

# Влияние морозного пучения на вертикальные подпорные стенки

**Организация: Московская Государственная Академия Водного Транспорта**

**Авторы: В.Ф. Самарин, профессор, кандидат технических наук; О.Г. Козловский, аспирант.**

**Аннотация: В статье рассматривается воздействие явления морозного пучения на берегоукрепление Канала им. Москвы, выполненное в виде вертикальной железобетонной стенки. Описывается процесс явления морозного пучения, а также существующие меры борьбы с этим явлением при проектировании и строительстве подобного типа конструкций.**



В настоящее время уделяется большое внимание безопасности гидротехнических сооружений, обеспечению их безаварийной эксплуатации.

Среди основных конструктивных элементов портовых и судоходных гидротехнических сооружений - вертикальные подпорные стены, взаимодействующие с водной средой и грунтовым основанием; это стены камер шлюзов, причалы, берегоукрепления и т.д.

По результатам многолетних наблюдений, практики проектирования и строительства подобного типа конструкций, установлено, что большое значение для создания надежной и долговечной в эксплуатации конструкции имеет учет морозного

пучения.

Рассмотрим проявление морозного пучения, основываясь на обследовании крепления участка Канала им. Москвы вертикальной стенкой из железобетонного шпунта, проведенном в 1988г. Государственным институтом проектирования на речном транспорте ("Гипроречтранс", ныне - ОАО "Гипроречтранс"). Было проведено визуальное обследование технического состояния 25-ти километров данного крепления (в навигационный и межнавигационный периоды) с выявлением очагов деформации (наклона) стенки и других ее повреждений.

На характерных участках наклона стенки были проведены детальные обследования. Анализ результатов обследований и материалов инженерных изысканий, проведенный с привлечением института ПНИИИС, позволил установить главную причину наклона стенки – пучение глинистых грунтов основания и обратной засыпки.

Следует подчеркнуть, что шпунтовые стенки широко используются в качестве противо - эрозионной защиты берегов канала от волнения, наряду с креплениями откосов бетонными плитами. Такие конструкции применяются, как правило, в случаях глубоких врезок Канала им. Москвы в рельеф и способствуют сохранению ширины зеркала канала при одновременном поддержании глубины у стенки порядка 1,5 м в навигационный период. В зимний период уровень воды в канале срабатывают на 1,5 м и урез воды практически совпадает с подошвой стенки.

На рассмотренном участке стенка выполнена из железобетонных шпунтин плоского, а на некоторых участках - таврового сечения, омоноличенных по верху железобетонным

шапочным брусом. Длина шпунта - около 4,5 м, глубина забивки - 2,5 м. Таким образом, сводная высота стенки в зимний период не затопливается, а летом возвышается над уровнем воды на 0,5-0,7 м.

По проекту обратная засыпка стенки должна быть заполнена песчаным грунтом с образованием небольшой пешеходной бермы, не рассчитанной на восприятие временных или постоянных нагрузок.

В настоящее время на участках, где основание сложено глинистыми грунтами, стенка наклонена в сторону канала и засыпка просела примерно на 0,6 - 1 м. Отклонение от вертикали достигает 160 (при среднем значении 6-7°). На рисунках 1 и 2 показано отклонение стенки на участке VII Канала им. Москвы (канал №292). На рисунках видно, что верх стенки возвышается над поверхностью бермы более чем на 1,00 м. Также характерна деформация дна на ряде участков, соответствующая глубинному сдвигу грунта в сторону канала, т.е. плавное повышение каменной отсыпки, а затем - понижение отметок по мере удаления от стенки.

Следует подчеркнуть, что на участках, основание которых сложено песчаными грунтами, стенка вертикальна и состояние бермы удовлетворительное, если не считать небольших промоин из-за выноса засыпки через стыки в стенке. На песчаных грунтах основания (Участок VI) деформации отсутствуют (Рис.3).

Рассмотрим причины, которые могли привести к наклону стенки на глинистых основаниях за более чем 20-летний период эксплуатации.

Учитывая, что на песчаных грунтах основания стенка "ведет" себя хорошо, можно считать, что принятое проектное решение не вызывает сомнений. При этом учтено не только взаимодействие стенки с грунтами основания и обратной засыпки, но и влияние сработки уровня воды на 1,5 м в предзимний период.

Характер выявленных многолетних деформаций шпунта на глинистых основаниях позволяет утверждать, что главной их причиной является многолетнее воздействие сезонного промерзания и пучения грунтов, чему способствует сезонный сброс уровня воды в канале (Рис.1 и 3).

В связи с тем, что нормативная литература не предлагает конкретных решений, учитывающих силовое воздействие этого фактора на устойчивость шпунтовых стенок, рассмотрим характер его влияния подробнее. Как известно, устойчивость шпунтовых стенок рассчитывается из условия предельного равновесия сил активного и пассивного давления грунта на конструкцию стенки, с известными запасами по условиям работы и действующим нагрузкам. Превышение расчетных нагрузок, вызванное каким-либо неучтенным фактором, приводит к деформированию (смещению) шпунта, выражающемуся в повороте и сдвиге стенки в сторону равнодействующей всех сил. В то же время, при медленном приложении избыточной нагрузки в грунтовой системе проявляются реологические и релаксационные свойства, смягчающие катастрофические деформации. Однако, накапливаясь за длительный период, они могут достигать значительных величин, при условии, что система не войдет в режим прогрессирующего течения или сдвига, когда происходит их быстрое развитие и разрушение сооружения.

Рассмотрим роль пучения с качественной стороны. Нормативная глубина сезонного промерзания оголенного грунта в районе г. Москвы составляет 1,40 м. В отдельные экстремальные по суровости годы она может достигать 1,8-1,9 м. При этом на величину промерзания грунта влияют суммы градусо-часов отрицательных температур воздуха за зимний период, вид грунта, степень его увлажнения, плотность, близость уровня грунтовых вод, конфигурация и качество поверхности, а также тепловое сопротивление снежного покрова.

Морозное пучение грунта при промерзании обусловлено не только увеличением объема грунта за счет перехода предзимней поровой влаги в лёд (что увеличивает объем грунта лишь на 2-3%), но главное - за счет всасывания в мерзлый грунт дополнительных объемов воды из талой зоны грунта, за счет криогенной миграции влаги в мерзлом грунте.

Последнее может вызывать увеличение исходного объема грунта более чем на 10-20%, и сопровождается образованием ледяных шпиров в промерзшем грунте или другой криогенной текстурой. Наличие внешнего давления на промерзающий грунт или смерзание грунта с заанкеренными конструкциями, каковыми могут быть сваи, шпунт и т.п., уменьшают объемные деформации грунта в прилегающей к ним зоне, однако сами конструкции воспринимают при этом дополнительные касательное и нормальное давление со стороны грунта, величина которых может достигать десятков кг/см<sup>2</sup>. На величину этих сил существенно влияет податливость конструкции в направлении действия сил пучения, а также возможная осадка уплотнения окружающего мерзлый слой талого грунта, снижающие силы пучения.

Наиболее подвержены пучению пылеватые и глинистые грунты, в которых ярко проявляется криогенная миграция влаги при высоком уровне грунтовых вод. Эти условия присутствуют на всех участках деформированной шпунтовой стенки и, бесспорно, ставят сезонное пучение грунта главным фактором дополнительных воздействий, приводящих к наклону стенки. Так, недостаточная заделка шпунта в основание обеспечила его податливость от дополнительных сил пучения в сторону канала. Кроме того, отмеченное возвышение шпунта от 0,1 до 0,4 м объясняется не плохим качеством работы строителей, а выпором шпунта силами морозного пучения со средней интенсивностью от долей до 20 мм за зимний сезон, что является правдоподобной скоростью для рассматриваемых условий. Специфические условия работы стенки ? развитый профиль поверхности; отсутствие снега на лицевой стороне стенки; осушение на зимний период стенки и прилегающего к ней дна; обилие воды в грунтах основания; слабая анкеровка стенки для этих условий, из-за неглубокой забивки шпунта (всего лишь на 2,5 м) - закономерно привели не только к наклону в сторону канала, но и к ее сдвигу в ту же сторону, по той же причине. Подтверждением этого может служить характерный профиль засыпки за шпунтом и дна перед ним.

В данной статье мы не рассматриваем другие дефекты типа вымыва грунта через щели между шпунтинами, размыв дна, трещинообразование, сколы бетона и т.п. Остановимся кратко на развитии сезонного цикла промерзания грунта. С понижением температуры воздуха ниже 0° С также охлаждается и внешний контур сооружения. При этом уровень воды в канале сбрасывается на 1,5 м, открывая стенку и частично обнажая дно с каменной отсыпкой. Промерзание начинается с поверхности грунта вглубь лицевой грани стенки, включая обнаженную часть дна.

Мерзлый грунт является весьма прочным материалом и при достаточной влажности крепко смерзается с влажным материалом шпунта. По мере увеличения суммы градусо-часов толщина слоя мерзлого грунта увеличивается в направлении нормали к охлаждаемой поверхности контура. При этом в зоне активного льдовыделения (зона температур грунта - от -2,5 до -0,5° С) возникает криогенная миграция влаги, сопровождаемая образованием избыточного льда в виде ледяных прослоек в грунте, формирующих специфическую криогенную текстуру.

Выделение льда в мерзлом грунте приводит к увеличению его объема, а при невозможности свободного расширения грунта - к развитию внутренних сил морозного пучения, действующих на контактирующие с мерзлым грунтом конструкции. Задняя грань шпунтовой стенки препятствует свободному расширению грунта в сторону канала, поэтому она испытывает дополнительное давление, приводящее к сверхрасчетной горизонтальной нагрузке на стену.

Процесс промерзания идет не только от стенки, но и со стороны бермы откоса и дна, включая зону ледостава (до глубин 0,4-0,5 м). Ломаный контур сечения дает результирующую равнодействующую сил, направленную из ядра пучения, с подъемом, примерно на 1 метр выше зимнего уровня воды в канале, что создает дополнительный момент относительно реактивных сил зоны защемления. Кроме того, вертикальная составляющая этих сил вызывает постепенное ежегодное "выдергивание" шпунта

смерзшимся с ним грунтом. Результат этих деформаций проявляется в кажущемся сейчас недобое шпунта до проектного положения. При этом в верхней части засыпки закономерно раскрывается (ближе к весне) продольная трещина вдоль контакта со стенкой. Процесс промерзания протекает сравнительно медленно (около 2 см в сутки) и в различных частях основания и засыпки скорости не одинаковы.

При последующем оттаивании промерзших грунтов, начинающемся по контуру разреза в весенний период, вытаивание ледяных включений в грунте дает осадку уплотнения под действием бытового давления. К лету берма дает осадку примерно на величину зимнего приращения объема грунта от пучения и объема, связанного с наклоном стенки в результате деформации. Это проявляется в образовании летом провальной канавы вдоль стенки (песчаная засыпка пазухи ослабляет процесс, т.к. пески практически не пучинисты). Следует отметить, что глинистые грунты после оттаивания сохраняют посткриогенную текстуру, т.е. имеют ослабление сплошности вдоль вытаявших шпиров и коэффициенты фильтрации их возрастают более чем на порядок. При определенных условиях это может приводить к суффозии и выносу оттаявшего грунта в летний период, что усугубляет осадку засыпки.

К сожалению, сложность указанных мерзлотных процессов и их зависимость от многих факторов (метеорологических, инженерно-геологических, гидрологических и конструктивных) не позволяет пока дать методику количественного прогноза их воздействия на гидротехнические сооружения такого типа.

На сегодняшний день основным способом борьбы с морозным пучением является замена грунта области промерзания на менее пучинистый.

В проекте рассмотренного участка крепления канала была предусмотрена замена глинистого грунта на песчаный и ряд других конструктивных решений. Однако, требования проекта не были выполнены, что привело к описанной выше аварийной ситуации. Согласно СНиП 2.06.07-87 обратную засыпку за стенами со стороны тыловой грани следует, как правило, выполнять из несвязных грунтов, обеспечивающих хороший отвод поверхностных, грунтовых и фильтрационных вод, быстропротекающую деформацию засыпки и наименьшую ее осадку, а также исключаящую в ней морозное пучение. При проектировании сооружений, поддерживающих оползневые склоны, для обратной засыпки у тыловой грани следует использовать крупнозернистые проницаемые грунты, обеспечивающие отвод фильтрующей воды. Грунт для засыпки пазух должен выбираться на основании технико-экономических сопоставлений. Рекомендуется применять песчаные и крупнообломочные грунты с содержанием не более 7% фракций до 0.1 мм и не более 5% по весу органических и растворимых включений.

