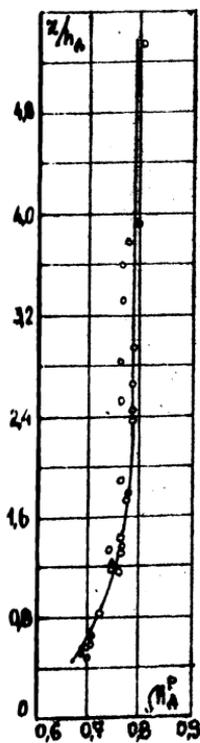


Рис.4. Зависимость коэффициента расхода донной трубы при раздельной работе от соотношения перепада уровней в бьефах z и высоты донной трубы h_d .

эту зону при работе "дорожных труб" может прорываться воздух и в сооружении будут возникать неблагоприятные явления. В башенном водосбросе из-за водобойного колодца происходит постоянное подтопление трубы на выходе и эти явления не возникают.

Пропускная способность верхней трубы при раздельной работе Q_B^p может определяться по формуле:

$$Q_B^p = \mu_B^p \omega_B \sqrt{2g(H_B - h_{нБ})}, \quad (3)$$

где μ_B^p - коэффициент расхода верхней трубы при раздельной работе;

ω_B - площадь поперечного сечения верхней трубы;

H_B - глубина воды в водоеме до дна верхней трубы (разность отметок уровней воды в водоеме и дна верхней трубы).

На основании проведенных опытов получены значения коэффициентов расхода μ_B^p , которые можно принять постоянными и равными $\approx 0,63$ независимо от глубин потока; они совпадают с данными, полученными при исследовании подобных конструкций с истечением из-под щита [8].

Принимая переменное значение коэффициента расхода для донной трубы в зависимости от перепада уровней и постоянное значение его для верхней трубы, получаем хорошее совпадение опытных данных для совместной работы труб и суммы рассчитанных для раздельной их работы с введением коэффициента $k = 1,06$ (рис.3).

Таким образом, проведенные гидравлические исследования башенного водосброса с двухъярусной трубой и водобойным колодцем с подводными и отводящими каналами трапецидального сечения в пространственных условиях показали, что работа такого сооружения не отличается от ранее исследованных двухъярусных сооружений, однако при совместной работе труб их пропускная способность несколько выше суммы расходов раздельно работающих труб и ее следует определять, принимая в расчет коэффициент, учитывающий совместную работу труб.

Литература

1. Складнев Б.М. Эффект гашения энергии при соударении потоков. - Вопросы гидротехники и гидравлики. - Киев, 1969. - С.30-32.
2. Кунцевич Н.М., Мурильо Аякс. Башенный водосброс с двухъярусной трубой для малых водоемов//Мелиорация и водное хозяйство.- 1990. - № 10. - С. 32-33.

3. Татаров И.Я. О пропускной способности водослива с широким порогом, работающим совместно с донными отверстиями// Изв.вузов СССР. Строительство и архитектура. - 1964. - № 2. - С. 22.

4. Сеницын Н.В. О влиянии распределения пстока на подходе к сооружению на пропускную способность двухъярусных водоводов/Матер. респ. научн.-техн. совещ. по изучению, комплексному использованию и охране водных ресурсов. - Вып. 6. - Минск, 1965. - С. 102-105.

5. Палишкин И.А., Русецкий А.П. Исследование совместной работы поверхностных и донных многорядных трубчатых водосбросов.Аннотации законченных в 1963 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике. - Л.: Энергия, 1965. - С. 546-548.

6. Слиский С.М. Гидравлика зданий гидроэлектростанций. - М: Энергия, 1970. - 420 с.

7. Будыка С.Х., Вопнярский И.П., Козлов Д.А. Учет влияния распределения потока перед двоянным затвором на параметры донной струи// Доклады АН БССР. Т. ХУП. - 1973. - № 3. - С. 269-271.

8. Кунцевич Н.М. Гидравлические исследования башенных водосбросов рыбоводных прудов// Автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - Минск, 1970. - 25 с.

9. Степанов Н.Н. Экспериментальное определение пропускной способности здания ГЭС с донными водосбросами, совмещенными с отводами отсасывающих труб// Гидравлика и гидротехника, вып. 21. - Киев.- 1975 . - С. 75-79.

УДК 627.41

Е.М.Левкевич (БГПА)

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСИЛЕННОЙ
ШЕРОХОВАТОСТИ ПЛИТ ПОКРЫТИЙ ВЕРХОВЫХ ОТКОСОВ
ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН НА ВЫСОТУ НАКАТА ВОЛНЫ**

Для защиты верховых откосов земляных плотин, напорных дамб, берегов водохранилищ и морей от размыва используются крепления, различные по капитальности, конструкциям и применяемым материалам.

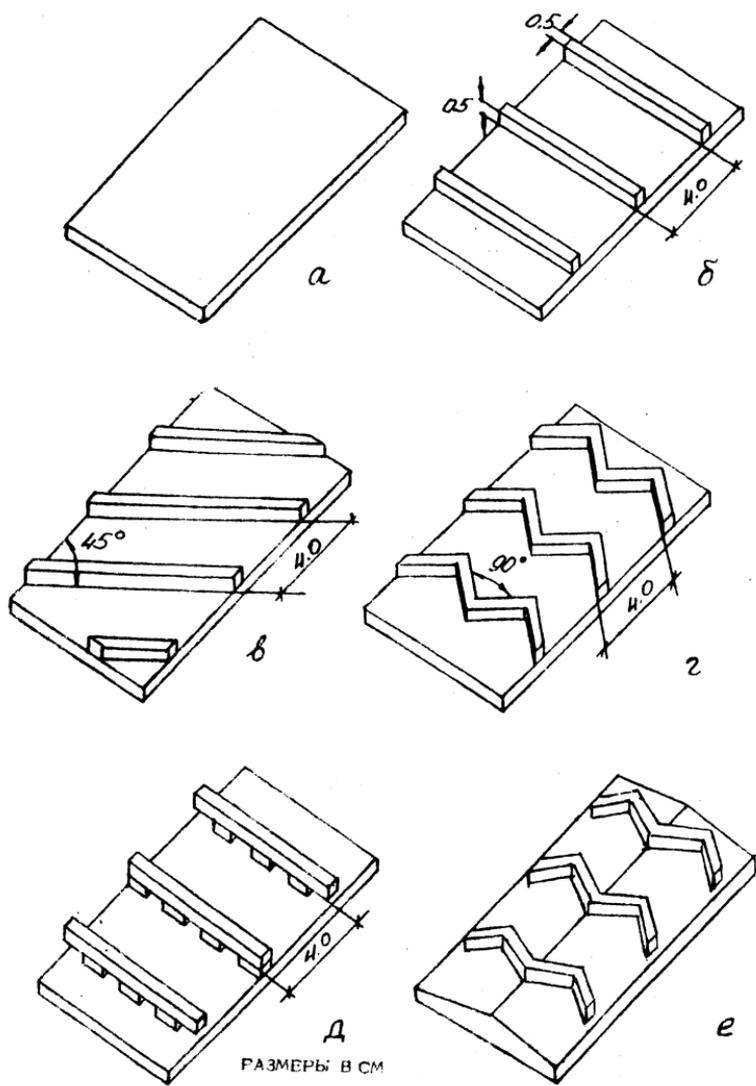


Рис. I. Типы плит покрытия и череховалостей: а - гладкие
 б - ребра, параллельные урезу воды; в - ребра, наклонные
 к урезу; г - ребра типа "зигзаг"; д - ребра на стойке
 е - двухскатные плиты с ребрами "зигзаг"

Наиболее широкое распространение получили крепления с покрытиями из железобетонных плит различных типов [1-7]. Покрытия из железобетона отличаются высокой надежностью и относительной простотой изготовления, однако они сравнительно дороги, поэтому ведутся изыскания по их удешевлению.

Одним из путей снижения стоимости является уменьшение площади крепления, которое может быть достигнуто за счет понижения высоты наката волны путем устройства на поверхности плит усиленной шероховатости. Она может быть в виде шашек, пирсов, или ребер различной формы и расположения на поверхности плиты [1-8]. Усиленная шероховатость применяется главным образом на водопроводящих сооружениях для гашения энергии русловых потоков; для этих условий имеются рекомендации по их проектированию [3,4,8], полученные на основании лабораторных исследований и обобщения опыта их эксплуатации. Реже применяется усиленная шероховатость на плитах крепления откосов гидросооружений и берегов, подвергающихся действию волн [5-7] с целью уменьшения высоты наката.

В отечественной литературе приводятся примеры устройства креплений из плит с усиленной шероховатостью [5-7], однако мало публикаций, содержащих сравнительные данные по эффективности различных типов шероховатости в условиях взаимодействия с волновым потоком [7,9]. Кроме того, в последние годы появились предложения по устройству усиленной шероховатости на плитах покрытия откосов, подвергающихся действию волн [10-12], что также требует экспериментальной проверки.

С целью изучения влияния усиленной шероховатости различного типа плит покрытий откосов, подвергающихся воздействию волн, на высоту наката, нами проведены лабораторные исследования в лотке размером 12,0x0,6x0,32 м с волнопроизводящей установкой типа качающегося щита на модели земляной плотины, отсыпанной из песка средней крупности.

Характеристики модели: высота 50 см, ширина гребня 20 см, заложение верхового откоса 1:3, низового - 1:1,5; на низовом откосе уложен наклонный дренаж, на верховой откос последовательно, в соответствии с условиями опыта, укладывались щиты с различными типами шероховатости. Исследовано два типа плит покрытий откосов с 6 видами шероховатости (рис.1):

- 1) плиты с плоской лицевой поверхностью
гладкие, без искусственной шероховатости;

- с ребрами, параллельными урезу воды [4,8] ;
- с ребрами, наклонными к урезу под углом 45° [10] ;
- с ребрами типа "зигзаг" [4,8] ;
- с ребрами на стойках, параллельными урезу воды [11] ;

- 2) плиты с двухскатной лицевой поверхностью
с ребрами типа "зигзаг" [12] .

Характеристики шероховатости для модели были определены по рекомендациям для русловых потоков [4,8] в связи с тем, что для волновых потоков они отсутствуют.

Определение характеристик шероховатости проводилось для условий небольших водохранилищ, высота волн в которых колеблется в пределах 0,5–1,0 м. Для этих высот волн была подсчитана толщина струи потока наката и для нее определены размеры выступа шероховатости, которые для условий натурн составили 5–8 см. Учитывая, что исследования будут производиться с волнами больше и меньше средней высоты, было принято наименьшее значение 5х5 см с расстоянием между ними 40 см. С учетом возможности лотка и условий волнообразования в нем был принят масштаб моделирования 1:10, в соответствии с чем были приняты размеры выступов шероховатости 0,5х0,5 см с расстоянием между ними 4 см. Ребра изготавливались из планок, которые в соответствии с выбранными схемами прикреплялись к щиту.

Для намеченных схем шероховатости при различных условиях волнения измерялись высота исходной волны и высота наката. Высота волны измерялась мерными иглами электросигнальным методом, а накат обеспеченностью I % – мерной линейкой. Опыт проводился при регулярном волнении в следующих условиях: глубина воды – 35 см; длины волн – 80 и 102 см; высоты волн – 3,75–8,0 см.

При анализе опытных данных в первую очередь необходимо было выяснить, в какой степени полученные опытные данные по накату волны на гладкий откос согласуются с рекомендациями и формулами, предложенными различными авторами для сходных условий (при этом не ставилась задача проверить их правильность, так как эта работа проделана рядом авторов [5,7]).

Сравнение экспериментальных и расчетных данных по высоте наката показало, что опытные значения высоты наката хорошо согласуются с результатами других авторов, получивших формулы на основании лабораторных исследований для условий регулярного волнения; при этом наибольшая сходимость опытных значений с расчетными имела при использовании формулы Б.А.Пышкина [5] .

Проведенные сравнения дали основание заключить, что полученные опытные данные по накату достаточно достоверны. На рис.2 а приведены зависимости высоты наката волны h_n от ее высоты h_0 для откоса $m = 3,0$ при разных шероховатостях опытных покрытий. Из графиков видно, что во всех случаях шероховатость оказывает существенное влияние на высоту наката волны. При этом степень гашения потока наката на откос неодинаковая при различных типах шероховатостей.

Для выявления количественных оценок эффективности различных типов шероховатости была подсчитана относительная высота наката $k_n = h_{ni}/h_{nr}$, равная отношению высоты наката для каждого вида шероховатости к накату на гладкий откос. Эта величина изменялась в широких пределах: от 0,46 до 0,93. Средние значения k_n для плит с разной шероховатостью находятся в пределах 0,5-0,7; при этом наименьшее значение его наблюдается для двухскатных плит с шероховатостью типа "зигзаг" на поверхности, что указывает на ее преимущество перед другими плитами.

Анализ опытных данных показал, что степень гашения волны зависит от ее пологости. На рис.2 б приведен график зависимости k_n от пологости волны, из которого видно, что на всех видах покрытий с различной шероховатостью относительная высота наката увеличивается с увеличением пологости волны, т.е. чем короче волны, тем гашение энергии волны более интенсивное.

Опыты показали также, что характер взаимодействия волны с откосом, укрепленным креплением с покрытиями, имеющими различную искусственную шероховатость, примерно одинаков, однако в этом процессе для отдельных типов шероховатостей имеются некоторые особенности. В общем случае (независимо от типа плит и шероховатости) волна, подходя к откосу, на некоторой критической глубине разрушается и движется в виде потока наката вверх по откосу, затем, израсходовав весь запас энергии, содержащийся в ней, скатывается вниз, навстречу набегающей волне. На откосах, укрепленных гладкими плитами или с шероховатостью в виде ребер, параллельных урезу волны (рис.1), при подходе волны по нормали к линии уреза, потоки наката и ската, находясь в бурном состоянии, совершают свое движение по тому же направлению по нормали, при этом иногда наблюдается сбой (когда потоки отклоняются от нормали), который имеет случайный характер.

На откосах с шероховатостью типа "зигзаг" (рис.1 г) общая

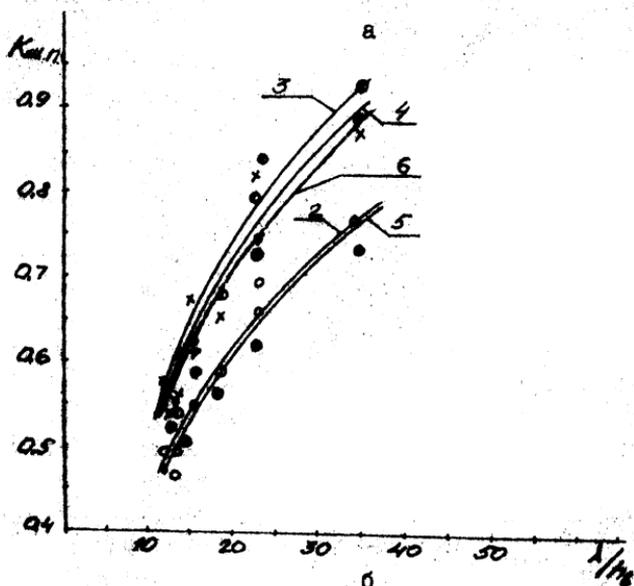
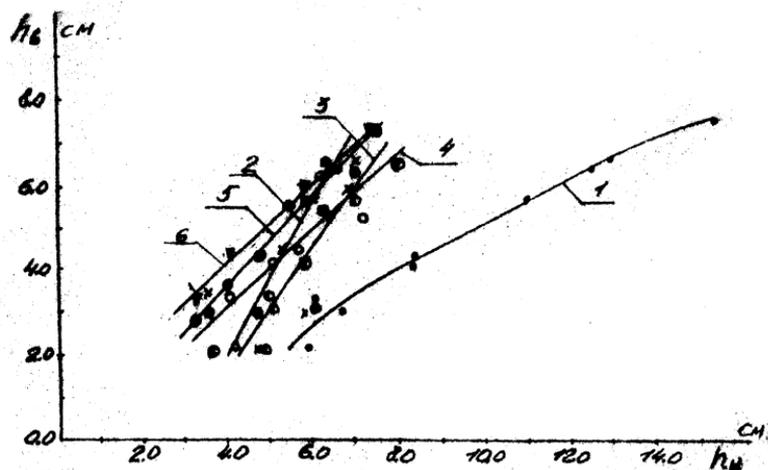


Рис.2. Графики зависимостей: а - высоты наката волны h_n от высоты исходной волны h_g ; б - относительной высоты наката $k_n = h_{н.п.}/h_{н.г.}$ от пологости волны λ/h_g . 1 - гладкие; 2 - ребра, параллельные урезу воды; 3 - ребра, наклонные к урезу; 4 - ребра "зигзаг"; 5 - ребра на стойках; 6 - двухскатные плиты с ребрами "зигзаг"

картина взаимодействия примерно такая же, но собой практически отсутствует.

Что касается покрытия с шероховатостью в виде ребер (рис. I в) с наклоном к урезу воды, то в этом случае поток ската имеет боковой свал, направленный вдоль наклонных ребер, т.е. шероховатость способствует образованию берегового течения.

Отличающийся от всех ранее рассмотренных вариантов характер взаимодействия с волной имеет откос с покрытием из плит с двухскатной поверхностью, на котором расположены ребра типа "зигзаг" (рис. I е). На откосе с таким покрытием поток наката, образовавшийся после разрушения волны, продвигаясь вверх по откосу, теряет часть своей энергии на ребрах, а затем на заключительной стадии наката расщеленится на локальные потоки. Ребра, расположенные под углом к урезу и сходящиеся у гребня, заставляют локальные потоки двигаться в межреберной зоне по направлению к гребню плиты, т.е. по уклону большему, чем общий уклон откоса, что также способствует уменьшению высоты наката. При скате волны основной поток движется по утлублениям между соседними скатами, поверх ребер, а его остатки — по разрывам между ребрами шероховатости. Свал потоков наката и ската при фронтальном подходе волны практически отсутствует; благодаря двухскатной форме поверхности плиты и, как следствие, наличию понижений в местах стыковки плит, скат волны с откоса в рассматриваемом случае и при косом подходе волны к откосу будет происходить по направлению, близкому к нормали к линии уреза.

Таким образом, покрытие из двухскатных плит с шероховатостью типа "зигзаг" обладает рядом достоинств: более высокой эффективностью гашения волн на откосе; при подходе волны с разных направлений в одинаковой степени уменьшается накат; сокращается время ската волны и обеспечивается его движение по нормали к урезу воды.

Изложенное показывает, что двухскатные плиты с искусственной шероховатостью имеют преимущества перед другими видами покрытий в условиях взаимодействия их с волнением.

Литература

1. Алперин И.Е., Быков Л.С., Гуревич В.Б. Укрепление берегов одуходных каналов, рек и водохранилищ. — М.: Трансиздат, 1973. — 116 с.

2. Гидротехнические сооружения (в двух частях). Учебник для студентов вузов/Под ред. Гришина М.М.—М.: Высшая школа, 1979. — 615 с.

3. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика/Железняков Г.В., Ибад-Заде Ю.А., Иванов П.Л. и др./ Под общей ред. Недриги В.П. - М.: Стройиздат, 1983. - 543 с.
4. Замарин Е.А., Фандеев В.В. Гидротехнические сооружения. 5-е изд. - М.: Колос, 1965. - 623 с.
5. Пышкин Б.А. Динамика берегов водохранилищ. - Киев: Наукова думка, 1973. - 414 с.
6. Смирнов Г.Н., Горюнов Б.Ф., Курлович Е.В. и др. Порты и портовые сооружения. - М.: Стройиздат, 1979. - 608 с.
7. Шайтан В.С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. - М.: Стройиздат, 1974. - 352 с.
8. Чертоусов М.Д. Гидравлика. - М-Л.: Энергоиздат, 1957, -640 с.
9. Левкевич Е.М., Самончик Е.Н. Влияние искусственной шероховатости покрытий верховых откосов земляных плотин на высоту наката волны. Тез. докл. XXXII СНТК вузов прибалтийских республик, Республики Беларусь, Республики Молдова, Ч.Ш. - Рига: РПИ, 1988.
10. А.С. № 907147 (СССР). Кл. Е. а2 В 3/12. Защитное покрытие откосов/Чеплашкин А.П., Агалакив С.С., Бельченко И.Г. - Б.И. № 7, 1982.
11. А.С. № 638664 (СССР). Кл. Е 02 В 3/12. Защитное покрытие грунтовых откосов гидротехнических сооружений/ Радченко И.К.-Б.И. № 47, 1978.
12. А.С. № 1625919 (СССР). Кл. Е 02 В 3/12. Защитное покрытие грунтовых откосов гидротехнических сооружений/ Левкевич Е.М., Самончик Е.И. - Б.И. № 5, 1991.

УДК 627.83

П.М.Богославчик
(БГПА)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЗЕРВНЫХ ВОДОСБРОСОВ С РАЗМЫВАЕМЫМИ ВСТАВКАМИ

При проектировании резервного водосброса с размываемой вставкой [1] необходимо учитывать некоторые особенности его работы.

Водосброс с размываемой вставкой включается в работу для сброса паводкового расхода достаточно редко. Большую часть времени, т.е.

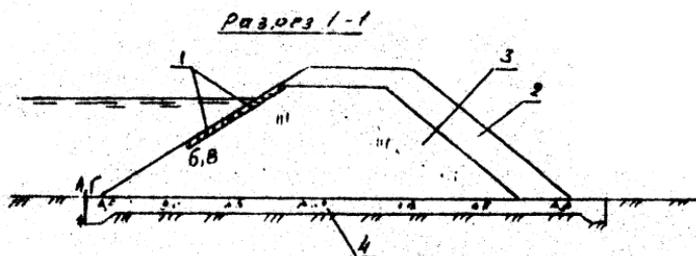
в обычных условиях эксплуатации гидроузла, размываемая вставка является подпорным сооружением, наиболее схожим по своей конструкции с грунтовой плотиной. Профиль вставки должен быть устойчив к действующим в обычных условиях нагрузкам. Поэтому требования, предъявляемые к конструкциям поперечного профиля грунтовых плотин, в полной мере должны выполняться применительно к грунтовым вставкам резервных водосбросов. Но то обстоятельство, что грунтовая вставка должна быстро разрушаться при переливе, должно учитываться при ее проектировании.

Ранее было установлено [2], что размыв вставки при переливе происходит в определенной последовательности, а именно: первоначально разрушается низовая призма со стороны низового откоса, и только потом происходит интенсивное снижение гребня и увеличение прорана. От того, насколько быстро разрушается низовая призма, зависит прежде всего величина предельного повышения уровня верхнего бьефа. Отсюда следует, что, во-первых, крепление низового откоса не должно существенно затруднять процесс разрушения вставки при переливе, во-вторых, низовая призма вставки должна устраиваться из материала, который достаточно легко размывается сосредоточенным потоком.

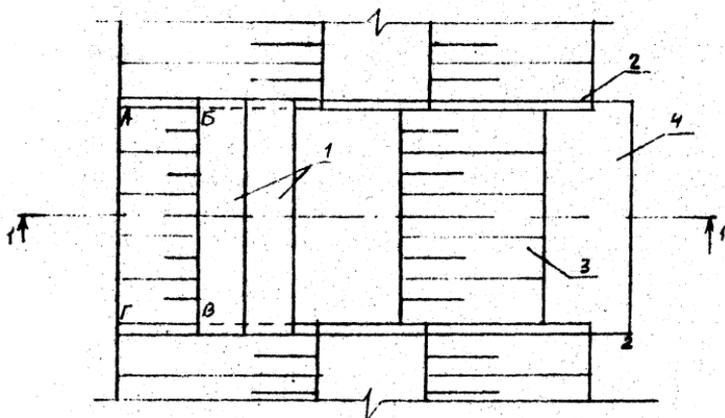
Практика показывает, что обычные традиционные типы креплений низовых откосов при обычных их заложениях (на низконапорных гидроузлах чаще всего не положе, чем 1:2,5) не могут длительное время сопротивляться переливу. Исключение составляют специальные типы креплений, применяемые на переливных грунтовых плотинах. Но даже они не разрушаются переливом при заложениях не круче, чем 1:7-1:10. Поэтому в рассматриваемом случае такие типы традиционных креплений, как одерновка, посев трав, уплотненный слой гравия толщиной 10-15 см, вполне удовлетворяют условиям их применения.

В качестве материала для отсыпки низовой призмы наиболее применимым представляется песок любого гранулометрического состава, по возможности без включения значительной доли глинистых и пылеватых частиц во избежание возникновения больших сил сцепления. Но крайней мере вставка должна быть отсыпана из грунтов с меньшим удельным сцеплением, чем у грунтов тела плотины [3].

Важным при проектировании грунтовой вставки является вопрос выбора типа крепления верхового откоса. Это крепление, с одной стороны, должно быть достаточно прочным и надежным, чтобы в обычных условиях эксплуатации противостоять волновым и другим воздействиям



П Л А Н



Размываемый водосброс с неразрушающимся креплением.
 1 - плиты; 2 - устои; 3 - размываемая вставка; 4 -
 плита основания

со стороны бьефа, но, с другой стороны, не должно препятствовать быстрому разрушению вставки при переливе и последующем пропуске необходимого расхода. Сделанный ранее [1] анализ существующих конструкций размываемых вставок показывает, что на их верховых откосах применяются преимущественно крепления из уплотненного слоя гравия или щебня, либо каменная наброска или отмостка. Исследования механизма разрушения вставок переливом подтверждают правильность такого решения и для условий низконапорных гидроузлов, так как малоразмерные элементы крепления практически не оказывают влияния на механизм разрушения.

При нешироких и глубоких водопропускных отверстиях можно устраивать неразрушающееся крепление верхового откоса вставки [4]. Конструкция водосброса с таким креплением показана на рисунке. Здесь плиты I крепления верхового откоса опираются с двух сторон на ограничивающие размыв устои 2 и прикреплены к ним в местах опирания. Плиты укладываются в зоне наибольшего волнового воздействия. Ниже плит по откосу устраивается облегченное крепление, например, из щебня. При переливе воды через гребень грунтовая вставка 3 разрушается. Пропуск расчетного расхода осуществляется в данном случае через верх плит I и в отверстие АБВГ под ними, которое образуется после разрушения вставки. Сами же плиты остаются в прежнем положении. Данная конструкция дает возможность применения подобных сооружений в более тяжелых условиях волнового воздействия, а также воздействия льда, плавника и др. Заложение откоса можно принимать более крутым, вплоть до вертикальной установки плит.

Противофильтрационные (при необходимости) и дренажные устройства в теле размываемой вставки могут быть такими же, как и в обычную грунтовых плотинах. Следует иметь в виду, что мягкий экран, например, с точки зрения скорости разрушения переливом предпочтительнее, чем ядро. На малых водохранилищах и прудах в большинстве случаев вставку можно отсыпать однородной, так как высота ее здесь при береговой компоновке редко будет превышать 1,5-2,0 м. Однородная вставка предпочтительнее как с точки зрения простоты возведения и восстановления, так и как наиболее легко размываемая при переливе.

Вопрос об экономической целесообразности применения резервных водосбросов рассматривался ранее [5]. В практике эксплуатации водохозяйственных объектов известны случаи, когда паводковые водосбросы за весь срок службы ни разу не работали на полную пропускную способность. В то же время известны разрушения плотин при переливе воды через гребень из-за недостаточности пропускной способности водосбросов. Такие крайне противоположные случаи возможны, на наш взгляд, в первую очередь в силу некоторой неопределенности в естественном гидрологическом цикле, которую практически невозможно исключить даже современными методами оценки паводка. Существенную роль здесь играет широкое вмешательство человека в окружающую среду, которое вносит серьезные изменения в гидрологический режим территории. Оценить эти изменения однозначно нелегко, особенно если речь идет о малых водотоках с небольшими водосборами. С этой точ-

ки зрения применение резервных водосбросов представляется целесообразным, так как уменьшает степень риска в выборе пропускной способности основных водосбросов.

Литература

1. Филиппович И.В., Богославчик П.М. Исследования размыва резервного водосброса на крупномасштабных моделях//Водное хозяйство и гидротехническое строительство. - 1980.- Вып.15. - С. 68-73.
2. Богославчик П.М. Гидравлический расчет резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой//Водное хозяйство и гидротехническое строительство. - 1990. - Вып.19. - С. 24-30.
3. А.С. № 1209754 (СССР). Водосбросное сооружение плотин/Доворотный И.В. и Богославчик П.М. - Б.И. № 7, 1990.
4. А.С. № 1544876 (СССР). Водосбросное сооружение/Богославчик П.М. - Б.И. № 5, 1986.
5. Богославчик П.М. Об экономической эффективности водосброса по типу размываемой вставки//Водное хозяйство и гидротехническое строительство. - 1984. - Вып. 13. - С. 105-111.

УДК 626.823.92

С. П. Гатилло
(БГПА)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ ПО ДНУ ПРИ ПОДТОПЛЕНИИ ТРУБЧАТЫХ СООРУЖЕНИЙ

Трубчатые водопрпускные сооружения зачастую работают в условиях частичного подтопления выходного сечения. Это вносит коррективы в эпюры распределения давлений со стороны потоков воды, что может неблагоприятно сказаться на условиях работы стыков труб [1]. Поэтому требовалось оценить, как изменятся действующие в стыках силы давления со стороны внутреннего (через трубу) и внешнего (фильтрационного через дамбу) потоков воды, какова будет величина и направление их результирующей.

Для изучения закономерностей распределения давления при исследовании пропускной способности трубчатых сооружений полукруглого поперечного сечения по оси дна моделей труб были установлены пьезометры. Опыты проводились в лотке шириной 1 м, в котором моделировался участок канала с откосами заложением $m = 1,5$. Модели труб $l_{тр} = 37,92a$ (a – высота трубы в свету) были сделаны из стекла и оргстекла, ширина по дну $b_n = 10,7$ см.

При проведении лабораторных исследований фиксировалось гидродинамическое давление у дна $\frac{P_i}{\rho} \gamma$.

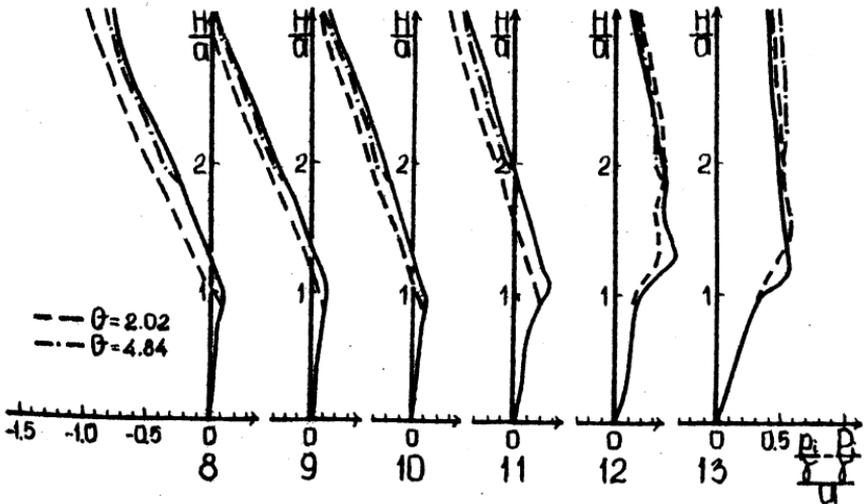
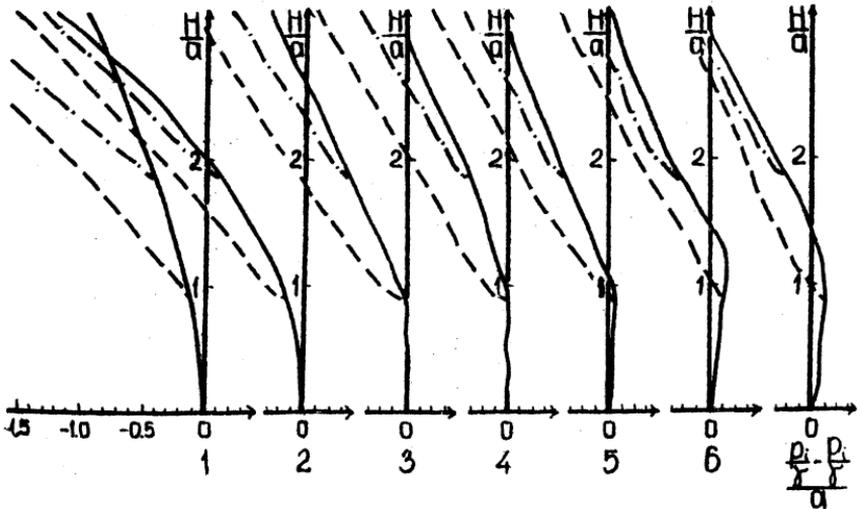
Давление фильтрационного потока на дно определялось по рекомендациям БелНИИМИВХ [2]. Трубчатые сооружения на мелиоративной сети работают в пространственных условиях фильтрации, так как длина их значительно больше ширины. По указанным рекомендациям получены величины фильтрационного давления P_i на дно в местах установки пьезометров при разных напорах на сооружение.

Если стыки трубчатых сооружений будут нарушены, то внутренний и внешний потоки соединятся и в стыке установится суммарное давление, направленное внутрь трубы или наружу. На рисунке показано распределение $(\frac{P_i}{\rho} - \frac{P_e}{\rho})$ по пьезометрам I–I3 по оси трубы в зависимости от глубины воды перед трубой H . Положительные величины давлений соответствуют результирующему давлению, направленному наружу.

На рисунке сплошной линией показано давление, возникающее в стыках, при неподтопленном сооружении, а пунктирными – при подтоплении сооружения, по тракту которого протекает постоянный расход (в безразмерном выражении) $\theta = Q/(D^2 \sqrt{gD})$, где Q – расход воды через сооружение; D – гидравлический диаметр; g – ускорение свободного падения.

В [1] показано распределение результирующей силы давления для более коротких труб ($l_{тр} = 9,01a$). Из сравнения его и представленного в данной работе рисунка видно, что увеличение длины трубы вносит некоторую корректировку, но принципиальных различий нет. На четверти длины трубы (до пьезометра 5) сила давления всегда направлена внутрь трубы. На остальной части (кроме выходного сечения) сила давления безнапорного потока изнутри превышает силу давления фильтрационного потока и это превышение достигает максимума в $0,19a$. При напорном движении давление будет направлено внутрь трубы. На выходном участке, где противодействие резко снижается, результирующее давление направлено наружу и достигает $0,5a$.

При подтоплении результирующее давление изменяется в сторону



Распределение результирующей силы давления в стыках трубчатого сооружения при его подтоплении

увеличения его отрицательных значений и уменьшения положительных, т.е. увеличивается возможность поступления фильтрационного потока внутрь трубы, что необходимо учитывать при проектировании.

Литература

1. Гатилло С.П. Распределение давлений при раскрытии стыков сборных трубчатых сооружений // Мелиорация и водное хозяйство. - 1991. № 11-12. - С. 21-26.
2. Руководство по проектированию и гидротехническому расчету регулируемых мелиоративных сооружений. - Минск, 1984. - 96 с.

УДК 627.41

Е.М.Левкевич, Н.В.Сурма
(БГА)

КРЕПЛЕНИЕ ЗЕМЛЯНЫХ ОТКОСОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СЕТКОЙ С УСИЛЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

В гидротехническом строительстве для защиты откосов земляных дамб, берегов рек и водохранилищ применяется сетчатое покрытие, представляющее собой сетку, изготовленную из мягкой оцинкованной проволоки диаметром 2-3 мм с ячейками размером 2-50 см. Сетка прикрепляется к откосу кольями, шпильками или пригружается железобетонными блоками [1,2]. Сеткой с мелкими ячейками защищают откосы, сложенные гравелистыми и крупнозернистыми песчаными грунтами; если откосы сложены мелкими песками, то под сетку укладывается слой крупнозернистого материала (гравий, галька) или хворост.

Указанное покрытие имеет ряд существенных недостатков, ограничивающих его применение: повышенный расход строительных материалов из-за наличия в нем гравия, а при пригрузке сетки блоками - и железобетона; значительные трудозатраты на его устройство; недостаточная надежность, так как в силу неоднородности гравийной отсыпки по составу и толщине возможны участки с ослабленной устойчивостью против размыва, вследствие чего под действием течений или волн могут произойти деформации, которые приведут к полному разрушению крепления; не во всех случаях обеспечивается прорастание покрытия кустарниковой и травяной растительностью.

Для повышения надежности защиты откоса от размыва, уменьшения

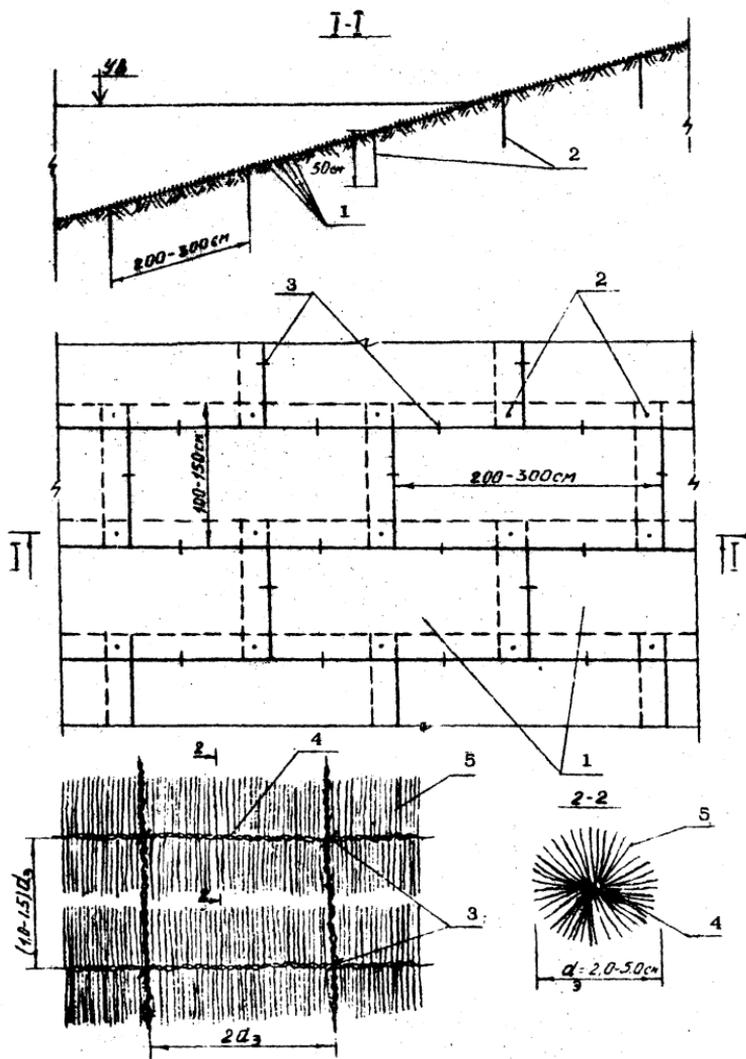


Рис.1. Покрытие откоса сеткой с усиленной шероховатостью.
 1 - полотнище из сетки; 2 - стальные шпильки или колья; 3 - скобы; 4 - проволоки 2x2 мм; 5 - упругие нити

материалоемкости покрытия авторами было предложено сетчатое покрытие с усиленной шероховатостью [3], разработана его конструкция и составлены рекомендации по технологии устройства.

Покрытие сеткой с усиленной шероховатостью предназначено для защиты откосов каналов, верховых откосов земляных плотин и дамб, берегов рек и водохранилищ от разрушающих воздействий течений и волн. Оно применено при скоростях течения до 1,5 м/с и высоте волны до 0,25 м для защиты надводной и подводной частей откосов и берегов, сложенных минеральными несвязными грунтами. Наиболее рационально применять сетчатое покрытие в районах, где отсутствуют в достаточном количестве местные строительные материалы (гравий, камень), а также в местах, удаленных от промышленных баз.

Покрытие (рис.1) состоит из отдельных полос или полотнищ специальной крупноячеистой сетки (1), уложенных с перекрытием швов на предварительно спланированный откос или берег, прикрепленных к нему при помощи стальных шпилек (2) или бетонных блоков. Полотнища между собой соединяются скобами (3). Сетка изготавливается из двух свитых мягких оцинкованных проволок (4), в которые вплетены пучки упругих нитей (5) из синтетических материалов. Для исследования креплений сеткой с усиленной шероховатостью было проведено две серии опытов в гидравлическом проточном и волновом лотках.

Первая серия опытов проводилась в гидравлическом лотке с горизонтальным дном. На дно укладывалась кассета размером 40x15,8x4 см, в боковых стенках которой через 1 см по длине были просверлены отверстия. Перед кассетой и за ней отсыпался вровень с ее верхней кромкой гравий $d = 10$ мм. Кассета заполнялась отсортированным средним или крупным песком, диаметр частиц которых составлял 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-3,0 мм. В отверстия в боковых стенках кассеты устанавливались цилиндрические щеткообразные элементы из бытовых пршей, диаметр которых составлял 2-4 см. Щеткообразные элементы устанавливались последовательно в каждом опыте на расстоянии друг от друга 2, 4, 6, 8 и 10 см. Первоначально исследовалось неукрепленное дно при соответствующем диаметре частиц грунта, а затем укрепленное щеткообразными элементами.

При заданной глубине потока, которая на протяжении всех опытов была постоянной и составляла 11,9 см, производилось наращивание расходов, а тем самым и скоростей. Средние скорости потока в опытах (подсчитанные по расходу и живому сечению) изменялись от 26,3 до 33 см/с. Наращивание скоростей производилось до тех пор, когда

частицы теряли устойчивость. Нарушением устойчивости частиц грунта считалось состояние: при неукрепленном дне – начало вычлечения отдельных частиц грунта; в ячейках крепления – когда глубина размыва была менее 0,4 диаметра элемента.

Опыты показали, что если поток протекает над кассетой, в которой цилиндрические элементы были уложены на значительном расстоянии друг от друга, происходит интенсивный размыв, при этом засыпка между соседними элементами принимает ложбинообразную форму с максимальной глубиной между ними. С уменьшением расстояния между элементами размыв уменьшается и прекращается при достижении некоторого минимального расстояния.

Вторая серия опытов проводилась для исследования сетчатого покрытия в условиях волновых воздействий для проверки влияния его на условия движения волнового потока на откосе сооружения.

Исследования проводились в волновом лотке $12 \times 0,6 \times 0,32$ м, в котором устанавливалась модель откоса из среднезернистого песка высотой 0,5 м, шириной по гребню 0,3 м с заложением 1:3. На откосе было уложено защитное покрытие из сетки с усиленной шероховатостью (диаметр щеткообразных элементов был тот же, что и в первой серии опытов). Перед началом каждого опыта покрытие засыпалось полностью мелким песком.

Опыты состояли в том, что при заданном волновом режиме модель опытного откоса подвергалась действию волн до тех пор, пока не происходила полная стабилизация поверхности откоса. В каждом опыте измерялись высота и длина волны, высота наката волны, глубина, на которую произошел вымыв грунта из ячеек покрытия. После окончания опыта ячейки покрытия опять засыпались песком до верха и опыт проводился при новом волновом режиме. Опыты проводились при следующих условиях: глубина воды в лотке – 35 см; длина волны – 102 см.

Полученные в результате опытов данные показывают, что при разрушении волны на откосе в начале опыта происходит частичный размыв поверхности откоса, который затем быстро стабилизируется, так как обнажившиеся в начале размыва нити создают усиленную шероховатость, в результате чего уменьшаются скорость потока, наката, ската и его высота. Опыты также показали, что при высоте волны $h_B = 2,7-7,0$ см, действующей на откос, и относительном диаметре тела щеткообразного элемента $d_3/h_B = 1,0-0,36$ глубина размыва грунта в ячейках покрытия не превышала половины диаметра элемента.

Высота наката волны на откос с предложенным защитным покрытием.

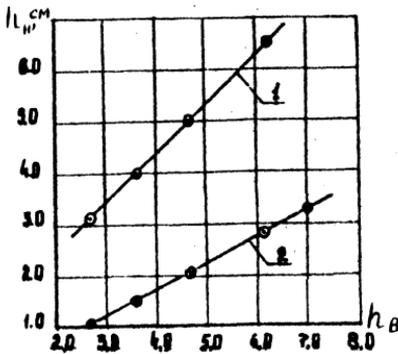


Рис.2. Графики зависимости высоты наката волны h_n от высоты волны h_b .
1 - гладкий откос; 2 - откос, покрытый щеткообразными элементами

h_b характеризующая воздействие покрытия на волновой поток, во всех случаях была меньше, чем на откосе, покрытом гладкими плитами (рис.2).

По результатам опытов были построены графики (рис.3), позволяющие определять минимальные расстояния между элементами (или размеры ячеек) в зависимости от их диаметра и скорости потока.

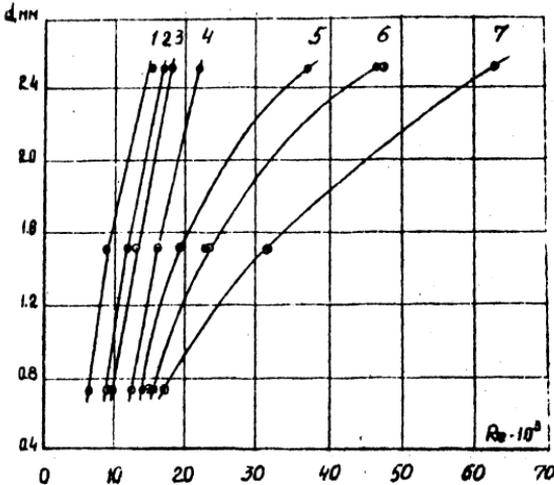


Рис.3. Графики зависимости предельной устойчивости частиц от числа Рейнольдса при различных относительных размерах ячеек сетчатого покрытия. 1 - неукрепленное дно; 2-7 - α_2/l - соответственно 0,20; 0,25; 0,33; 0,40; 0,50 и 0,67.

Устройство покрытия производится следующим образом [4]. Сосуществляется подготовка основания под защитное покрытие - планировка откоса и (при необходимости) его уплотнение. Планировка откосов заложением 1:3 и положе ведется бульдозерами, при заложении 1:2,5 и круче - экскаваторами-планировщиками, к которым подвешиваются стрелы решетчатой конструкции длиной до 15 м, оборудованные передвижными каретками, ковшами или скребками. При малой высоте откоса планировщики устанавливаются на дне и бровке, при большой - на верхней и нижней бермах. Более про-

Изводительной является работа при срезке грунта снизу вверх. При необходимости спланированный откос уплотняется прицепными гладкими катками, перемещаемыми сверху вниз и наоборот тракторной лебедкой. В дополнение к перечисленным операциям на поверхность откоса в надводной части можно производить отсыпку растительного грунта и посев трав. Подбор травосмесей и посев производится по общепринятой методике.

После подготовки поверхности откоса укладывается сетка по схеме облицовки откосов каналов синтетическими материалами. Предварительно подготавливают и раскладывают рулоны сетки на берме вдоль откоса на расстоянии от бровки, обеспечивающем движение транспортных и строительных машин. Количество рулонов определяется площадью поверхности откоса, подлежащей укреплению, и способом укладки. Рулон сетчатого полотна закрепляется на барабане специального навесного устройства на кране, с помощью которого поднимается и ориентируется для раскатки. Полотнища укладываются на откос внахлест с перекрытием на 15-20 см, соединяются стальными скобами и прикрепляются шпильками через 1,0-1,5 м.

Литература

1. Алтунин С.Т., Бузунов И.А. Защитные сооружения на реках. - М., 1953. - 232 с.
 2. Гидротехнические сооружения./ Под ред. Розанова Н.П. - М., 1978. - 647 с.
 3. А.С. № III3454 (СССР). Защитное покрытие земляных откосов гидротехнических сооружений/ Левкевич Е.М., Сурма Н.В. - Б.И. № 34, 1984.
 4. Левкевич Е.М., Сурма Н.В. Защитное покрытие откосов каналов, Информ. листок. - Минск: БелНИИНТИ, № 87-52. - 1987. - 4 с.
-

ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ РАВНИННЫХ
ВОДОХРАНИЛИЩ С ОКРУЖАЮЩИМ ПОБЕРЕЖЬЕМ

Практика многолетних комплексных стационарных исследований берегов малых водохранилищ в различных регионах СНГ (Прибалтика, Белоруссия и Украина) позволила получить наиболее общие особенности их развития в равнинных условиях. Было установлено, что формирование берегов при этом происходит в тесной взаимосвязи с внутриводоемными процессами, эволюцией побережья и чаши водохранилищ.

При проектировании и строительстве водохранилищ возникает необходимость оценить их воздействие на окружающую природную среду. Эта оценка включает и вопросы формирования новых берегов [1]. В последние годы такие работы приобретают массовый характер, так как создание водохранилищ идет все более нарастающими темпами. Так, сейчас в СНГ малых водохранилищ создано около 2,5 тыс, а к 2000 г. их количество может удвоиться. Протяженность береговой линии этих водохранилищ по подсчетам разных авторов составляет от 25 до 30 тыс. км [2]. Из них на абразионный тип развития приходится 10-12 тыс. км. Для каждой природно-климатической зоны процесс переработки берегов водохранилищ имеет свои отличия и разную продолжительность их интенсивного формирования [3]. Многочисленными исследованиями выявлены характерные качественные и количественные особенности развития всех основных генетических типов берегов и их преобладающее распространение в водохранилищах каждой природно-климатической зоны. Очень часто на малых равнинных водохранилищах встречаются берега, формирующиеся в условиях слабого волнового воздействия. Наличие таких динамически пассивных районов часто приурочено к верховьям водохранилищ и их заливам. В этом случае берега, минуя абразионный тип развития, являются нейтральными и постепенно зарастают, а затем и стабилизируются. Такой тип развития особенно широко представлен на малых водохранилищах [2].

Процесс переработки берегов можно отнести к резким экзогенным нарушениям. В ходе развития этого процесса можно выделить два основных тренда - возмущения и релаксации. Согласно А.П. Дедкову и В.И. Мозжерину [4], возмущающий тренд характеризуется нарастанием ин-

тенсивности процесса (Е) во времени (Т) типа общей зависимости $E = T^n$, где $n \gg 1$, а релаксация характеризуется постепенным его затуханием. Имея в виду эти особенности экзогенных нарушений при оценке формирования берегов водохранилищ, можно выделить три стадии развития берегов малых водохранилищ во времени: становления, стабилизации и отмирания [5,6].

Опыт длительной эксплуатации малых водохранилищ показал, что характер и тип развития берегов закладываются в стадии становления и являются очень разнообразными в зависимости от сочетания слагающих их пород, степени проявления ветрового волнения, характера преобладающих экзогенных процессов, морфологических особенностей склонов и гидродинамических условий в прибрежной зоне [7,8]. Все эти факторы и условия переработки берегов являются информационной базой, которая закладывается в основу расчета устойчивости склонов.

Стадия становления берегов водохранилищ имеет несколько последовательных фаз в своем развитии. Это в первую очередь фаза начального формирования берегов при заполнении водоема и фаза интенсивной их переработки при нормальной эксплуатации. Наиболее полное проявление этих фаз в стадии становления берегов было прослежено на малых водохранилищах, расположенных в равнинных условиях. Наконец, на эту стадию разрабатываются и прогнозы развития береговых склонов [9].

Стадия стабилизации имеет отношение к релаксации и характеризуется повсеместным ослаблением берегового процесса и выработкой профиля относительного равновесия. В это время возникают условия для закрепления склонов растительностью и заканчивается отработка рельефа прибрежной зоны. В стадии стабилизации интенсивный процесс переработки берегов возможен только в тех случаях, если при эксплуатации водохранилищ возникают условия кратковременного форсирования уровня воды над НПУ, но определяющего значения в развитии береговой зоны на этой стадии они не имеют. Благодаря преобладающему развитию в это время в прибрежной зоне аккумулятивных процессов происходит постепенное выравнивание берегов в плане, создаются плавные береговые дуги, формируются подводные валы и аккумулятивные косы [10]. Эти особенности развития береговой зоны в стадии стабилизации прослежены достаточно подробно на ряде малых водохранилищ Европейской части СНГ, имеющих длительный срок существования [6].

В стадии отмирания все береговые процессы постепенно прекращаются, а береговые склоны переходят в устойчивое состояние, зарастая травяной, а затем древесной и кустарниковой растительностью. Такое последовательное развитие береговых процессов обусловлено постепенным ростом прибрежных отмелей, снижением гидродинамической активности в прибрежной зоне водоемов, общей тенденцией к отработке окончательного развития береговой линии в плане, медленным занесением и зарастанием прибрежной зоны. В условиях длительного взаимодействия малых водохранилищ с окружающей средой идет постепенная смена преобладающих типов берегов для каждой последующей стадии их динамического развития.

Для малых водохранилищ в равнинных условиях характерны две основные группы берегов: волнового и неволнового происхождения, обусловленные гидродинамическими и морфометрическими особенностями этих водоемов, преобладающими геоморфологическими процессами, протекающими в таких несвязанных и малосвязанных грунтах, как пески, супеси и суглинки. Практическое значение в процессе хозяйственного освоения имеют берега волнового происхождения, которые интенсивно перерабатываются и являются предметом прогноза. Наиболее распространенными абразионными типами берегов являются обвальные, осыпные и оползневые, а аккумулятивные процессы в стадии становления выражены значительно слабее и представлены в основном абразионно-аккумулятивными и типично аккумулятивными типами. Роль последних усиливается по мере старения водохранилища.

Берега неволнового происхождения на малых водохранилищах распространены достаточно широко и часто достигают 60–65 % от общей их протяженности. Это пологие берега, нейтральные по отношению к абразионному процессу. Они формируются в условиях почти полного отсутствия воздействия волновой деятельности, так как ее энергия тратится на затопленных пологих склонах прибрежной зоны, не достигая берега. Наличие таких динамически пассивных по отношению к размыву береговых участков отмечается обычно в верхнем и среднем районах малых водохранилищ. Здесь также берега, минуя абразионный тип развития, постепенно зарастают и полностью стабилизируются. В редких случаях на некоторых участках берега в силу выхода на дневную поверхность хорошо размокающих и оплывающих грунтов (суглинки и супеси) создаются условия для перехода их в слабоабразионные типы развития.

Общность основных берегоформирующих факторов для малых водо-

хранилищ в равнинных условиях позволила установить критерии устойчивости их береговой зоны. При этом принята во внимание аналогия с завершившими свое развитие берегами небольших озер, которым свойственна стабильность гидродинамических условий в историческом отрезке времени, и достижением берегами и прибрежными отмелями устойчивого динамического равновесия, которое выражается в том числе и в относительной выравненности берегов в плане [10].

Анализ состояния берегов малых озер и водохранилищ в близких природных и гидроморфологических условиях позволяет оценить критерий их устойчивости. Для этой цели используется коэффициент устойчивости берегов K_y , который равен отношению общей длины берегов водохранилища l_b к длине берегов озер $l_{оз}$, взятого в качестве аналога. Наибольшая устойчивость берегов водохранилищ имеет место при показателе K_y , равном 1 или меньше ее, что обычно свойственно берегам водохранилищ, находящимся в стадии стабилизации.

При оценке взаимодействия береговой зоны с окружающей средой следует указать, что малые водохранилища по-разному влияют на изменение природных условий своих побережий [11]. Вокруг них создаются зоны климатического влияния, подпора подземных вод, переработки берегов. Иногда они накладываются друг на друга, образуя интегральную зону влияния водохранилища на прилегающую сушу. Примером такого влияния может служить Лепельское озерное водохранилище в Белоруссии (см. рисунок).

Одной из ответственных и практических задач является прогноз развития берегов водохранилищ во времени и пространстве. Эта область исследований наиболее широко используется при хозяйственном освоении берегов водохранилищ. В настоящее время имеется ряд методов прогноза развития берегов водохранилищ [12, 17], хотя не всегда в них соблюдается разница между прогнозными схемами и расчетными методами. Достаточно часто внимание уделяется прежде всего разработке расчетных методов, а теоретическому обоснованию схем прогноза развития берега не придается существенного значения. В то же время необходимо подчеркнуть, что содержание прогноза обязательно должно состоять из этих двух основных и взаимосвязанных этапов. Если на первом этапе в расчетный метод включают все основные факторы и условия их изменения на конкретном участке, а затем рассчитывают состояние берега на будущее, то на втором этапе идет окончательная интерпретация полученных результатов с учетом принятой модели развития того или иного типа развития берега.



Зоны влияния Лепельского озёрного водохранилища на побережье

При прогнозной оценке развития берегов выделяют два основных их вида. Краткосрочные прогнозы в своей основе содержат энергетическую сущность оценки происходящих береговых процессов. В этом случае объем переработки берегов Q_n рассчитывается на основа-

нии аналитической модели, предложенной Е.Г. Калутинным:

$$Q_n = E \cdot K_p \cdot K_\sigma \cdot t^d,$$

где E – расчетная многолетняя энергия волнения, т-м/год на пог. м;
 K_p – коэффициент размываемости слагающих берег пород, м³/т-м;
 K_σ – коэффициент влияния высоты берега;
 t – заданный срок размыва, лет;
 d – показатель степени, учитывающий условия формирования и отложения прибрежных осадков.

При составлении долгосрочных прогнозов, кроме того, возникает необходимость учесть в них и ряд других положений, в частности: цикличность развития во времени интенсивности переработки берегов, эволюционные стадии развития и другие специфические особенности, характерные для формирующихся берегов в течение длительного времени. Практика проверки оправданности сделанных прогнозов показала, что они должны быть вероятными, а не детерминированными. Дискретному характеру развития берегов полнее и глубже соответствует вероятный прогноз, предусматривающий несколько возможных путей преобладающего их развития в будущем.

Значительные перспективы имеются при применении теории подобия для оценки развития береговых процессов в различных природных условиях и их прогноза. Выполненные исследования [9, 12-17] позволили дать ряд морфодинамических, геодинамических, литологических и типологических критериев подобия, которые позволяют составить геоморфологическую модель развития берегов водохранилищ, выявить условия устойчивости склонов на определенный период времени.

В последние годы специалисты, изучающие берега водохранилищ, все больше внимания обращают на неволновые факторы, особенно при создании малых водохранилищ. Установлено, что по мере уменьшения размеров создаваемых водохранилищ соответственно увеличивается значение неволновых факторов в формировании береговой зоны. Оказалось, что при разработке основ прогнозирования формирования берегов, особенно малых водохранилищ, необходимо учитывать не только волновую оценку переработки берегов, но и другие сопутствующие процессы неволнового характера, имеющие место в береговой зоне. В их числе прогноз развития овражной эрозии, сползневых и криогенных процессов, солифлюкций, суффозий, просадок, карста, т.е. вся совокупность экзогенных процессов, которые могут возникнуть в береговой зоне при создании водохранилищ.

Таким образом, необходимо создание системы географических прогнозов, в которой объединялись бы необходимые частные прогнозы по различным экзогенным процессам, на основе чего давался бы единый прогноз развития для отдельных участков береговой зоны малых водохранилищ.

Литература

1. Широков В.М. Конструктивная география рек: Основы преобразования и природопользования. – Минск: Университетское, 1985. – 189 с.
2. Широков В.М., Лопух П.С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. – М.: Энергоатомиздат; 1986. – 144 с.
3. Широков В.М. Формирование берегов водохранилищ в различных природных зонах//Экзогенный морфогенез в различных типах природной среды. – М., 1990. – С. 4С–47.
4. Дедков А.П., Можерин В.И. Изменение окружающей среды и геоморфологические процессы//Экзогенные процессы и окружающая среда. – М.: Наука, 1990. – С.8–12.
5. Широков В.М. Стадийность развития берегов водохранилищ//Экзогенные процессы и проблемы рационального использования геологической среды. – Ташкент, 1985. – С.65–68.
6. Широков В.М., Лопух П.С. Переработка берегов водохранилищ Белоруссии (основные этапы и стадии развития)//Современные рельефообразующие процессы. – Минск: Наука и техника, 1986. – С.95–102.
7. Московкин В.М., Широков В.М., Мануйлов М.Б., Роненко О.П. Имитационная стохастическая модель функционирования искусственного пляжа как полидисперсной системы//Вестник Белорусского ун-та. – Сер.2. – 1989. – №1. – С.53–57.
8. Широков В.М., Московкин В.М. Анализ устойчивости равновесных состояний пляжа при нелинейном законе истирания пляжеобразующего материала//Вестник Белорусского ун-та. – Сер. 2. – 1990. – №3. – С.46–51.
9. Широков В.М., Лопух П.С. Формирование берегов и дна малых водоемов в равнинных условиях//Тр. У Всесоюз. гидрологического съезда. – Т.8. Озера и водохранилища. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – С.391–398.
10. Широков В.М., Лопух П.С. Особенности формирования равновесной береговой линии малых водохранилищ//Геоморфология. – 1983. – №2. – С. 84–89.
11. Широков В.М. Влияние малых водохранилищ на окружающую природную среду//Оптимальное использование водных ресурсов. Симпозиум,

26-28 мая 1983. - Т.2. - Варна, 1983. - С. 189-198.

12. Методические рекомендации по изучению и прогнозированию подпора подземных вод и переработки берегов водохранилищ Сибири/Сост.: Бейром С.Г., Каскевич Л.Н., Невечера И.К., Широков В.М. - Новосибирск, 1972. - 200 с.

13. Широков В.М., Трофимов А.М., Московкин В.М. Анализ модели динамики берегового склона//Вестник Белорусского ун-та. - Сер.2. 1990. - № 1. - С. 44-49.

14. Широков В.М., Лопух П.С., Левкевич В.Е., Пробокс Я.С. Развитие берегов малых водохранилищ Северо-Запада СССР и особенности их прогноза//Вопросы прикладной геоморфологии. - Минск: Наука и техника, 1988. - С. 42-47.

15. Широков В.М., Московкин В.М. Численное моделирование процессов пляжеформирования и абразии берегов в условиях управления//Вестник Белорусского ун-та. - Сер. 2. - 1987. - №3. - С. 51-55.

16. Аношко В.С., Трофимов А.М., Широков В.М. Основы географического прогнозирования. - Минск: Высшая школа, 1985. - 239 с.

17. Широков В.М., Лопух П.С., Левкевич В.Е. Формирование берегов малых водохранилищ лесной зоны. - С.-П.: Гидрометеиздат, 1992. - 163 с.

УДК 551.482.4

В.Е.Валуев, А.А.Волчек
(БрПИ)

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА СТОК МАЛЫХ РЕК

В районах активной хозяйственной деятельности человека трансформация естественного водного режима малых рек достигла критического состояния. Оказались нарушенными режимы стока, уровней, качественные характеристики вод. В принципе разработка научно обоснованных компенсационных мероприятий по восстановлению и повышению полноводности и чистоты водных источников должна базироваться на ретроспективной оценке динамики естественного стока конкретного водотока

и прогнозирования его значений на расчетную перспективу. В аридной зоне в связи с ростом водопотребления на орошение наблюдается четкая тенденция к снижению расходов руслового стока, что несколько упрощает количественную оценку его антропогенной составляющей. В зоне неустойчивого естественного увлажнения, где ведется крупномасштабное строительство осушительно-увлажнительных систем, в различные по водности годы и гидрологические периоды изменения руслового стока не носят однозначного характера. В этих условиях исследование антропогенных воздействий на сток отдельно взятой реки при дискретной оценке расходов воды приводит к искажению как динамики процесса формирования руслового стока, так и получаемых количественных характеристик. Здесь необходим переход от рассмотрения стока как дискретной величины к представлению его в виде непрерывного стохастического поля. Имеется ряд методов и способов учета антропогенных факторов при оценке руслового стока. Широко используется прием восстановления естественного стока с использованием методов водного баланса и аналогии. При этом необходим большой объем качественной информации для расчетных периодов, отражающий в динамике хозяйственную деятельность на водосборной площади, меру ее воздействий на компоненты физико-географической среды и ее производную — водность исследуемой территории. В условиях интенсивного хозяйственного освоения земель почти не осталось водосборов, частично или целиком не затронутых комплексом агротехнических, водохозяйственных, мелиоративных и др. воздействий. Поэтому аналогии не всегда полностью отвечают предъявляемым требованиям. Имеют место также факты прекращения гидрометрических работ на малых реках. В связи с этим использование методов водного или водохозяйственного балансов при исследовании антропогенных изменений стока рек становится проблематичным. Корректная оценка антропогенной составляющей в этом случае возможна лишь в контексте анализа полей стока. Суть подобного подхода заключается в установлении различий пространственно-корреляционных функций (ПКФ), построенных по данным всего поля стока раздельно за периоды "до" и "после" активного антропогенного воздействия на факторы естественной увлажненности территории. Как известно, макроструктура любой исходной гидрологической характеристики (M) с той или иной точностью может быть представлена в виде:

$$M = \dot{M} \pm \Delta M_u \pm \Delta M_m \pm M_a, \quad (1)$$

где \dot{M} — истинная величина гидрологической характеристики, сформированной в условиях естественного увлажнения;

- $\Delta M_{и}$ - ошибка, внесенная в гидрологическую характеристику за счет несовершенства измерительных приборов;
- $\Delta M_{м}$ - ошибка методов измерений и расчетов стока по дискретным величинам;
- $\Delta M_{а}$ - величина влияния на гидрологическую характеристику антропогенных факторов.

С другой стороны, средняя квадратическая суммарная погрешность исходных гидрологических величин (η_M^2) объективно выявляется с помощью отраженной эмпирической пространственной корреляционной функции $R(\rho)$ или временной корреляционной функции $R(\tau)[1]$.

При экстраполированном значении $R(0)$, отвечающем нулевому расстоянию ($\rho = 0$) или нулевому сдвигу во времени ($\tau = 0$), мера случайных погрешностей в исходных данных оценивается по формуле:

$$\eta_M^2 = (1 - R(0)) / R(0)^{-1}. \quad (2)$$

При представлении поля гидрологической характеристики с весьма малым шагом времени или расстояния ($\Delta \tau \ll \Delta \tau^*$ и $\Delta \rho \ll \Delta \rho^*$), т.е. когда ее смежные значения отличаются на величину, существенно меньшую колебаний типа "белого шума", погрешности измерений стремятся к нулю и по формуле (2) рассчитывается практически средняя квадратическая погрешность прибора. Исходя из независимости различных видов погрешностей, считаем, что дисперсия суммарной погрешности определяется как сумма их дисперсий.

Вклад антропогенных воздействий в среднее квадратическое отклонение гидрологической величины определяется как

$$\eta_{\Delta M_a} = (\eta_M^2)^{0,5} (\Delta \eta_{M_{и}}^2 + \Delta \eta_{M_{м}}^2)^{0,5} = \eta_M^2 (R(0) - R(0)^*)^{0,5}, \quad (3)$$

где $R(0), R(0)^*$ - экстраполированное значение отраженной эмпирической пространственной корреляционной функции стока соответственно до и после антропогенных воздействий.

Значимость величины $\eta_{\Delta M_a}$ оценивается по известным статистическим критериям. Если полученное значение не связано со случайными ошибками, то ΔM_a отражает антропогенную составляющую гидрологической характеристики, не искаженную вследствие недостаточности используемого ряда наблюдений или некорректным расчленением его на характерные периоды.

Влияние хозяйственной деятельности на конкретный водосбор устанавливается в ходе анализа изменений парных коэффициентов корреляции.

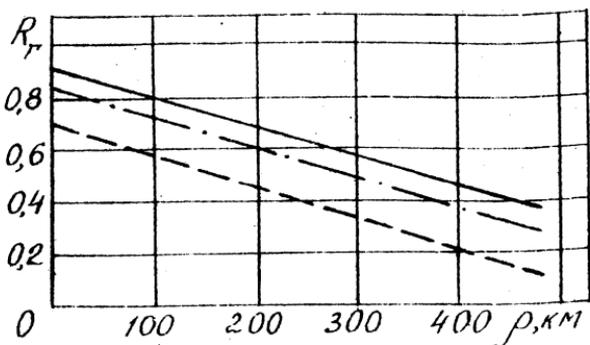
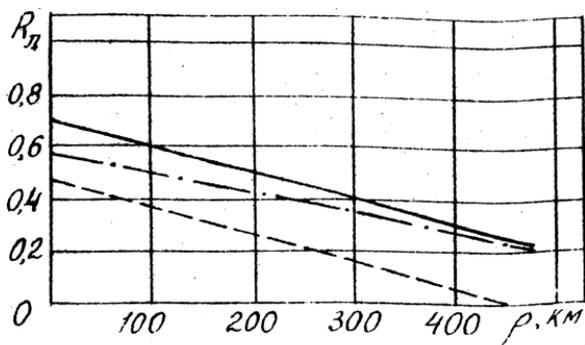
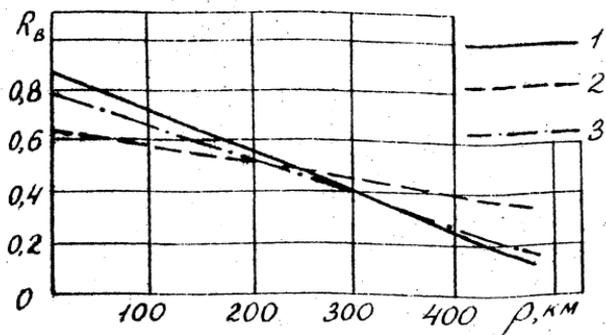
ляции. Случаи обнаружения статистически различных изменений коэффициентов корреляции свидетельствуют о наличии антропогенных воздействий. В развитие данного подхода разработан комплекс программ для ЭВМ, позволяющий на ограниченных стандартных материалах наблюдений по отдельным малым водосборам восстановить полную картину естественного стока в границах интересующей территории. Возможности методики оценены путем численного эксперимента, в котором использованы гидрологические характеристики, имеющиеся по малым рекам Белорусского Полесья (табл. I).

Таблица I

Гидростворы, использованные для построения пространственно-корреляционных функций (ПКФ) стока рек Белорусского Полесья

Река - пост	Площадь водосбора, кв. км
Ясельда - г. Береза	916
Ясельда - с. Сенин	5110
Мөречанка - с. Ставок	118
Бобрік - ст. Парохонск	1450
Цна - с. Дятловичи	969
Лань - с. Локтыши	935
Случь - с. Новодворцы	910
Уборть - с. Злобин	5260
Случь - с. Ленин	4620
Морочь - с. Мацковичи	313
Уборть - с. Тартак	3550
Птичь - с. Лецковщина	2010
Птичь - с. Русаковичи	818
Птичь - ст. Кринка	2010
Гребенка - с. Бирчуки	67
Оресса - с. Верхутино	520
Оресса - п. г. т. Любань	1290
Оресса - с. Андреевка	3580
Иппа - с. Кротов	909
Вить - с. Борисовщина	782
Словечна - с. Кузьмичи	914
Чертеня - с. Некрашевка	445

Представленные в табл. I реки относятся к региону, достаточно полно освещенному гидрологической информацией, а ряд наблюдений ус-



Пространственные корреляционные функции наибольших весенних (R_B), наименьших летних (R_L) и средних годовых (R_T) расходов рек Белорусского Полесья за естественный (1), нарушенный (2) и полный (3) периоды наблюдений

ловно делится на два периода: с момента наблюдений до 1966 г., как начала крупномасштабного мелиоративного строительства, и с 1966 г. по настоящее время.

В исследованиях использованы следующие характерные расходы: наибольшие весенние (В), наименьшие летние (Л) и средние годовые (Г). Их пространственные корреляционные функции за условно выделенные интервалы и в целом за период наблюдений приведены на рисунке. Сравнение ПКФ для периода, не подверженного мелиоративным воздействиям ($R(O)_B = 0,874$; $R(O)_L = 0,687$; $R(O)_Г = 0,873$), с ПКФ для периода крупномасштабного мелиоративного строительства ($R(O)_B^* = 0,737$; $R(O)_L^* = 0,510$; $R(O)_Г^* = 0,712$) указывает на статистически значимые различия между ними ($\Delta R(O)_B = 0,134$; $\Delta R(O)_L = 0,177$; $\Delta R(O)_Г = 0,161$).

Налицо факт антропогенного изменения стока, вызванного крупномасштабными гидромелиоративными работами в Белорусском Полесье. Только исследовав общие закономерности формирования стока в регионе в целом за рассматриваемый период, можно осуществлять воднобалансовые расчеты для конкретных водосборов и интервалов времени. С этой целью нами используется уравнение связи метода гидролого-климатических расчетов [2]:

$$Y_K = (X + W_H - W_K) - Z_M (1 + ((X + W_H - W_K) / Z_M)^n)^{-1/n}, \quad (4)$$

- где Y_K - суммарный климатический сток в расчетном пункте;
 X - атмосферные осадки;
 W_H, W_K - влажность соответственно на начало и конец расчетного интервала времени (декада, месяц);
 Z_M - максимально возможное суммарное испарение (испаряемость);
 n - параметр, учитывающий условия формирования стока в рассматриваемом районе.

Интегрируя Y_K по водосборной площади, можно получить его значение для замыкающего створа. Сравнение суммарного климатического (Y_K) и руслового (Y_p) стока для замыкающих створов позволяет установить пространственно-временную асинхронность процессов их формирования и дать этому явлению количественную оценку:

$$\bar{K}_{ac}(P) = (1 + F)^{0,5\alpha(P)}, \quad (5)$$

где $K_{ac}(P)$ - коэффициент пространственно-временной асинхронности стока;

F - водосборная площадь по замыкающему створу;

$\alpha(P)$ - эмпирический градиент функций пространственной асин-

Таблица 2

Значения градиентов функций пространственной асинхронности (ФПА) стока для Белорусского Полесья

Период года	Значения $\alpha(P) \cdot 10^{-3}$ при обеспеченности	
	P = 75 %	P = 95 %
I	0,06	0,13
II	0,04	0,10
III	0,09	0,05
IV	0,09	0,08
V	0,11	0,26
VI	0,15	0,24
VII	0,25	0,27
VIII	0,36	0,35
IX	0,33	0,29
X	0,20	0,18
XI	0,10	0,20
XII	0,06	0,22
У-УШ	0,18	0,32
IV-X	0,10	0,22
Год	0,06	0,14

хронности (ФПА), приведенный в табл.2.

Переходя от климатического (Y_k) через $K_{ac}(P)$ к русловому стоку, можно получить его "истинное" значение для любого расчетного створа (Y_p'). Причем обнаруженную невязку с измеренным значением (Y_p) по аналогии с (1) необходимо считать величиной влияния на сток антропогенных факторов (ΔY_{pa}).

Восстановленными значениями Y_p' дополняется использованная на первом этапе корреляционная матрица, полученные по ним $R(\rho)'$ сопоставляются с ранее установленными $R(\rho)$ (см. рисунок) и делается общее заключение о точности нахождения стока (Y_p'). Величина ΔY_{pa} , представленная статистической характеристикой, доста-

статочно полно описывает динамику антропогенных воздействий на сток в границах исследуемой территории.

В случае совпадения фаз и меры колебаний статистических структур полей естественных показателей увлажненности территории и их антропогенных составляющих, делается вывод об отсутствии негативного антропогенного влияния на элементы водного баланса в данном бассейне.

При решении комплексной задачи восстановления водности малых рек необходимо, как показывает практика, следующее: выполнить оценку естественной увлажненности водосборных площадей, режимов естественного и трансформированного стока с привлечением отвечающих данной задаче методов и расчетных методик; научно обосновать размещение водопотребителей в границах конкретного водосбора и оптимизировать водораспределение между участниками водохозяйственного комплекса; обеспечить водоотведение на данной территории с использованием активных методов очистки животноводческих и промышленных стоков;

повысить оросительные нормы и объем возвратных вод, повысив их научную обоснованность и КПД мелиоративной сети, принять меры к очистке дренажных вод в условиях гидромелиоративных систем двустороннего действия.

Изложенный подход разработан и апробирован на массовых материалах стандартных метеорологических и гидрометрических наблюдений, он может быть адаптирован к природно-хозяйственным условиям конкретных регионов с неустойчивым естественным увлажнением при использовании комплекса массовых данных, отражающих как естественную увлажненность территории, так и меру влияния хозяйственной деятельности на компоненты физико-географической среды.

Литература

1. Алексеев Г.А. Методы оценки случайных погрешностей гидрометеорологической информации. - Л.: Гидрометеоиздат, 1975. - 95 с.
2. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края// Под ред. В.С.Мезенцева. - М.: Колос, 1974. - 240 с.

УДК 627.8:627.41

В.Е.Левкович
(БелНИЦ "Экология")

СОЗДАНИЕ И ВЕДЕНИЕ КАДАСТРА БЕРЕГОВ НА ОСНОВЕ СУЕД "БЕРЕГОВАЯ ЗОНА РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ"

В настоящее время на территории страны существует более 4 тыс. водохранилищ [1]. Около 75 % из них составляют водохранилища равнинного типа.

Строительство искусственных водных объектов ведет к значительным изменениям в береговой зоне и на примыкающих к водохранилищам территориях. Эти изменения наиболее ярко проявляются в таких негативных процессах, как абразия береговых склонов, оползневые процессы, просадки, эрозия, подтопления и т.д. Нормальная эксплуатация

водохранилищ обеспечивается службой эксплуатации водных объектов на основе контроля за состоянием и динамикой процессов, их прогноза и ликвидации нежелательных явлений. Для осуществления массовых расчетов, связанных как с оценкой и прогнозом береговых процессов, так и с обоснованием прибрежных водоохранных зон (ПВЗ) и водоохранных полос (ПВИ), необходимо ведение кадастра берегов на основе натуральных наблюдений и исследований [2]. Программа наблюдений за береговыми процессами, как известно, включает: систематическое изучение морфологии береговых склонов и прибрежной отмели, геоморфологических, гидрологических и метеорологических условий береговой зоны. Периодичность наблюдений колеблется от двух раз в год (контроль за процессами переработки и эрозии берегов, деформации верхних откосов дамб и плотин) до одного раза в 4-6 лет (отбор проб грунтов и т.д.) [2,3]. Накопленную информацию следует обобщать и представлять в виде кадастра берегов. В последнем в упорядоченной форме по контрольным створам приводятся сведения о процессах, происходящих в береговой зоне водохранилищ; типах берегов; основных гидрологических и геологических параметрах, берегоформирующих факторах и условиях.

Наличие значительного количества информационных показателей позволило подойти к реализации кадастра берегов на основе использования современных вычислительных средств с применением систем управления базами данных (СУБД), что и было выполнено в виде СУБД "Береговая зона равнинных водохранилищ". Ниже нами приводится описание алгоритма и основных возможностей системы управления (БД).

Предлагаемая разработка базируется на материалах исследований, выполненных ранее рядом авторов. Первые работы в области автоматизации хранения материалов наблюдений за береговыми процессами и экзогенными геологическими процессами проводились в Одесском государственном университете [4-6]. Методика построения алгоритма информационно-поисковых систем в приложении к береговым процессам получила отражение в работах Л.Б.Розовского, О.Г.Лиходеевой, В.М.Воскобойникова, И.Н.Крыжановской, Е.П.Емельяновой и др.

Одной из фундаментальных работ, посвященных вопросам сбора, хранения, обработки и интерпретации материалов стационарных наблюдений, проводимых на берегах водохранилищ Волжского каскада, является разработка ПНИИС - информационно-прогнозной системы (ИПС) "Берега водохранилищ Волжского каскада". Авторами этой разработки являются В.К.Египшин, В.И.Зизарьян, М.Я.Адаш [7].

Применительно к малым равнинным водохранилищам, имеющим наибольшее распространение, В.Е.Левкевичем и В.С.Розовским была выполнена разработка диалоговой информационно-справочной системы (ЛИССА) "Береговые процессы на малых водохранилищах", предназначенной для эксплуатации на машинах серии СМ: СМ-4, СМ-1820, (М-1840), достаточно подробное описание которой приведено в работах [9,10].

Существенным шагом на пути дальнейшего совершенствования автоматизированного хранения и обработки кадастровой информации по берегам водохранилищ явилась разработка, ориентированная на работу с персональными компьютерами типа IBM-PC/XT и системой управления базой данных на основе существующего пакета "dbase" (русифицированный вариант "Ребус") [10]. База данных СУБД "Береговая зона равнинных водохранилищ" реализована в операционной системе MSDOS.

База данных представляет собой шесть файлов (массивов) справочной информации, содержащей сведения о процессах, протекающих в береговой зоне водохранилищ, их характеристиках, а также параметрах гидрологических и берегообразующих факторов и условий. Каждая запись файлов БД включает: информацию о названии водохранилища, его полных водохозяйственных кодах (административный, хозяйственного использования, гидрологической привязки). Водохозяйственные коды водохранилища соответствуют ранее разработанной системе кодирования информации, принятой в [11]. Для создания и сопровождения файлов БД разработан типовой (в пределах БД) комплекс программ, в состав которого входит 6 головных программ и пакет программ, осуществляющих печать выходных форм справочной информации в виде таблиц, выбор водохранилищ и их характеристик по запросам. На рис.1-3 приведены блок-схемы алгоритмов головных и вспомогательных программ.

Информация о водных объектах и процессах, имеющих место в береговой зоне водохранилищ, предоставляется пользователю в виде 6 справочных таблиц:

Табл.1 "Береговые процессы на водохранилищах" включает в себя общие сведения о наличии процессов, происходящих в береговой зоне: абразии (переработке берегов), аккумуляции, эрозии (русловой и поверхностной), деформации верховых незакрепленных откосов дамб и плотин. Для обеспечения наглядности представления информации о состоянии береговой зоны наличие того или иного процесса регистрируется путем индексации: знак "+" свидетельствует о присутствии явления, знак "-" - о его отсутствии.



Рис.1. Алгоритм головных программ

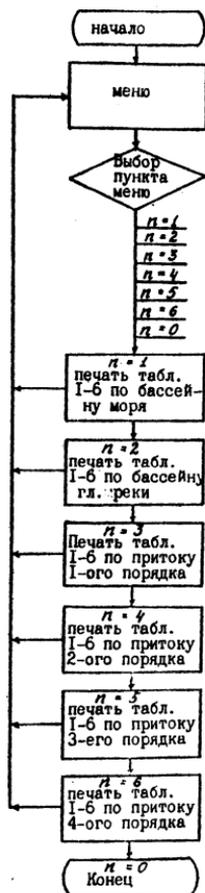


Рис.2. Алгоритм программ выбора водохранилищ по коду и печати таблиц 1-6

Табл.2 "Морфометрические характеристики водохранилищ" отражает сведения морфометрического характера, дающие представление о площади и объеме водных объектов, распределении и соотношении глубин, вытянутости в плане и т.д. Всего приводится 16 показателей.

В табл.3 "Гидрологические характеристики водохранилищ" приводятся сведения о гидрологических особенностях водного объекта: водотоке и его водосборе (степени распаханности, озерности, проточности, водообмене и т.д.). Таблица включает 15 параметров.

Табл. 4 "Характеристики абразионных берегов водохранилищ" содержит показатели абразионного процесса, элементы районирования и классификации берегов водохранилищ в приложении к различным зонам водного объекта (А - низовая, В - средняя, С - верховая) [9], с указанием подтипов абразионных берегов (абразионно-осыпные, абразионно-обвальные, абразионно-оползневые, просадочные) и их характеристики: объем и интенсивность переработки, параметры размываемых берегов и т.д. Всего в таблице представлено 14 показателей.

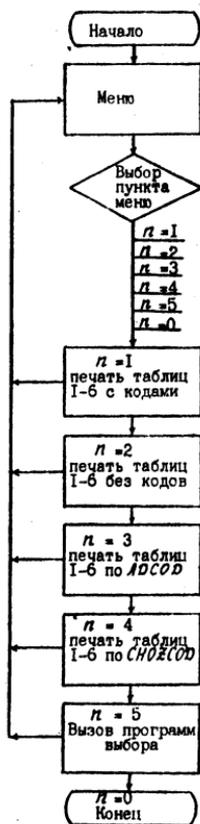


Рис. 3. Алгоритм программ печати таблиц I-6

Табл. 5 "Характеристики аккумулятивных, эрозийных и нейтральных берегов водохранилищ" дает представление об интенсивности и масштабах процессов аккумуляции, их привязке к зонам водохранилища, объемах и мощности образований. Кроме того, в таблице приводятся сведения об эрозии поверхностной и русловой в привязке к зонам водоема и их основные параметры.

Табл. 6 "Характеристики деформаций пляжей и незакрепленных верховых откосов дамб и плотин" содержит сведения о масштабах деформаций верховых незакрепленных откосов дамб и плотин с указанием величин линейных и объемных деформаций в надводной и подводной частях откосов, уклонов откосов и др. Всего в таблице приводятся 13 характеристик.

Кадастровая информация, заносимая в БД, таким образом, содержит около 70 показателей, которые могут обновляться и уточняться по мере накопления фактического материала. Проведение повторных периодических съемок и замеров на водохранилищах Республики Беларусь позволит контролировать состояние водных объектов с учетом динамики берегообразующих факторов и условий, а также антропогенного воздействия на водоемы. В настоящее время банк данных СУБД "Береговая зона равнинных водохранилищ" включает сведения о 120 во-

дохранилищах Республики Беларусь. Приведенная структура базы данных достаточно проста по своей архитектуре и включает возможность ввода, хранения, сортировки и вывода в упорядоченном виде тех или иных сведений о береговых процессах на дисплей или печатающее устройство компьютера. Это дает возможность пользователю в удобной для него форме получать необходимую информацию для принятия решения

Литература

1. Гриневич А.Г., Кабанов В.И. Система учета водохранилищ в СССР//Гидротехника и мелиорация. - 1980.- №3.- С.34-38.
2. Максимчук В.Л., Дубняк С.А., Ткаченко В.П. Инженерно-геологическое и гидродинамическое обоснование берегозащитных мероприятий на водохранилищах. - Киев: Знамя, 1983. - 14 с.
3. Ермолаев А.И. К вопросу о разработке единой типологической классификации берегов водохранилищ//Труды коорд.совещ. по гидротехнике. - М.: Энергия, 1976. - Вып. 107. - С. 121-127.
4. Розовский Л.Б. Информационно-поисковые системы и организация информации в инженерной геологии//Информационно-поисковые системы в инженерной геологии. - М.: Изд-во МГУ, 1975. - С. 6-19.
5. Лиходедова О.Г., Розовский Л.Б., Воскобойников В.М. Информационно-поисковые системы для прогноза устойчивости склонов и откосов//Информационно-поисковые системы в инженерной геологии. - М.: Изд-во МГУ, 1975. - С. 19-27.
6. Крыжановская И.Н., Лиходеева О.Г. Прогнозная информационно-поисковая система "Берега водохранилищ"/Информационно-поисковые системы в инженерной геологии. - М.: Изд-во МГУ, 1975. - С.40-46.
7. Епишин В.К., Энзарьян В.И. Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. - М-Л.: Энергия, 1979. - 112 с.
8. Левкевич В.Е., Розовский В.С. Повышение эффективности работы берегоохранных мероприятий при использовании информационно-справочной системы "Береговые процессы на малых водохранилищах"/Мелиорация и водное хозяйство. НТИ. - Вып.12. - Минск:Ураджай, 1989. - С. 18-22.
9. Левкевич В.Е., Розовский В.С. Диалоговая информационно-справочная система "Береговые процессы на малых водохранилищах" - структура и возможности//Передовой производственный и научно-технический опыт в мелиорации и водном хозяйстве, рекомендуемый для внедрения. - Вып.3.- ЦЕНТИ Минводстроя СССР, 1990. - С. 30-39.
10. Система управления базами данных для персональных ЭВМ

"Ребус". Версия 1.1. Руководство пользователя. - М.: ВНИИЭС, 1987. - 275 с.

11. Колобаев А.Н., Радионов Н.А. Инструкции по кодированию информации при ведении Государственного водного кадастра. - М.: ВНИИГим. 1980. - 136 с.

УДК 628.3

В.Н.Яромский, Т.М.Хмельницкая,
Г.А.Волкова (БрПИ)

УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МОЛОКА

Проблема утилизации осадков производственных сточных вод приобретает особое значение, так как решает не только природоохранную, но и экономическую задачи, содействуя восполнению сырьевых и материальных ресурсов стран.

В настоящее время молочная промышленность является одной из наиболее крупных отраслей пищевой промышленности. В ней насчитывается более 4 тыс. предприятий, выпускающих около 250 видов различной продукции. Всего в стране производство основных молочных продуктов составляет примерно 35 млн. т в год. При выпуске 1 т продукции образуется 5 м³ сточных вод. Таким образом, ежегодно образуется 175 млн. м³ производственных сточных вод, в которых содержится много ценных веществ (азот, фосфор, калий, микроэлементы, жиры и т.д.). При этом с 1 м³ сточной жидкости сбрасывается 2-4 кг органических загрязнений естественного происхождения, представляющих биологическую ценность.

Нами разработана технология биохимической очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, позволяющая не только очищать сточные воды до норм сброса в канализацию или водоемы, но и извлекать и утилизировать содержащиеся в них ценные компоненты, такие, как азот, фосфор, калий, белок, протеин и т.д. Биотехнологический метод реализуется с применением биореакторов с погруженными в жидкость вращающимися носителями иммобилизованной микрофлоры (погруж-

ные дисковые биофильтры). При этом стадия очистки сточных вод, решаемая биотехнологическим методом, рассматривается нами как стадия выделения ценных органических и минеральных веществ, а сами сточные воды — как субстрат для культивирования микроорганизмов с целью накопления биомассы (осадка). Образующаяся в процессе очистки биомасса одноклеточных микроорганизмов содержит ферменты, микро- и макроэлементы и может служить сырьем для получения кормовой добавки. С целью разработки технологической схемы ее обработки на стадии опытно-промышленных испытаний на Березовском сыродельном комбинате и Пинском гормолзаводе выполнен комплекс исследований по изучению состава и свойств получаемой биомассы, таких, как гидравлическая крупность, влажность и плотность, зольность, содержание беззольного вещества, изменение плотности и объема при уплотнении, термической сушке.

Исследованию и анализу подвергалась биологическая пленка, задерживаемая вторичными отстойниками и представляющая визуально волокнистую студнеобразную массу светло-коричневого цвета. Микробиологический анализ показал, что в состав био пленки входят нитчатые, "0"-образные и кольцевидные бактерии, нитевидные плесени. В результате санитарно-бактериологического анализа установлено, что общее количество микроорганизмов в сыром осадке — 5×10^3 (в см^3), обнаружены микроорганизмы рода *Pseudomonas*, *Nafnia*, грибы *Actinomyces-4 \times 10^2 (в см^3), *dactobacterium* 1×10^2 (в см^3).*

Биомасса представляет собой дисперсную среду, в которой форма связи воды с твердыми частицами в основном свободная, частично коллоидно связанная и химически связанная.

Общая влажность сырой биомассы из вторичного отстойника — 98–98,6 %, плотность — 0,96 г/ см^3 , зольность — 22–26 %, содержание беззольного вещества — 74–78 %, средняя гидравлическая крупность частиц биомассы — 0,15 мм/с. Общий и химический состав биомассы, образующейся при биохимической очистке сточных вод Березовского сыродельного комбината и Пинского гормолзавода и высушенной при 105°C, представлен в табл. I и 2.

Некоторые отличия показателей для биомассы Березовского сыродельного комбината и Пинского гормолзавода можно объяснить различным составом используемой водопроводной воды и различием технологических процессов.

По заключению Брестской государственной сельскохозяйственной станции, биомасса в высушенном виде имеет питательность по кормо-

Таблица 1

Общий состав биомассы, в %

Вид осадка	Сухое вещество	Органическое вещество	Азот общий	"Сырой" протеин	"Сырой" жир	"Сырая" клетчатка	"Сырая" зола	Общая влажность
Биомасса Березовского сыродельного комбината	87,5	78,2	7,65	47,81	4,85	9,29	9,32	12,5
Биомасса Пинского гормолзавода	98,2	74,6	4,88	30,50	32,4	11,32	24,0	1,85

Таблица 2

Химический состав биомассы

Вид осадка	Содержание элементов, мг/кг			Содержание элементов, г/кг					pH
	Сu	Zn	Fe	Ca	P	K	Mg	Na	
Биомасса Березовского сыродельного комбината	17,3	100	1345	2,7	16,2	28,3	2,2	1,5	6,3
Биомасса Пинского гормолзавода	19,7	100	2000	24,7	13,3	12,0	1,2	1,3	5,7

вым единицам - 1,19 и 1,48 для сточных вод сыркомбината и гормолзавода соответственно, что в первом случае превышает питательность цельного молока в 4, а во втором - в 5 раз. По содержанию "сырого" протеина биомасса приближается к сухому обезжиренному молоку, содержание микроэлементов гораздо выше, чем в натуральных кормах.

Для обезвоживания биомассы, осевшей во вторичном отстойнике, и получения из нее товарного продукта потребуется комплекс технологических операций, включающий уплотнение, обезвоживание и термическую сушку.

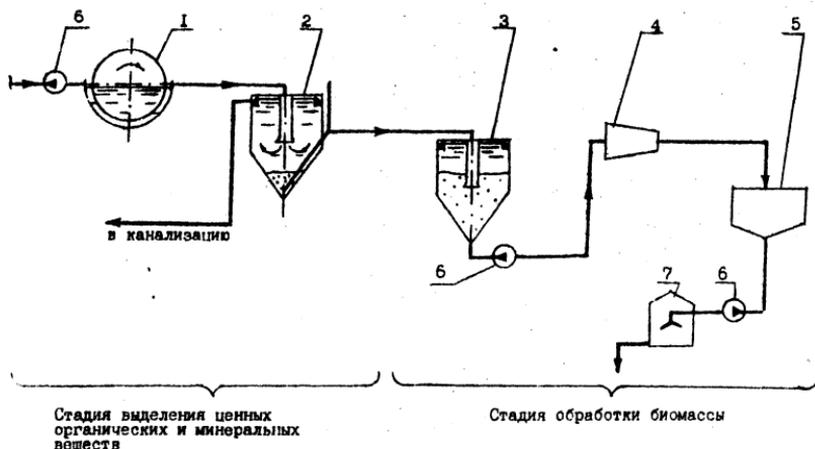
Для выбора аппаратов и сооружений, реализующих указанные технологические приемы, определялись удельное сопротивление фильтрации и индекс центрифугирования исследуемого осадка по известным методикам.

На стадии опытно-промышленных испытаний исследованы процесс гравитационного уплотнения осадка, обезвоживания на центрифуге, сушка в кипящем слое. При этом после каждой стадии обработки биомассы определялись ее влажность, плотность, убыль в объеме. Установлено, что в процессе гравитационного уплотнения в течение 1,5-2,0 ч возможно снизить влажность осадка до 95 %. Удельное сопротив-

ление фильтрации исследуемого осадка составляет $(4500+5400) \times 10^{-10}$ см/г, что на порядок выше, чем у бытовых сточных вод, и что делает нецелесообразным его безреагентное обезвоживание на вакуум-фильтрах. При исследовании процесса обезвоживания осадка центрифугированием использовалась лабораторная центрифуга, для которой при принятом факторе разделения $1,1 \times 10^3$ (как для промышленной центрифуги типа ОГШ-100) рассчитывались требуемое число оборотов и в процессе работы - индекс центрифугирования. Для исследуемого осадка он составляет в среднем $10-15$ см³/г, влажность осадка после центрифугирования снижается до 75 %, при этом значительно убывает объем осадка. При сушке осадка в кипящем слое при 80-90 °С влажность его снижается до 10-20 %.

Выполненные исследования и испытания отдельных технологических приемов по обезвоживанию биомассы, получаемой при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, позволили рекомендовать технологическую схему ее обработки, представленную на рисунке.

Согласно разработанной технологии очистки сточных вод и утилизации отходов сточные воды насосом подаются на ДБФ (I), где осуществляется очистка воды, выделение и концентрирование содержащихся



Технологическая схема обработки сточных вод и утилизации ценных компонентов.

I - дисковые биофильтры; 2 - вертикальный отстойник; 3 - уплотнитель; 4 - центрифуга; 5 - промежуточная емкость; 6 - насос; 7 - сушилка

в ней ценных органических и минеральных веществ биотехнологическим методом путем использования сточных вод в качестве субстрата для культивирования микроорганизмов и накопления биомассы (осадка). Затем, отторгнутая от дисков, биомасса отделяется в вертикальном стстойнике (2), уплотняется гравитационно в уплотнителе (3) и насосом (6) подается на обезвоживание в центрифугу (4), где влажность снижается до 75 %. Обезвоженная биомасса через промежуточную емкость (5) насосом (6) подается в сушилку (7), где осуществляется ее сушка в кипящем слое при температуре 80-90 °С до влажности 10-15 %.

Проведенные нами испытания показали, что осадка образуется 4-6 % от суточного расхода сточных вод, что для Березовского сыродельного комбината (при расходе сточных вод 6000 м³/сут) составляет 2,7-4,08 м³/сут высушенной до 12-15 % биомассы.

Для Березовского сыродельного комбината выполнен экспериментальный проект локальных очистных сооружений, в основе которого лежит разработанная технология.

С целью рационального использования биомассы в качестве кормовой добавки в настоящее время проводятся исследования по изучению поедаемости ее молодняком крупного рогатого скота и свиньями, а также оптимальных норм ее скармливания.

Литература

1. Яромский В.Н., Хмельницкая Т.М., Волкова Г.А. Охрана окружающей среды на предприятиях по переработке молока: Тез.докл. Всесоюзн. науч.-практ.конф. - Таллинн, 1991.
2. Яромский В.Н. и др. Технологическая система локальной очистки сточных вод молочного завода: Тез.докл. юбилейной науч.-техн. конф. - Брест, 1991.

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ ИЗ ВОДЫ

Для очистки производственных сточных вод в промышленности широко используется известь в виде суспензий различной концентрации. При наличии в воде сульфатных ионов в процессе ее очистки образуется сульфат кальция, который кристаллизуется из воды в виде гипса, что приводит к образованию обильных и прочных отложений на поверхностях трубопроводов, сооружений и оборудования. Удаление гипсовых отложений – процесс трудоемкий, требующий длительного времени и большого расхода реагентов.

Скорость роста гипсовых отложений зависит от концентрации сульфат-ионов в очищаемой воде, длительности использования воды в производстве, режимов и способов ее обработки и других факторов.

Применение продувки систем как способа предотвращения образования гипсовых отложений требует повышенных сбросов оборотной воды (свыше 50 % от ее расхода). Это приводит к неоправданно высокому потреблению свежей воды и значительно увеличивает выброс сульфат-ионов и ионов кальция (т.е. высокоминерализованной воды) в системы водоотведения и далее в водные объекты. Вследствие этого не выдерживаются ПДК по общему солесодержанию, ионам сульфата и кальция в сбрасываемой воде.

Широкому использованию в системах оборотного водоснабжения предприятий препятствует образование пересыщенных растворов по сульфату кальция [1], образующихся при обработке сточных вод известью, что приводит к описанным выше процессам образования отложений по тракту движения воды.

Радикально решить проблему борьбы с гипсовыми отложениями можно путем разработки технологии использования извести для очистки сточных вод без образования при этом пересыщенных по сульфату кальция растворов или выделить сульфат кальция в виде гипса в месте образования в специальных сооружениях, тем самым предотвращая загипсовывание поверхностей, контактирующих с очищенной сточной водой.

В настоящей работе кратко рассмотрены разработанные авторами эффективные способы стабилизации оборотной воды по сульфату кальция удалением его избыточного количества из очищенной сточной воды.

Одним из наиболее простых и дешевых способов стабилизации оборотной воды является внесение затравок (инертных или активных) в очищаемую или уже очищенную сточную воду [2,3]. При внесении в воду инертной затравки (молотые мел, песок, гипс и т.д.) в количестве 1-4 г/л пересыщение практически полностью снимается через 1,5-2 ч, причем процесс идет значительно быстрее (в 1,3-3 раза) при высоком содержании сульфата кальция в воде (более 5000 мг/л). При содержании сульфата кальция до 3000 мг/л длительность стабилизационной обработки составляет 1-5 ч при перемешивании, так как в процессе обработки затравка должна находиться во взвешенном состоянии. Доза активной затравки (свежеприготовленный гипс) может быть снижена до 0,2-1 г/л при одинаковом эффекте очистки.

Использование затравок приводит к значительному увеличению объемов осадка (в 1,2-3 раза). При обработке больших расходов сточных вод этот момент делает использование затравок в чистом виде нецелесообразным, так как увеличиваются затраты на приготовление затравок, транспортировку и складирование осадка.

Развитием чисто затравочного способа является температурно-затравочный способ, т.е. применение затравки при одновременном подогреве очищаемой воды до 40-80 °C [2]. При очистке этим способом доза затравки может быть снижена до 0,5 г/л и менее. Скорость процесса стабилизации возрастает в несколько раз, а длительность его можно сократить до 0,5-1 мин. Высокая интенсивность удаления сульфата кальция из воды позволяет вести процесс в малогабаритных сооружениях. Одновременно при использовании температурно-затравочного способа, например, для очистки сточных вод от промывки изделий, протравленных в серной кислоте, образуется в несколько раз меньше осадка, который хорошо обезвоживается, следовательно обработка, транспортировка и складирование осадка потребуют значительно меньших затрат, чем традиционные технологические решения.

Удаление сульфата кальция из воды можно проводить вообще без введения в нее твердой фазы в виде затравки. Такой способ реализован при обработке сточной воды путем дозирования в нее органических жидкостей (ацетон, спирты) [4].

Применение жидких добавок упрощает их дозирование, а скорость обработки при этом увеличивается в 3-20 раз. В качестве добавок можно использовать не чистые вещества, а отходы производства. Органические добавки (ацетон, спирты) легко регенерировать из очищенной воды и можно вести очистку с использованием их в замкнутом цик-

ле. Расход добавок сравнительно невелик (10–80 л/м³).

Одновременно со стабилизацией воды по сульфату кальция органические добавки улучшают обезвоживание образующегося осадка. Скорость обезвоживания возрастает на 30–80 %, а влажность кека при обезвоживании на вакуум-фильтре снижается на 10–20 %.

Кроме рассмотренных выше способов удаления сульфата кальция из воды, требующих ввода специальных веществ (добавок), разработан способ безреагентной обработки сточной воды с помощью ультразвука [5], который целесообразно использовать при интенсивности 1–10 Вт/см². Обработки воды, содержащей сульфат кальция, ультразвуком в течение 3–7 мин достаточно, чтобы сократить длительность выделения гипса в 3–6 раз. Воздействие ультразвука на воду при одновременном ее подогреве до 50–80°C позволяет удалить из воды весь избыточный сульфат кальция за 3–10 мин. При этом его остаточное содержание в воде составляет 1700–2000 мг/л, т.е. вода становится стабильной и устраняется возможность образования гипсовых отложений. Образующийся при обработке воды осадок имеет объем меньший, чем при обычной обработке, в 1,2–1,5 раза. Водоотдача полученного осадка значительно улучшается, что способствует увеличению производительности обезвоживающего оборудования и позволяет получить кек с влажностью 60–70 %.

Таким образом, все рассмотренные способы обработки воды являются эффективными для удаления сульфата кальция из воды и обработки образующегося осадка. На наш взгляд, наиболее перспективным является способ ультразвуковой обработки, так как при этом способе в воду не вносятся какие-либо дополнительные вещества, способствующие увеличению загрязненности очищаемой воды, не изменяется солевой состав воды и не увеличивается ее солесодержание. Последнее обстоятельство особенно важно в настоящее время, характеризующееся все более жесткими значениями ПДК для различных загрязняющих веществ в воде, подлежащей сбросу в водоотводящие системы или в водные объекты. Кроме того, рассмотренные способы технологичны, позволяют легко автоматизировать процесс очистки сточной воды и снизить ее себестоимость на 20–50 % за счет снижения затрат на реагенты, повышения производительности очистных сооружений, упрощения и удешевления обработки образующегося осадка.

Литература

1. Соловьев Ф.С. Образование гипсовых отложений в оборотных системах водоснабжения травильных производств // Известия вузов.

Стр. Строительство и архитектура. - 1966. - №5. - С. 119-123.

2. Будека Ю.Ф., Красуцкая В.И. Исследование кристаллизации сульфата кальция методом активного эксперимента//Использование и охрана водных ресурсов. - Минск, 1976. - С. 188-192.

3. Муравьев В.Р. Кристаллизация гипса из пересыщенных растворов при внесении затравок//Химия и технология воды. - 1979. - Т.1. - № 1. - С. 63-66.

4. Чернявская В.А., Будека Ю.Ф. Влияние подогрева и добавки пропилового спирта на кристаллизацию сульфата кальция//Проблемы водоотведения и очистки сточных вод. - Минск, 1980. - С.103-110.

5. Будека Ю.Ф., Мойченко В.А. Удаление сульфата кальция из обработанной воды при обработке ее ультразвуком//Использование и охрана водных ресурсов. - Минск, 1976. - С. 182-188.

УДК 628.3

Ю.Ф.Будека, И.Н.Киселев,
А.Э.Перковский (БГПА)

ВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ОСАДКА ЖЕЛЕЗО- И СУЛЬФАТСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

При травлении черных металлов в серной кислоте образуются слабо- и высококонцентрированные сточные воды [1], которые с целью очистки, как правило, нейтрализуют известью. При этом образуются большие объемы осадков, которые плохо уплотняются и обезвоживаются.

В настоящей работе приведены результаты исследований влияния низкочастотной вибрации на изменение объема осадка, образующегося при нейтрализации железо- и сульфатсодержащих сточных вод.

Опыты проведены на модельных стоках, в которых концентрация сульфата железа и серной кислоты составляли 1,0; 1,5; 100 и 1; 200 и 5 г/л соответственно. Проведено две серии опытов с применением активного планирования эксперимента. В первой серии опытов в качестве факторов, от воздействия которых изучалась зависимость

объемов осадков, были выбраны продолжительность вибрации и разрыв во времени между концом нейтрализации и началом вибрации. Концентрация загрязнений в данном случае оставалась постоянной: $FeSO_4$ - 100 и H_2SO_4 - 1 г/л. В табл. I приведена матрица планирования эксперимента.

Таблица I

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	X_1 , длительность звучания, мин	X_2 , разрыв во времени, мин	Y , объем осадка, %
1	-	-	77,1
2	+	-	77,7
3	-	+	72,8
4	+	+	74,3

За параметр оптимизации принят объем осадка (Y) после двухчасового отстаивания. Вибрацию проводили в течение 10 мин (нижний уровень) и 100 мин (верхний уровень), сразу после нейтрализации (без разрыва во времени) и с трехчасовым перерывом между окончанием нейтрализации и началом вибрационной обработки.

Опыты проводились по следующей методике. Стоки нейтрализовались известковым молоком 10 %-ной концентрации по CaO до pH 8,7-9,0. Нейтрализованные стоки разливались в 10-литровые сосуды диаметром 24,5 см. В первом сосуде стоки не подвергались обработке вибрацией, оставались в качестве контроля. Во втором осадок обрабатывали вибратором на частоте 50 Гц мощностью 50 Вт. После вибрации измеряли изменение объема осадков во времени. Было проведено по три параллельных испытания в каждом опыте.

В результате статистической обработки результатов эксперимента по известной методике [2] получено следующее регрессионное уравнение, описывающее процесс адекватно опытными данным:

$$Y = V_{oc} = 75,5 + 0,5 \cdot X_1 + 1,9 \cdot X_2 + 0,2 \cdot X_1 X_2, \quad (1)$$

где V_{oc} - объем осадка, %.

Из уравнения (1) следует, что изученные факторы незначительно влияют на объем осадка, причем вибрационная обработка и разрыв во времени (взаимодействие $X_1 X_2$) совместно также не способствуют уменьшению объема осадка.

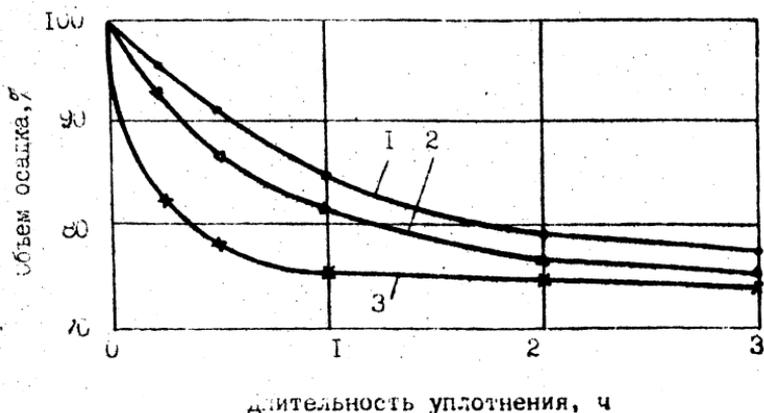


Рис. 1. Изменение объема осадка во времени (по данным табл. I). Длительность вибрационной обработки (мин): 1 - 0 (контроль); 2 - 10; 3 - 100

На рис. 1 приведены результаты изучения изменения объема осадков во времени для опытов, описанных в табл. I. Из кинетических кривых следует, что вибрационное воздействие в начальный период значительно ускоряет уплотнение осадка: через 30 мин объем осадка уменьшается на 21 % по сравнению с уменьшением на 8 % в контрольном опыте (кривые 3 и 1 рис. 1). Через 60 мин объем осадка стабилизируется и не изменяется при дальнейшем отстаивании, достигая 76 %. К этой же величине объема стремится и осадок в контрольном опыте (без наложения вибрации). Это происходит потому, что вибрация способствует разрушению хлопьевидной структуры гидроксидного осадка, выжимает свободную воду, находящуюся в окружении частиц осадка. Без вибрации отделение свободной воды происходит значительно медленнее, а объем осадка стабилизируется, т.е. прекращает изменяться только через 4 ч (процесс уплотнения осадка при вибрационной обработке ускоряется в 8 раз).

Нами изучено также влияние вибрации на поведение осадков, полученных из сточных вод, содержащих различное количество сульфата железа. Концентрация сульфата железа (X_1) составляла: на нижнем уровне - 1 г/л, на верхнем - 200 г/л; длительность воздействия вибрации (50 Гц) X_2 - 10 и 100 мин соответственно. В опытах измеряли объем осадка и определяли его влажность после суточного отстаивания.

вания. Концентрация серной кислоты была постоянной — 1 г/л. В табл.2 приведена матрица планирования эксперимента и объем осадка через 2 ч отстаивания (Y).

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Исходная концентрация $FeSO_4$, г/л X_1	Длительность воздействия вибрации, мин X_2	Объем осадка, % Y
1	-	-	12,1
2	-	+	10,7
3	+	-	98
4	+	+	95,2

Уравнение регрессии, описывающее изучаемый процесс адекватно опытным данным, имеет следующий вид:

$$Y = 54 + 42,6X_1 - 1,17X_2 \quad (2)$$

Анализ полученных результатов показывает, что объем осадка в основном зависит от концентрации сульфата железа в исходной сточной воде и в меньшей степени от вибрационного воздействия (уравнение (2)). Однако при низких концентрациях сульфата железа (1 г/л) наблюдается снижение объема осадка при вибрационном воздействии на 5–8 % по сравнению с контрольным опытом (рис.2). При этом, как и ранее (рис.1), наблюдается интенсивное уплотнение осадка в первые 5–30 мин отстаивания. Подвергшийся вибрационному воздействию осадок не только быстрее уплотняется, но и имеет меньший объем (кривые 3 и 1 рис.2). Для концентрации сульфата железа 200 г/л при наличии вибрации уплотнение осадка во время отстаивания практически заканчивается в первые 30 мин, тогда как в контрольном опыте этот процесс длится более 6 ч.

В табл.3 приведена влажность осадка после суточного отстаивания при концентрации сульфата железа 200 г/л.

Таблица 3

Влажность осадка через 24 ч после уплотнения

Характеристика опыта	Влажность осадка, %
Контроль (без вибрации)	83,1
Воздействие вибрации 10 мин	81,6
Воздействие вибрации 100 мин	80,8

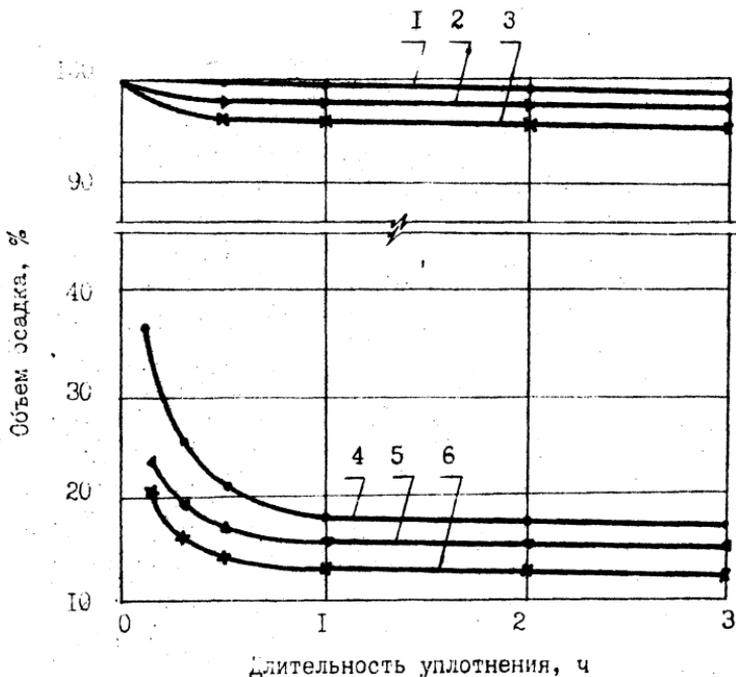


Рис.2. Влияние вибрации на уплотнение осадка.
 Концентрация сульфата железа, г/л: 1-3 - 100; 4-6 - 1.
 Длительность вибрационной обработки, мин: 1,4 - 0 (контроль; 2,5 - 10; 3,6 - 100)

Из данных табл.3 четко прослеживается снижение влажности уплотненного осадка при увеличении длительности вибрационного воздействия на осадок перед началом уплотнения.

Таким образом, нами установлено, что объемы осадков после длительного отстаивания (уплотнения) при вибрационной обработке и без нее сравнимы. Однако вибрационное воздействие на осадок сразу после нейтрализации сточной воды позволяет в несколько раз ускорить его уплотнение и снизить влажность уплотненного осадка. Учитывая длительность уплотнения гидроксидных осадков концентрированных сточных вод, их плохую водоотдачу и большие объемы, представляется целесообразным производить вибрационную обработку осадков перед их обезвоживанием, что позволяет снизить объемы накопителей осадка, повысить производительность оборудования для обез-

воживания осадка и снизить затраты на его обработку. Положительным моментом является и то обстоятельство, что интенсификация обработки осадка с помощью вибрации не требует применения дополнительных реагентов и сложного оборудования.

Литература

1. Сариков Н.Ф. Сернокислотное хозяйство заводов черной металлургии. - М., 1968.
2. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. - М., 1974.

УДК 624.131.3:626.862.3

Т.В.Хмелевская, Т.М.Уласик
(БелНИИМиЛ)

О СТРУКТУРЕ КОНТАКТА ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ И ГРАВИЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Постановка данных исследований вызвана необходимостью увязки процесса контактного размыва со структурой контактной зоны. В большинстве существующих рекомендаций разрушающий градиент контактного размыва считают функцией расчетного диаметра пор крупнозернистого материала в его толще, которым принято считать D_{60}^0 . Однако размер пор внутри материала в значительной мере отличается от такового при примыкании частиц гравия к плоской поверхности (рис.1). На контакте с плоской поверхностью происходит увеличение диаметра пор (рис.1б) по сравнению с внутренним диаметром (рис.1а). Однако при этом следует иметь в виду, что контакт грунтов не является недеформируемым, т.е. возникает взаимное проникновение материалов: вышележащего крупнопористого материала в глинистый грунт и набухание защищаемого глинистого грунта. Так что перенос значения D_{60}^0 на контактную зону едва ли правомерен.

Исследования структуры контакта супесчаных грунтов и фильтров проводились ранее во ВНИИ ВОДГЕО [1]. Они показали, что суще-

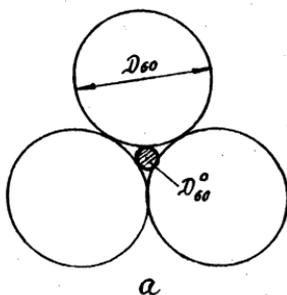
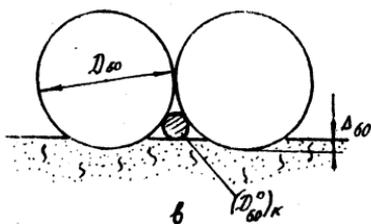
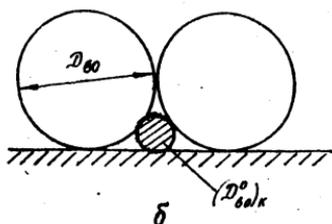


Рис.1. Схема образования пор:
 а - внутри гравийного материала;
 б - на контакте с жесткой поверхностью;
 в - на контакте с грунтом



ствует достаточно четкая количественная связь между глубиной погружения частиц фильтра в супесчаный грунт и нагрузкой, но основная доля этого погружения (70 %) приходится не на вертикальную нагрузку, а на "осадку" при замачивании, т.е. за счет набухания супесчаного грунта. В среднем эта величина была принята равной для супесчаных грунтов 2 мм. Однако переносить эти данные на пылеватоглинистые грунты считаем неправомерным, поскольку супеси исследовали в узком диапазоне пластичности ($W_p = 3-4$), кроме того, спектр изменения свойств пылеватоглинистых грунтов должен быть значительно более широким (практически от песков до тощих супесей), следовательно, и учет должен быть более дифференцированным.

Для исследования структуры контакта был взят пылеватоглинистый слабосвязный грунт, зерновой состав которого приведен на рис.2. Грунт содержит 7 % глинистых, 36 - пылеватых и 53 % песчаных частиц. Опыты заключались в следующем: на грунт с заданными исходными характеристиками $\gamma_{ск}$ и W_0 укладывали гравийный материал определенной крупности. Вертикальная нагрузка, передаваемая на образец грунтов, соответствовала слою гравия 20 см. После передачи нагрузки контакт грунтов заливали водой и выдерживали в таком сос-

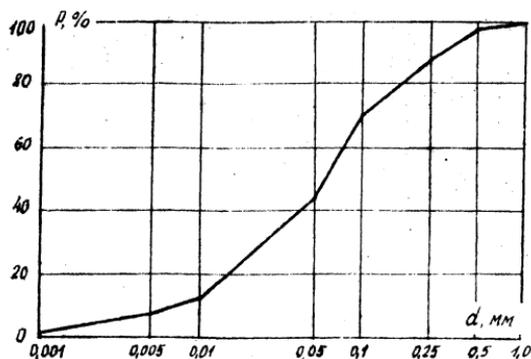


Рис.2. Кривые зернового состава исследуемого пылеватого-глинистого грунта

тоянии в течение суток. Такая продолжительность выбрана исходя из того, что за это время практически полностью реализуются деформации набухания пылеватого грунта при взаимодействии его с водой [2,3]. По истечении суток нагрузку снимали, воду осторожно сливали, грунт подсушивали, не снимая с него частиц гравия, пока поверхность грунта не фиксировалась в деформированном состоянии. От некоторой постоянной плоскости измеряли штангенциркулем расстояние до выступов грунта в пространстве между частицами h_{min} и до оснований вынутых частиц h_{max} . Строили кривые распределения значений h_{min} и h_{max} по площади образца (интегральные кривые). Поскольку расчетным диаметром пор при расчетах разрушающего градиента контактного размыва является величина D_{60}^0 , то и значение $\Delta_i = h_{max}^i - h_{min}^i$ принимали при обеспеченности 60%, т.е. Δ_{60} . Далее задача решалась геометрически: на листе бумаги строятся два круга диаметром D_{60}^0 (в увеличенном масштабе), которые касаются друг друга у горизонтальной поверхности. Затем горизонтальная поверхность поднимается на величину Δ_{60} и определяется диаметр вписанного круга между "частицами" и новой поверхностью грунта (см. рис.1в). Это и будет расчетный диаметр пор на контакте $D_{60к}^0$. Подобные построения проводили для каждого опыта.

Связь между глубиной проникновения и плотностью пылеватого грунта показана на рис.3а, где по оси абсцисс нанесены значения объемной массы скелета грунта перед опытом, а по оси ординат - значения средней глубины проникновения $\Delta_{cp} = \Delta_{50}$. Для гравийных фракций одинаковой крупности глубина проникновения тем меньше, чем плотнее был уложен нижележащий пылеватый грунт, что вполне логично. Однако прослеживается увеличение глубины проникнове-

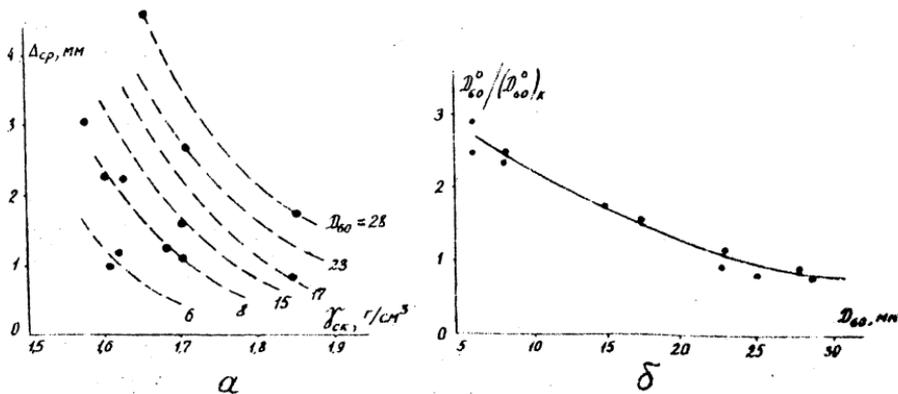


Рис.3. Структура контакта пылевато-глинистого грунта и гравийного материала: а - зависимость средней глубины вдавливания от $\gamma_{ск}$ и расчетного диаметра D_{ck} ; б - зависимость соотношения расчетного диаметра пор в толще гравия и на контакте с пылеватными грунтами от расчетной крупности гравия

ния при одной и той же плотности укладки с увеличением диаметра гравийных фракций. Объяснить этот факт можно тем, что одна и та же удельная нагрузка (по площади образца) с увеличением крупности фракций передается на все меньшее количество частиц, т.е. происходит более концентрированная передача нагрузки.

На рис. 3б значения расчетных диаметров пор на контакте получены графическим путем, как было описано ранее. График наглядно показывает, что для исследованного пылеватого грунта наибольшее изменение диаметра пор на контакте за счет проникновения гравия в грунт наблюдается при расчетных диаметрах фракций от 5 до 17,5 мм, когда поры на контакте в 1,5-3 раза меньше пор внутри слоя гравия. При фракциях 5 мм размер пор оказался меньше глубины проникновения (см. таблицу), т.е. образовался перемешанный контактный слой грунта и гравия, обладающий большей устойчивостью при воздействии на контакт продольного потока. Чем крупнее гравийный материал, тем в меньшей степени сказывается влияние его проникновения в пылеватый грунт на размер пор на контакте (несмотря на увеличение абсолютной величины проникновения).

Изменение диаметра пор на контакте в зависимости от глубины проникновения гравия в грунт

Гравий		Грунт			Измеренная глубина проникновения		Рассчитанные значения диаметров пор		
крупность, мм	D_{60}^0 , мм	$T_{ск}$, г/см ³	W , %	A_{50}	A_{60}	$(D_{60}^0)_к$	D_{60}^0	$D_{60}^0 / (D_{60}^0)_к$	
5-10	7,60	1,58	9,41	2,75	2,85	-	2,47	-	
5-10	7,60	1,63	9,41	2,70	3,05	-	2,47	-	
10-20	15,10	1,60	7,30	1,50	1,50	2,1	4,80	2,28	
10-20	15,10	1,68	7,17	3,60	3,65	1,31	4,80	3,66	
Ø 23 ^X	23,0	1,76	11,57	9,00	-	-	3,61	-	
Ø 25,5 ^{XX}	25,5	1,72	12,03	2,04	-	4,87	4,00	0,82	
Ø 23 ^{XX}	23,0	1,72	12,03	2,09	-	4,25	3,61	0,85	
10-20	15,10	1,71	11,83	1,50	1,70	2,70	4,80	1,77	
7-10	8,70	1,705	11,41	1,09	1,15	1,35	3,39	2,50	
7-10	8,70	1,69	11,49	1,10	1,10	1,40	3,39	2,42	
5-7	6,20	1,61	10,64	1,00	1,00	0,88	2,10	2,39	
5-7	6,20	1,62	10,52	1,3	1,3	0,70	2,10	3,00	
20-25	23,0	1,71	11,41	2,55	2,60	3,90	3,61	1,13	
26-30	28,0	1,66	11,21	4,25	4,50	4,50	4,40	0,97	
14-20	17,50	1,84	13,27	0,75	0,90	3,75	5,90	1,57	
26-30	28,50	1,83	13,15	1,60	1,70	5,70	4,47	0,78	

X Опыты проведены с металлическими шарами $D = 23$ мм и вертикальной нагрузкой ($P = 115$ г).

XX Опыты с металлическими шарами под собственным весом ($P_{23} = 49$ г, $P_{25,5} = 67$ г.).

В пределах кривая зависимости $D_{60}^0 / (D_{60}^0)_к = f(D_{60}^0)$ стремится к значению 0,602, т.е. к случаю контакта с жесткой поверхностью, и не может располагаться ниже этого значения. Все полученные в результате опытов данные сведены в таблицу.

Таким образом, полученные нами данные показывают, что диапазон изменения свойств пылеватых грунтов достаточно широк и распространить их на все пылеватые грунты нельзя. Требуются дальнейшие исследования структуры контакта пылеватых грунтов и гравийных материалов.

Литература

1. Мишурова Г.В. Исследования структуры контакта супесчаных

грунтов и фильтров//Водное хозяйство и гидротехническое строительство. - Вып. II. - Минск: Ураджай, 1981. - С.152-157.

2. Хмелевская Г.В. О набухании супесчаных и пылеватых грунтов при увлажнении//Водное хозяйство и гидротехническое строительство. - Вып. 18. - Минск: Высшая школа, 1989. - С. 101-107.

3. Буренкова В.В. Исследования поведения суглинки в горизонтальной трещине под действием фильтрационного потока/ Тр. БНН ИИДГЕО. - Вып. 19. Гидротехника. - М., 1968. - С. 75-78.

УДК 624.131.276:628.8

Т.Н.Чепеленко
(БГПА)

УПЛОТНЕНИЕ ТОРФЯНОГО ГРУНТА

Использование торфяных залежей в качестве оснований различных сооружений вызывает необходимость исследования как прочностных, так и деформационных свойств торфа.

Неоднородность строения торфа и значительная сжимаемость под нагрузкой приводят к большим и неравномерным осадкам сооружений. Осадки протекают длительно и зависят от вида торфа, степени разложения, ботанического состава, зольности, влаги и других факторов. В связи с этим при возведении сооружений на торфяных грунтах необходимо знать величину уплотнения под действием нагрузки и ход этого процесса.

Под действием вертикальной нагрузки σ_1 грунт сжимается, стремясь расшириться в стороны, при этом возникает боковое давление σ_3 , составляющее часть вертикального: $\sigma_3 = \xi \sigma_1$, где ξ - коэффициент бокового давления. Для водонасыщенных грунтов в момент приложения нагрузки величина ξ максимальная. После нагружения вода из пор отжимается и через некоторый промежуток времени коэффициент ξ стабилизируется; возникает процесс фильтрационного уплотнения, сопровождающийся уменьшением размера пор, сдвигом структурных элементов и увеличением количества контактов

между частицами и их агрегатами. Скелет торфа при этом новом состоянии способен воспринимать нагрузку большую, чем в первоначальном состоянии. Состояние катедры воды, отжимаемой в процессе уплотнения, обуславливает характер уплотнения и изменения бокового давления грунта.

Определенный интерес представляет наши испытания в стабилометре древесно-тростникового торфа $R = 40-45$ по следующей методике. Образец грунта нагружали ступенчатыми через минуту (до нагрузки $\sigma_1 = 0,0252$ МПа), измеряя при этом боковое давление. Затем производили уплотнение образца этой нагрузкой с измерением объема воды, отжатой из образца, и вертикальной деформации за истекший промежуток времени. После условного уплотнения нагрузку σ_1 ступенчатыми увеличивали до $\sigma_1 = 0,0588$ МПа и вновь уплотняли при нагрузках $\sigma_1 = 0,0252$; $0,0588$ и $0,1176$ МПа. Коэффициенты пористости грунта перед уплотнением составляли соответственно 4,96; 4,67 и 4,14. На рисунке представлены результаты испытаний в виде зависимостей $\sigma_3 =$

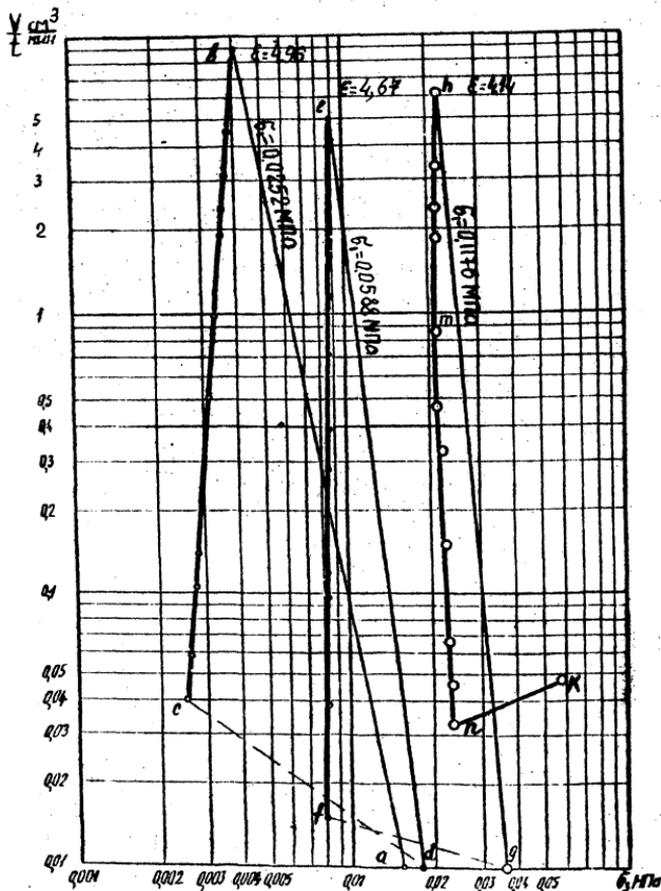
$f\left(\frac{V}{T}\right)$, характеризующих процесс уплотнения торфа под нагрузкой. Точки a , d и g на оси σ_3 показывают величину бокового давления перед уплотнением при нагрузках $\sigma_1 = 0,0252$; $0,0588$ и $0,1176$ МПа, а точки c и f — после условного уплотнения.

Величина бокового давления перед уплотнением для каждого состояния влаги образца минимальная (точка a). Через минуту после начала уплотнения наблюдается значительное падение бокового давления при максимальной скорости отжатия воды из образца с пиком в точке b . В дальнейшем точки ложатся таким образом, что через них можно провести линию bc , описываемую зависимостью вида $V = \alpha X^b$, обозначая $\sigma_3 = \lg y$ и $u\left(\frac{V}{T}\right) = \lg X$ — скорость отжатия воды из образца. Можно заметить, что угол наклона, характеризующий уплотнение, стремится к 90° , т.е. к состоянию, когда скорость отжатия воды из образца не влияет на величину бокового давления или когда нагрузка практически воспринимается скелетом грунта.

При уплотнении под нагрузкой $\sigma_1 = 0,1176$ МПа зависимости $u = \alpha X^b$ подчиняется лишь небольшой участок hm , а в дальнейшем происходит выброс точек в сторону увеличения бокового распора, несмотря на уменьшение скорости отжатия воды $\frac{V}{T}$. Анализ проведенных испытаний позволяет предположить, что боковой распор растет за счет нарушения структуры образца, а резкий перелом и изменение направления прямой (nk) характеризует разрушение образца (через

1350 мин после начала уплотнения образец разрушился при интенсивном оттоке воды).

Анализируя пики в наших зависимостях, мы исходили из следующих теорий и разработок. На процессы передвижения воды в грунте (торфе) существенное влияние оказывают многие факторы, которые можно разделить на физические (пористость, степень дисперсности, геометрия порового пространства, градиенты) и физико-химические, связанные с поверхностными явлениями на границе раздела твердой и



Графики изменения бокового давления σ_3 от скорости оттока воды при уплотнении древесно-тростникового торфа $R = 40-45\%$ вертикальной нагрузкой σ_1

жидкой фаз. Торфяные грунты обладают большой сжимаемостью и развитой удельной поверхностью, поэтому на процессы движения воды в них существенное влияние оказывают поверхностные явления.

В общем случае при уплотнении торфяных грунтов естественной структуры наблюдаются две фазы процесса передвижения воды в них:

а) отжатие свободной воды из крупных пор, где наблюдается закон Дарси;

б) при достижении некоторой критической пористости на фильтрацию воды начинают оказывать влияние поверхностные силы и в данном случае фильтрация не может быть описана законом Дарси.

В первой фазе вода фильтруется в основном по имеющимся в торфе крупным порам, которые как бы дренируют торф; во второй фазе, когда перекрываются крупные поры при уплотнении, фильтрация идет через весь объем торфа. Следовательно, в наших испытаниях пики должны уменьшаться и стремиться к нулю. Уменьшение e характеризует процесс нормального уплотнения. Увеличение пика h по сравнению с e ставит вопрос: от чего это произошло? И ответом на него является непродолжительное (15 мин) уплотнение (участок hm), постепенное нарастание разрыва связей (mn) и разрушение образца при интенсивном возрастании бокового давления и оттоке воды, вследствие чего, происходят разрыв связей скелета и разрушение (nk). Возрастание пика h — сигнал недопустимой нагрузки при уплотнении или загрузке основания.

Нами было проведено ограниченное количество испытаний (с тремя образцами). Под давлением, возникающим в камере стабилометра, через притертые поверхности масло выходит на поверхность, что снижает давление в камере и дает возможность образцу деформироваться. Происходят необратимые явления, которые трудно не только учесть, но и выявить. Исходя из этого мы дали лишь качественную оценку проведенным экспериментам.

Аналогичные результаты были получены при испытаниях тростниково-осокового торфа $R = 5-10\%$.

Таким образом, опыты свидетельствуют, что коэффициент бокового давления не является величиной постоянной. Величина $\xi = \sigma_3/\sigma_1$ имеет максимум при естественной влаге, однако по мере уплотнения торфяная масса приходит в статическое равновесие, коэффициент бокового давления стабилизируется и стремится сохранять постоянное значение, характерное для данного торфа. Если производить нагружение постепенно с малой интенсивностью, коэффициент ξ может не

иметь максимума, а следовательно, не будет пиков на графиках $\sigma_3 = f\left(\frac{V}{t}\right)$. В этом случае процесс перестройки структуры происходит медленно, сообразно действию внешней нагрузки.

Режим нагружения торфа при уплотнении играет существенную роль. С точки зрения торфяного основания под нагрузкой наиболее невыгодно мгновенное нагружение и, напротив, наиболее выгодно — медленное, постепенное увеличение удельной нагрузки. Однако сжатые сроки строительства часто исключают возможность медленного нагружения, поэтому необходимо знать оптимальные нагрузки, не позволяющие торфяному основанию разрушиться, но способствующие быстрому уплотнению грунта. Проведенные нами исследования позволяют сделать вывод о необходимости проведения массовых испытаний с различными видами торфа и разными степенями разложения с тем, чтобы довести результаты до уровня номограмм. Это позволит не только прогнозировать оптимальные величины уплотняющих нагрузок, но и оценивать состояние грунта под сооружением.

УДК 628.112.24

Н.И.Березовский,
И.М.Шаталов (БГПА)

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Для проведения испытаний цельных труб и труб с малыми отверстиями, изготовленных из полиэтилена низкого давления высокой плотности, определения допустимых усилий сжатия, а также проверки релаксационных способностей труб применялся модернизированный винтовой динамометрический пресс ДМ-30М. Он состоит из установочного механизма перемещения с динамометрическим кольцом и индикатором часового типа, силоизмерительного устройства, станины, поперечины и двух цилиндрических стоек, между которыми закреплялись полиэтиленовые трубы со сквозными диаметрами отверстий на поверхности от 10 до 27 мм. Это дало возможность получить различную связанность труб — от нуля (труба без отверстий) до 16,63 %. Связанность опре-

делялась как отношение общей площади поверхности отверстий на трубе (S_2) к ее поверхности (S_{TP}), выраженное в процентах. Для увеличения фильтрационной способности некоторые трубы были выполнены с фаской. Это позволило увеличить их скважность от $C = 1,86\%$ до $C = 15,63\%$, не ухудшая прочностных свойств.

Испытывались трубы с наружным диаметром $D_{нар.} = 160$ мм и внутренним $D_{вн.} = 140$ мм (толщина 10 мм). Проверка прочностных свойств труб с $D_{нар.} = 200$ мм показала, что допускаемая деформация трубы (20 %) происходила при нагрузке $P = 2625$ Н (коэффициент увеличения нагрузки составил 16 %).

В табл. I представлены результаты испытаний труб ($D_{нар.} = 160$ мм) при статическом радиальном нагружении через 500 Н с интервалом времени 10, 40, 60 и 80 с. Площадь поперечного сечения трубы по наружному диаметру равнялась 201 см^2 . Через 40–60 с после нагружения определялись большая и малая оси эллипса и его площадь поперечного сечения. Следует отметить, что при сжатии трубы не наблюдалось равномерности деформации большой и малой осей эллипса, что определяет различную площадь поперечного сечения труб.

Таблица I

Влияние скважности полиэтиленовых труб ($D_{нар.} = 160$ мм) на их деформацию (мм) при различных статических нагрузках

Статическая нагрузка, Н	Скважность труб, %			
	11,7	5,82	3,49	0
500	5,1	2,8	2,2	1,8
1000	11,8	8,5	7,2	5,8
1500	22,8	17,9	15,6	12,1

Результаты обработки данных показали, что с увеличением скважности труб до 11,7 % их деформация возрастает с 1,8 до 5,1 мм при статической нагрузке $P = 500$ Н, с 5,8 до 11,8 мм при $P = 1000$ Н, с 12,1 до 22,8 мм при $P = 1500$ Н. С двухкратным увеличением нагрузки деформация труб возрастает в 2,3 раза при одинаковой скважности, а с увеличением нагрузки в 3 раза деформация возрастает в 4,47 раза. Можно сделать вывод, что деформация труб наиболее интенсивна в интервале нагрузки 1000–1500 Н, что необходимо учесть при их производственном использовании.

Проведенные на прессе ДМ-30М исследования по релаксации полиэтиленовых труб при максимальной допустимой деформации 17-20 % (от наружного диаметра) приведены в табл.2.

Таблица 2

Опытные данные по остаточной деформации труб ($D_{нар.} = 160\text{мм}$) при максимально допустимой деформации

Сквозность трубы, %	Время остаточной деформации, с	Малая ось эллипса, мм	Большая ось эллипса, мм	Площадь поперечного сечения трубы после деформации, см ²
4,12	0	132,0	176,0	182,4
	20	150,1	169,1	197,8
	45	153,2	166,1	199,4
	90	155,0	165,5	200,7
	135	156,0	164,9	200,9
1,86	0	132,0	176,0	182,4
	20	148,2	169,1	194,4
	45	153,3	165,7	198,1
	90	154,2	164,5	199,5
	135	154,2	164,5	199,5

Из полученных данных следует, что более интенсивной релаксации подвергаются трубы с большей сквозностью. При увеличении сквозности труб в 2,2 раза разница малой и большой оси эллипса труб составляет 1,5-2 %.

Следует отметить, что интенсивной релаксации подвергаются трубы в начальный период снятия статической нагрузки в течение 20 с. Далее изменение размеров трубы и ее сечения идет незначительно (20-100 с). После этого релаксационные явления труб практически не происходят.

ОЧЕРК ГИМАЛАЙСКИХ ОПОЛЗНЕЙ

Значительная часть территории Непала занята Гималайскими хребтами, где весьма часты оползни в период муссонных дождей. В 1991 г. нами детально освидетельствованы оползни по дорогам Катманду-Шарикот и Дхаран-Дханхауга, а также визуально по дорогам Катманду-Хетаупа и Катманду-Похара. Особое внимание было обращено на оползни Чарновати и Калимати, где в это время производились укрепительные работы и имелись данные наблюдений за гидрогеологической обстановкой в период муссонных дождей. Интернациональным центром комплексного развития горных местностей (International Centre For Integrated Mountain Development) - ICIMOD были переданы рекомендации по проблемам риска инженерной деятельности в горных местностях (Manual on Mountain Risk Engineering), составленные ведущими мировыми специалистами оползневедения.

На основании полученных данным нами выполнено сопоставление климатических и гидрогеологических условий Гималаев и Южного Берега Крыма.

Метеорологическое отличие Гималайского региона от Южного Берега Крыма состоит, главным образом, в многократном преобладании атмосферных осадков, а именно: в диапазонах от 2000 до 4000 мм и от 400 до 500 мм в год соответственно. В зависимости от направленности горных гряд Гималаев и экспозиции склонов разница в объемах годовых осадков на небольшом удалении может достигать 1000 мм и более. Круглогодично отмечается высокая влажность воздуха, что в свою очередь поддерживает высокое водосодержание грунтов и горных пород.

Геоморфология Гималаев, кроме высотных отметок, отличается и большей, чем для Крымских гор, крутизной склонов, извилистостью расщелин и ущелий, а соответственно рек и ручьев, с резкими и большими колебаниями уровней и расходов вод в период муссонных дождей. Горные хребты с юга, на подходе к цепи высочайших вершин планеты (Джомолунгма, Аннапурна и др.), преимущественно сложены метаморфическими породами. Наличие слюдяных сланцев и гнейсов делает эти породы легко диветрируемыми и обрушающимися при их обнажениях. У

подножия склонов преобладает коллювий и глыбовый навал, толщи же делювия и пролювия на склонах менее значительны, чем на Южном Берегу Крыма. Сказывается большая крутизна склонов.

На Южном Берегу Крыма оползни в покровных отложениях сопровождаются скольжениями по смоченным струйными потоками ослабленным поверхностям. Фильтрационно-гравитационный фактор там проявляется себя редко. Для гималайских же оползней Непала этот фактор является доминирующим.

Экспедиционное обследование характерных горных оползней Непала, ознакомление с проектами противооползневых мероприятий и изучение представленных ICIMOD материалов дает возможность судить о возбудителях и причинах гималайских оползней.

Анализ показывает, что прежде всего следует учитывать подготовленность к деформациям горных склонов из-за продолжительных муссонных дождей и ливней, начинающихся в марте и заканчивающихся в сентябре ежегодно. Пики муссонов приходятся на июль-август. В это время, как показывают многочисленные пьезометры, водонасыщение грунтов и трещиноватых горных пород охватывает склоны от подножия до их вершины. Естественно, что при подобной пропитке склонов водой основным возбудителем оползней в Гималаях чаще всего выступают проливные муссонные ливни. Их интенсивность может достигать 200-1000 мм за день. Так, например, оползень Калимати произошел ночью 17 июля 1989 г. после ливня, разрушив деревню и похоронив под оползневыми массами 18 человек. Оползень Чарновати также случился летом 1989 г. после ливня.

Во время муссонов по склонам в расселинах, лощинах и ущельях образуются стихийные потоки с большими расходами и резкими сработками бьефов, что сопровождается размывами, обрушениями и оползнями. Подмытые глыбы, двигаясь вниз, наносят сильные удары по насыщенному водой склону, возбуждая локальные реактивные фильтрационные потоки, вызывающие разжижение, вынос и обрушение масс грунта и трещиноватой скалы.

Действия сейсмических волн и колебаний при взрывах, если они совпадают с муссонными периодами, усиливаются в теле водонасыщенных склонов, вследствие чего увеличиваются и фильтрационные воздействия на неустойчивые массы грунтов и скал, побуждая их к оползням и обвалам.

На отметках выше 4000 м в Гималаях нередки ледниковые озера.

Они образуются при перекрестиях русел ледников льдогрунтовыми и конечно-моренными водонасыщенными дамбами, фильтрующими по всей высоте. Прорывам этих озер предшествуют оползания и размывы дамб. Последствия таких прорывов бывают катастрофическими: уничтожаются селения, сносятся мосты, погибают люди и животные. По ходу движения водного потока возникают подсечные оползни склонов и берегов рек. Подмечено, что прорывы ледниковых озер в Гималаях также совпадают с интенсивными муссонами. Из вышеприведенного описания вырисовывается природный фон оползневой обстановки.

Немаловажную роль, как и везде, где обитает человек, в образовании оползней в Гималаях играет антропогенный фактор. Специалисты отмечают, что за последние десятилетия и особенно последние годы оползневая опасность увеличилась из-за стихийной неконтролируемой и в больших масштабах вырубке лесов на склонах гор. Такое положение сложилось при вопиющей экологической безграмотности. Хищнической вырубке лесов способствовали феодальные и полуфеодальные способы хозяйствования при использовании современной техники и технологий.

Взрывные карьерные работы и подрезка склонов до ослабленных зон являются весьма распространенными причинами оползней в горных местностях. В Непале, где ведется интенсивное дорожное строительство, подрезки склонов на дорогах вызывают образование очагов оползания.

Первобытная культура орошаемого земледелия, при которой земельные участки - чеки, располагаемые террасами и подпитываемые водой из головных каналов без защитных одежд, также в определенной мере потенциально определяют оползневую опасность, когда малые деформации склонов то в одном, то в другом месте перерастают в большие оползни.

К антропогенным факторам, вызывающим оползни, относятся также удаление и экскавация осыпей (колювиума) со склонов, колебания от прохождения тяжелых транспортных средств по горным дорогам, особенно в период муссонных дождей. На некоторых дорогах Непала существует правило - прекращать движение на период муссонов.

Во время и после окончания муссонных дождей в горных гималайских местностях во многих местах происходят блокировка, закупорка и заиливание естественных дренажных систем, штолен в скалах стволами деревьев, остатками веток, кустов и травы, глыбами, локальными оползнями, наносами потоков. Такая блокировка естественных дрена-

жей сопровождается быстрым возрастанием напоров в водопроводящих слоях и прослойках, образованием в них сплошных фильтрационных потоков при значительных градиентах напора.

Поверхностные потоки в ущельях и расселинах при больших скоростях движения нередко обладают энергией, способной увлечь за собой обломки скал, которые разрушают дороги, водостоки и экосистемы, подготавливая или провоцируя оползания, оплывания и обрушения склонов.

Крупномасштабные оползни коллювия и аллювия во время продолжительных дождей могут блокировать реки, создавая условия для последующих оползней при резкой сработке естественных бьефов, а незарегулированные потоки дождевых вод смыкают грунт и осыпи со склонов, уничтожая эффект дренажных пригрузок, т.е. подтачивая тем самым устойчивость фильтрующих откосных масс.

Мощным оползневым фактором является возрастание порового давления в отдельных зонах оползневого склона. Так, во время муссонов уровень подземных вод на склонах повышается, что вызывает возрастание положительного порового давления. Естественно, возникают локальные высачивания при выносах цементируемого материала, вымывание частиц из грунта трещиноватой скалы. Высокий напор подземных вод сильно проявляет себя в водопроницаемых прослойках на контактах с водонепроницаемыми поверхностями. Поровое же давление в трещинах растяжения не только расклинивает откосы, но и взвешивает отсеки расчлененных склонов на водонепроницаемых прослойках. При закупорке естественных и искусственных дрен может иметь место опасное возрастание порового давления по потенциальной поверхности сдвига. насыщение водой замкнутого песчаного слоя в глубине слабофильтрующего склона вызывает очень высокое противодавление на вышележащие слои. Смачивание выступающих на поверхность склона слоев пылеватых грунтов приводит к ликвидации капиллярного сцепления и возникновению порового давления. Тогда и имеет место оплывание таких водонасыщенных масс, вытекание пылевато-глинистых прослоек. Землетрясения и содрогания при взрывах могут привести в жидкое состояние тонкозернистый капиллярно-насыщенный грунт, вследствие чего в налегающем скальном массиве появляются трещины, что приближает его к оползанию или обрушению.

Южнее гранитных вершин Высоких Гималаев в горах Непала с их крутыми склонами, высотными отметками и молодым возрастом хребтов более отчетливо, чем в других регионах мира, проявляются оползневые

факторы инженерно-геологического характера. Образованию грандиозных оползней способствует залегание в основаниях склонов и в самих склонах ослабленных трещиноватых метаморфических пород и пластических глинистых слоев. Весьма неустойчивы скальные массивы, пронизанные сетками трещин с углом падения 20° и более в сторону откоса. В местах смятий плоскости сеток трещины объединяются в пространственные оползнеопасные клинья. Расходящиеся трещины при горизонтальном их расположении способствуют обрушениям и опрокидываниям скальных блоков. Выветренность, а в ряде случаев и быстрая выветриваемость скальных массивов и отдельных его слоев — разного рода сланцев, аргеллитов, гнейсов и тому подобных пород обеспечивают зарождение очагов оползневых процессов.

Рыхлый, несвязанный материал осыпей, коллювиума, оползневого делювия у подножия склонов весьма подвижен при насыщениях водой, подмывах, ударах падающих обломков и глыб скальных пород. Скальные глыбы, неустойчиво опертые на склонах, с большой долей вероятности могут сорваться и являются постоянной угрозой для оползневых масс.

Пылевато-глинистая осыпь и оползневый суглинистый делювий, глазом закрывающие подстилающие на склонах скальные массивы, выступают как недренирующие водоупорные поверхностные слои, которые при насыщении водой становятся оползнеопасными. Эти глинистые слои в пластическом состоянии обладают низким коэффициентом трения, легко соскальзывают по скальному дожу. Особенно резко снижается коэффициент трения набухающих глин, чувствительных к изменениям влажности; трещиноватые и недоуплотненные разности этих глин постоянно испытывают на себе действие мигрирующей влаги то в одном, то в другом направлении.

Опасность грандиозных подвижек хранят в себе и стабилизировавшиеся на время древние оползни, могущие активизироваться как от фильтрационного, так и от тектонического факторов, или при их взаимном действии.

В карстовых зонах растворимость скальных грунтов часто сопровождается внезапными обрушениями, провалами и оползнями также в период муссонных дождей.

Из вышеперечисленного неполного перечня факторов вырисовывается достаточно пестрая ситуация гималайских оползней. Каждый из них уникален, но можно констатировать, что в большинстве оползней доминирует гравитационно-фильтрационный фактор движущейся воды.

"ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ"
БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ

В Белоруссии до 1953 г. не было специализированного центра, учебного и научного, который бы систематически занимался вопросами механики грунтов и фундаментостроения.

Преподавание дисциплины "Основания и фундаменты", как перечня практических рекомендаций для инженера-строителя, было сосредоточено на кафедре строительного производства. Вопросы механики грунтов в этом курсе не рассматривались. Чтение курса "Инженерной геологии" осуществляла кафедра "Силикаты" химико-технологического факультета, главным образом в лице доцента Веры Нестеровны Шарай. До начала 50-х гг. практикумы как по механике грунтов, так и по инженерной геологии со студентами строительных специальностей не проводились, хотя уже существовали геотехническая лаборатория при кафедре "Гидротехническое строительство" и лаборатория "Минералогия и кристаллография" при кафедре "Силикаты". Первые практикумы по этим дисциплинам стали проводиться с 1951 г. на гидротехническом факультете.

Главным назначением геотехнической лаборатории в то время было обслуживание нужд производства, проектных и строительных организаций. Следует отметить заслуги первого руководителя этой лаборатории доцента С.П. Михайлова при ее создании и налаживании тесной связи с производством.

Чтение курса "Механика грунтов, основания и фундаменты" с проведением лабораторного практикума впервые было осуществлено ассистентом кафедры "Строительные конструкции" Ю.А. Соболевским в 1952 г. студентам 4-го курса специальности "Гидротехническое строительство". Этому курсу уже предшествовало изучение инженерной геологии с выполнением лабораторных работ.

В то время некоторые научные вопросы по механике грунтов и фундаментостроению разрабатывались на кафедрах "Строительная механика", "Гидротехническое строительство", "Строительные конструкции", а применительно к запросам мелиорации и гидротехники - в Белорусском научно-исследовательском институте болотного хозяйства.

К середине 1953 г. было защищено несколько кандидатских диссертаций по механике грунтов, в том числе Ю.А. Соболевским "О го-

горизонтальных смещениях гидротехнических сооружений" и Е.Ф.Винокуровым "Об определении напряжений и осадок в грунтах с наклонным подстилающим слоем", в основу которых были положены концепции теории линейно-деформируемой грунтовой среды.

Таковы основные вехи, предшествовавшие образованию в 1953 г. кафедры "Инженерная геология, основания и фундаменты" – центра геотехники, необходимость которого диктовалась ходом строительства и послевоенного восстановления, ведь гитлеровские скупанты разрушили и сожгли на территории Белоруссии тысячи городов, деревень, промышленных предприятий, больниц, школ и других объектов. Столица Белоруссии – Минск на 84 % лежал в руинах, второй крупный город республики – Витебск на 90 % превращен в развалины.

Организатором и первым заведующим кафедры стал профессор, доктор технических наук М.Ф.Макарович (1891–1963 гг.), долгое время до этого работавший в стенах одного из старейших вузов России – Московском институте инженеров транспорта (МИИТ). Его после пятилетнего пребывания в Воркутинских лагерях ГУЛАГа и последовавшей затем опалы пригласил из Могилева на должность заведующего кафедрой тогдашний ректор БПИ профессор М.В.Дорошевич. Кафедра была создана на базе объединения лабораторий минералогии и кристаллографии с геотехнической. Ее первоначальный профессорско-преподавательский штат состоял из профессора М.Ф.Макаровича, доцента В.Н.Шарай и ассистентов Ю.А.Соболевского и В.В.Цитович; учебно-вспомогательный – из старших лаборантов А.И.Зайцевой и О.Г.Савицкой и препаратора М.В.Садовской. Постоянным работником геотехнической лаборатории по НИСу являлась ст.лаборант Л.П.Сташевская.

Профессором М.Ф.Макаровичем в 1957–58 гг. было организовано, а доцентом Ю.А.Соболевским реализовано руководство преддипломными практиками на строительстве станций Московского метрополитена ("Мир", "ВДНХ", "Университетская", "Вернадского") для студентов строительного факультета БПИ. По результатам этих практик были выполнены и защищены дипломные проекты на тему "Станции метрополитена глубокого заложения". Запомнились слова М.Ф.Макаровича, сказанные им за два десятилетия до начала строительства Минского метро: "Поверьте, в Минске будет свое метро". Следует отметить, что в предвоенные годы профессор М.Ф.Макарович был некоторое время первым и единственным деканом единственного в мире факультета метро. В основу деятельности кафедры М.Ф.Мака-

рочным была заложена традиция, восходящая к отцу советского фундаментастроения, профессору В.К.Дмоховскому - широкая связь с производством, помощь строительству, решение насущных практических вопросов. В разработке научных задач традиция восходит к Н.М.Герсеванову и Д.Е.Польшину - основоположникам советской школы механики грунтов.

Годы начала создания кафедры совпали с периодом, когда страна залечивала раны, нанесенные войной. Вставали из руин города Белоруссии, развернулось строительство в Минске тракторного и автомобильного заводов, сооружались новые промышленные комплексы нефтехимии с городами Новополоцк, Солигорск, Светлогорск. Кафедра живо откликалась на запросы производства. С первых дней своего образования кафедра "Основания, фундаменты и инженерная геология" поддерживала тесную связь с производством и строительными организациями. Мало найдется в Белоруссии крупных промышленных объектов илистроек, в которых не участвовала бы кафедра - в экспертизах, заключениях или консультациях по вопросам оснований и фундаментов, производству работ или выяснению причин аварий и деформаций сооружений.

Кафедра принимала участие в работе государственной комиссии по приемке объектов Новополоцкого нефтеперерабатывающего завода, в выборе площадки для Новополоцкого химического комбината, обследованию оснований и фундаментов Лукомльской, Могилевской и Бобруйской ГРЭС, консультациях объектов Солигорских калийных комбинатов, Светлогорского завода искусственного волокна, Минских тракторного и автомобильного заводов и ряда других промышленных, гражданских, гидротехнических и дорожных объектов.

За 40 лет существования кафедра подготовила несколько тысяч заключений и экспертиз. Значительный размах получила работа по хозяйственным договорам. За это время выполнены темы: "Исследование устойчивости фильтрующих откосов", "Исследование несущей способности оснований фундаментов линий электропередачи", "Внедрение прогрессивных технологий фундаментастроения для условий Минска и Белоруссии", "Использование метода "стена в грунте" и буроинъекционных анкеров в метростроении", "Анкерная противооползневая защита" (территория санатория "Белоруссия" в Мисхоре, Южный берег Крыма) и др. Выполнение хозяйственной тематики стимулировало научно-исследовательскую работу и по госбюджетному плану, в особенности при написании диссертационных работ.

Под руководством профессора М.Ф.Макарочкина было начато систематическое изучение региональных свойств грунтов в Белоруссии. Н.И.Ловыгиним была выполнена первая такая работа (1958 г.) и защищена кандидатская диссертация "Исследование строительных свойств лессовидных грунтов Белоруссии".

В последующем изучению подверглись моренные и песчаные грунты ленточные отложения севера Белоруссии (И.Г.Лукинская, 1972г.), в определенной мере торфы и заторфованные грунты, а также мергели. Строительные свойства моренных грунтов исследовали Е.Ф.Винокуров и его школа. Деформативные и прочностные свойства песчаных грунтов изучали А.Г.Петрович, И.А.Голубев и Л.К.Морозова.

Появление зданий с новыми конструктивными схемами, широкое внедрение сборных фундаментов, а также крупнопанельного домостроения потребовало организации в стране массовых наблюдений за осадками зданий. В эту работу включилась и кафедра "Основания, фундаменты и инженерная геология" БПИ. По заданию Госстроя БССР в течение десяти лет (1956-1966) проводились наблюдения за осадками зданий. Данные, полученные в процессе этих наблюдений, были использованы для составления таблиц предельно допустимых деформаций оснований в главах СНиП по проектированию естественных оснований зданий и сооружений.

Наблюдения за осадками послужили более углубленному изучению строительных свойств грунтов как оснований сооружений. Исследования механических свойств, дополненные наблюдениями за осадками зданий, дали материал для написания диссертационных работ. Так, в 1958 г. Л.К.Морозова, а в 1970 г. И.А.Голубев защитили кандидатские диссертации "К вопросу расчета зданий на сжимаемых основаниях" и "Исследование прочностных и деформационных свойств песчаных оснований территории БССР".

Кафедра продолжала работу и по исследованию горизонтальных смещений сооружений. Кандидатская диссертация на тему "К исследованию конечных горизонтальных перемещений напорных сооружений" была защищена С.Н.Яголковским в 1966 г.

Следует отметить, что метод определения горизонтальных смещений подпорных гидротехнических сооружений, разработанный и защищенный в кандидатской диссертации Ю.А.Соболевским в 1953 г., был включен в 1976 г. в СНиП II 16-76 "Основания гидротехнических сооружений".

Кроме аспирантов при кафедре проводили исследования и соискатели

тели. Так, М.Н.Борзенко изучал вопросы строительства сооружений на торфах и заторфованных грунтах. Им опубликован ряд статей по этому вопросу, обобщен большой материал, отражающий опыт строительства в Белоруссии сооружений на погребенных торфах. Впоследствии он занялся оптическим моделированием оснований и фундаментов и достиг значительных успехов.

В то же время ряд сотрудников и аспирантов кафедры занимались исследованием эффективности новых конструкций фундаментов. В результате М.А.Ситниковым была защищена в 1959 г. кандидатская диссертация "Некоторые вопросы индустриализации фундаментостроения зданий".

С учетом потребностей энергетического строительства кафедра выполнила значительный объем хозяйственных работ по исследованию устойчивости фундаментов опор линий электропередачи. Это время ознаменовалось тесным сотрудничеством с НИИ оснований и подземных сооружений (г.Москва) и широким привлечением студентов к полевым и экспериментальным работам. В результате были защищены кандидатские диссертации "Исследование вопроса устойчивости свободных стоек опор линий электропередачи" (М.И.Никитенко, 1971 г.), "Исследование устойчивости оснований наклонных анкерных плит" (И.А. Жезницкий, 1973 г.), "Исследование работы оснований распорных анкерных фундаментов" (В.Н.Суходоэв, 1975 г.).

Благодаря этим работам на кафедре был предложен и развит метод приближенного моделирования для расчета оснований фундаментов по деформациям и несущей способности, согласно принципу, высказанному Д.Е.Польшиным в 50-х гг. Этот метод, доложенный на республиканской научно-технической конференции "Проблемы применения рациональных конструкций фундаментов в условиях Белорусской ССР (г.Витебск, 27-28 мая 1976 г.), был включен в труды IX Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению, состоявшегося в Токио в 1977 г., а также опубликован в ряде чехословацких и отечественных журналов.

50-е годы совпали с окончанием восстановления разрушенной войной гидромелиоративной сети Белоруссии и началом широкого фронта механизированных работ по устройству новых осушительных систем. Начиная с 1955 г. кафедра активно включилась в изучение проблем мелиоративного строительства, в частности, устойчивости фильтрующих откосов. Через исследования устойчивости фильтрующих откосов осушительных каналов кафедра была вовлечена в дискуссию по корен-

ным вопросам сельскохозяйственной мелиорации: отдать ли предпочтение упрощенной схеме мелиорации или утвердиться на принципе прочной мелиорации. Кафедра безоговорочно приняла сторону последнего. В связи с этим 7-10 октября 1969 г. в Минске было организовано Всесоюзное совещание "Устойчивость фильтрующих откосов", опубликованы многочисленные статьи сотрудников кафедры. Этой проблеме посвящены также монографии Ю.А.Соболевского "Устойчивость откосов мелиоративных каналов" (1965 г.) и "Водонасыщенные откосы и основания" (1975 г.). В них с помощью законов механики грунтов доказывалась необходимость креплений даже невысоких откосов мелиоративных каналов. Сотрудники кафедры Ю.А.Соболевский и Н.Н. Баранов приняли также участие в составлении "Докладной записки по результатам экспедиционного обследования креплений каналов осушительных систем в Белорусской ССР, Литовской ССР и Латвийской ССР", в которой обосновывались основные положения по обеспечению устойчивости фильтрующих откосов.

Все эти усилия завершились тем, что закрепление откосов мелиоративных каналов осушительных систем в Белоруссии стало практикой, что было важно и своевременно в связи с принятием в 1972г. схемы двойного регулирования грунтового потока и строительством осушительно-увлажнительных гидромелиоративных систем.

По проблеме устойчивости водонасыщенных грунтовых масс были защищены в 1968 г. докторская диссертация Ю.А.Соболевским "Исследование устойчивости откосов мелиоративных каналов", а также кандидатские диссертации: "Устойчивость поперечного сечения канала с учетом фильтрационной консолидации основания" (Ю.В.Сапунов, 1969г.), "Исследование несущей способности быстрозагружаемых анизотропных по водопроницаемости оснований" (В.А.Рыжков, 1973 г.), "Влияние фильтрационных сил на устойчивость откосов и оснований" (Н.Н.Баранов; 1975г.), "Протекание осадок дорожных насыпей на слабых водонасыщенных грунтах" (Н.Д.Банников, 1982 г.).

На кафедре под руководством профессора Ю.А.Соболевского был решен значительный круг задач по исследованию напряженно-деформированного состояния водонасыщенных анизотропных по фильтрации оснований при их нагружениях полосовой нагрузкой. Задачи решались на основе постулатов Н.М.Герсеванова, Д.Е.Польшина, В.А.Флорина и Карла Терцаги с использованием теории функций комплексного переменного, введенного в практику теории упругости в 1906 г. Г.В. Колосовым. Через исследования В.А.Рыжкова, П.И.Харитоненко (1973г.),

Н.Д.Банникова, аспиранта из Сирии Фуада Иссы Аль-Джауабри, защитившего в 1985 г. кандидатскую диссертацию "Напряженное состояние и развитие деформаций анизотропных по водопроницаемости оснований с недренирующей поверхностью загрузки" и С.В.Соболевского, защитившего в 1993 г. кандидатскую диссертацию "Несущая способность водонасыщенных оснований мелiorативных сооружений", оформилось теоретическое направление мировой значимости для механики грунтов, где предназначено учитывать фильтрационную анизотропию оснований при нагружениях; оно проявит себя в будущем при решении задач консолидации и предельного состояния грунтов.

В 70-е и последующие годы кафедрой (Ю.А.Соболевский, Н.Н.Баранов) выполнен ряд важнейших научно-практических разработок:

- 1970-1972 гг. - рекомендации по устранению разрушений аэротенков Минской станции аэрации в д.Шабаны (девятой однотипной аварии в СНГ); послужили прекращению повторений подобных аварий на всей территории страны;

- 1973-1974 гг. - кафедра (совместно с Укржгидропроектом) участвовала в работах по обеспечению устойчивости откосов гидротвала "Березовый Лог" для складирования вскрышных пород Лебединского и Южно-Лебединского карьеров Курской магнитной аномалии.

Карьер имел высоту более 60 м над тальвегом оврага и емкость более 120 млн. м³ складированного водонасыщенного зыбкого грунта. Нависла реальная опасность огромного оползня. Под угрозой находились поселок, ТЭЦ г.Губкина, шоссеиная дорога Москва-Симферополь. Дренажные мероприятия, рекомендованные кафедрой, позволили не только предотвратить катастрофу, но и способствовали ускоренной консолидации грунта на площади более 10 кв.км. Появилась возможность использовать площади гидротвала для последующего намыва пород до высоты 100 м с доведением расчетного его объема до 200-220 млн.м³;

- 1981-1982 гг. - обоснована возможность проходки тоннелей в русловых отложениях под рекой Свислочь - впервые в мировой практике тоннелестроения под защитой только водопонижения взамен искусственного закрепления или замораживания грунтов (совместно с Минскметростроем).

По тематике устойчивости водонасыщенных грунтовых масс кафедра выступает и в международном плане, а именно: на Интернациональном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению (Москва, 1973), на первой и четвертой (1974) Дунайско-Европейских конферен-

циях по механике грунтов и фундаментостроению, на I-й Международной конференции по применению синтетических тканей в геотехнике "Грунты и текстиль" в Париже (1977).

Кафедра является активным проводником новейших технологий в фундаментостроении и подземном строительстве в Белоруссии. Еще в 1972 г., опираясь на достижения института ВНИИГС (г. Ленинград), через трест "Промбурвод" и спецтрест № 14 "Спецстрой" Минпромстроя БССР с помощью виброкомплексов было осуществлено изготовление буронабивных свай. Это же оборудование было использовано в 1976 г. для выполнения подземной части вычислительного центра Минжилкомхоза БССР методом "стена в грунте" по способу секущихся скважин в соответствии с разработанным кафедрой проектом. Здесь были реализованы рекомендации института ВНИИГС по вибрационной подводной укладке малоподвижных бетонных смесей, что в дальнейшем обеспечивало высокое качество конструкций, выполняемых по методу "стена в грунте".

В канун 1975 г. на имя первого секретаря ЦК КПБ П. М. Машерова профессором Ю. А. Соболевским была направлена "Докладная записка о применении метода "стена в грунте" при подземном строительстве", где, в частности, было сказано: "Строительство подземных сооружений и метрополитена на трассе мелкого заложения в сложных инженерно-геологических условиях г. Минска наиболее эффективно может быть произведено методом "стена в грунте". "Записка" получила одобрение, была выделена валюта для приобретения импортной техники для ведения работ по технологии "стена в грунте" и буроинъекционного анкерования. В системе комбината "Минкстрой" были организованы подразделения для ведения работ по этим технологиям. Научное обеспечение (вплоть до составления проектов) приняла на себя кафедра "Основания, фундаменты и инженерная геология" БГПА.

Кафедрой и комбинатом "Минкстрой" в 1977 г. была составлена "Временная инструкция по технологии устройства траншейных стен (метод "стена в грунте)", которая была утверждена в качестве Республиканских строительных норм (РСН-20-77). Позже, через десять лет, эта инструкция была переработана и дополнена кафедрой и ныне действует как РСН-20-87. "Проектирование и устройство траншейных и свайных стен методом "стена в грунте".

Весь десятилетний промежуток времени был заполнен семинарами, консультациями, проектами и непосредственным руководством на стройках по технологиям метода "стена в грунте", буроинъекционных анкеров и свай.

Кафедра в лице его заведующего профессора Ю.А.Соболевского, начальника Минскметростроя А.А.Прокудина и начальника Дирекции строящегося метрополитена в г.Минске Ю.И.Коломыйца взяли на себя ответственность за возведение объектов по трассе первого участка I-й линии метрополитена методом "стена в грунте". Опыт оказался удачным, особенно при выполнении порталной стенки вентсбойки с двумя отверстиями для выхода проходческих щитов. В настоящее время в Минске пять станций метрополитена ("Площадь Независимости", "Восток", "Тракторный завод", "Купаловская" и "Фрунзенская") выполнены по технологии метода "стена в грунте" с креплениями из буроинъекционных анкеров. Еще четыре станции в работе: "Молодежная", "Пушкинская", "Партизанская" и "Автозаводская". Проектируются применительно к этому методу и другие станции на продолжениях первой и второй линий. Минскметрострой стал лидером в СНГ по применению метода "стена в грунте".

Преимущества и достоинства этих передовых технологий в полной мере проявили себя в 1987-1989 гг., когда проходка трассы метрополитена выполнялась в историческом центре города. Тогда кафедра взяла на себя руководство работами по спасению памятников архитектуры. Проходка ознаменовалась спасением архитектурного облика центра Минска (жилище дома по ул.Энгельса и здания театра им.Я.Купалы, Облсовпрофа - бывшего Бернардинского женского монастыря, Свято-Духова кафедрального собора XVII в.).

Усилиями кафедры сфера буроинъекционного анкерования была расширена на другие области строительства в виде буроинъекционных свай для подхватывания аварийных сооружений, устройства решетчатых стенок подземных помещений внутри цехов, отсечных конструкций для исключения влияния проходки тоннелей на близлежащие сооружения; в качестве буроинъекционного уплотнения грунта под зданиями; буроинъекционного упрочнения пят и стволов буронабивных свай.

В связи с этим уместно отметить совместные научные, организационные и проектные работы с Ялтинским отделом Крымского филиала проектного института "Укржгипрокоммунстрой" и минскими участками "Анкерное крепление" по стабилизации оползней с помощью буроинъекционных анкеров на площадках санатория "Белоруссия" в Мисхоре и пансионата "Криворожский Горняк" на грандиозном Кучук-Койском оползне в Крыму. Анкерное крепление оползней распространилось по Южному Берегу Крыма.

К числу объектов, усиленных и реконструированных с примени-

ем буройнъекционной технологии, следует отнести стилобат памятника Победы в Минске, подземные помещения минских автомобильного и тракторного заводов, многоэтажный жилой дом в Волковыске и многие другие объекты.

Весь накопленный кафедрой опыт буройнъекционной технологии аккумулирован в утвержденном Госстроем Республики Беларусь "Пособии по проектированию и устройству буройнъекционных анкеров и свай" (проф. Ю.А.Соболевский и доц.М.И.Никитенко).

Фильтрационный подход к технологиям буройнъекционного изготовления анкеров и свай, оценка их несущей способности с позиций стесненной дилатанции, разработанные кандидатом технических наук Д.Ю.Соболевским для сыпучих грунтов, выводит кафедру на передовые рубежи в практическом применении механики грунтов.

Столь значительный размах научно-исследовательской работы кафедры и ее связи с производством, кроме прямой выгоды народному хозяйству, приносит большую пользу и учебному процессу. За 40 лет существования сотрудниками кафедры опубликовано более 400 статей, 50 методических и учебных пособий. В курсовых проектах получают отражение новые конструкции фундаментов и способы их возведения.

Из года в год повышается уровень учебной инженерно-геологической практики. Поддерживается связь с ведущей изыскательской организацией республики - БелГИИЗом, кафедра использует его объекты для проведения практики. Повышению ее эффективности служит посещение крупных гидротехнических, дорожных и строительных объектов: Вилейско-Минской водной системы, Минского метрополитена и т.п.

Кафедра готовит специалистов высшей квалификации и для зарубежных стран. В Сирии работает выпускник БГПА кандидат технических наук Фуад Исса Аль-Джауабри, в Руанде и Непале - кандидаты технических наук Огьстен Безимана и Лал Судхир Кумар. В настоящее время проходит апробацию кандидатская диссертация аспиранта из Непала Упендры Махата на тему: "Доминантные возбудители гималайских оползней". Тема работы возникла после экспедиции в Непал в 1991 г.

Таким образом, кафедра расширила диапазон исследований фильтрующих откосов от мелиоративных каналов Беларуси до грандиозных гималайских оползней. Подготовлена к опубликованию монография Ю.А.Соболевского "Оползни, водонасыщенные откосы и основания", где собран материал исследований автора и кафедры за 40 лет ее существования.

Заведующий кафедрой, доктор технических наук,
профессор Ю.А.СОБОЛЕВСКИЙ

СОДЕРЖАНИЕ

Масжк В.М., Стычинский Л.К. Водному хозяйству Республики Беларусь – отраслевой статус	3
Синицын Н.В. К расчету пропускной способности водослива двухъярусного водосборного сооружения	6
Соболевский Ю.А., Упендра Махато. Гидродинамика селевых потоков	II
Круглов Г.Г., Сурма Н.В. Дренажи грунтовых плотин из синтетических и утилизированных материалов	23
Кунцевич Н.М., Мурильо Аякс. Низконапорный башенный водосброс с двухъярусной трубой и его пропускная способность	28
Левкевич Е.М. Лабораторные исследования влияния усиленной шероховатости плит покрытий верхних откосов земляных плотин на высоту наката волны	37
Богославчик П.М. Особенности проектирования резервных водосборов с размываемыми вставками	44
Гатилло С.П. Распределение давлений по дну при подтоплении трубчатых сооружений	48
Левкевич Е.М., Сурма Н.В. Крепление земляных откосов гидротехнических сооружений сеткой с усиленной шероховатостью	51
Ширсков В.М. Принципы взаимодействия малых равнинных водохранилищ с окружающим побережьем	57
Валуев В.Е., Волчек А.А. Оценка антропогенного влияния на сток малых рек	64
Левкевич В.Е. Создание и ведение кадастра берегов на основе СУБД "Береговая зона равнинных водохранилищ"	71
Яромский В.Н., Хмельницкая Т.М., Волкова Г.А. Утилизация осадков сточных вод предприятий по переработке молока	77
Будека Ю.Ф., Киселев И.Н., Перковский А.Э. Эффективные способы удаления сульфата кальция из воды	82
Будека Ю.Ф., Киселев И.Н., Перковский А.Э. Вибрационная обработка осадка железо- и сульфатсодержащих сточных вод	85
Хмельевская Г.В., Уласик Т.М. О структуре контакта пылевато-глинистых грунтов и гравийных материалов	90
Чепеленко Т.Н. Уплотнение торфяного грунта	95
Березовский Н.И., Шаталов И.М. Деформационные испытания полиэтиленовых труб	99

Соболевский Ю.А., Упендра Махато. Очерк гималайских оползней	102
40 лет кафедре "Основания, фундаменты и инженерная геология" Белорусской государственной политехнической ака- демии	107

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ВЫП. 20

Редактор Ж.Г.Корбут

Подписано в печать 16.04.93 Формат 60x84 1/16. Бумага тип, №1.
Уч.-изд.л. 6,7. Физ.л. 8,0. Тираж 150 экз. Заказ 121. Цена 15 р.
Отпечатано на ротапринтере БелНИИ мелиорации и луговодства.
Минск, М.Богдановича, 153.