

Оценка деформационных характеристик берегоукрепительных сооружений из габионных конструкций при взаимодействии с ледовым покровом

В последние годы габионные конструкции в России все более обширно применяются в области гидротехнического строительства, при возведении и реконструкции сложных берегоукрепительных сооружений, строительстве причальных стенок, облицовке дамб, укреплении конусов мостовых переходов, строительстве водопропускных сооружений и ряде других направлений (рис. 1). Однако оценка характера их взаимодействия с ледовым покровом водоемов, особенно в северных регионах России, остается очень актуальным вопросом на сегодняшний день.

Действие ледяного покрова проявляется различно и зависит от многих факторов: длины ледяного поля, толщины льда, слоя снега, температуры и интенсивности ее повышения, коэффициента трения по материалу и грунту, механических свойств льда, колебаний горизонта воды в водоеме, формы водоема и сооружения в плане [1].

В общем случае на откосные сооружения ледяной покров может оказывать различное воздействие: статическое давление от сплошного термического расширения из-за повышения температуры окружающей среды; динамическое воздействие плавающих льдин; вырывающее воздействие, возникающее при изменении уровня воды в водоеме.

Величина ледовой нагрузки, воздействующей на сооружение, прежде всего, зависит от геометрических параметров ледяного образования, степени смерзания в точках контакта обломков слагающих образование (т.е. прочности его структурных связей) скорости его движения [2].

В связи с этим необходимо наиболее полно определить возможные ограничения по их применению в различных условиях окружающей среды, в частности в условиях прямого воздействия на конструкции ледовых полей.

При проектировании берегоукрепительных сооружений с применением габионных конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях с тяжелым ледовым режимом, необходимо учитывать возможность воздействия на них двигающихся ледовых полей, нагрузки от которых могут быть экстремальными.

Если возникают максимально возможные силы сцепления (смерзания) обломков образования, прочность его будет максимальной. То есть в случае применения габионов это и есть расчетный случай.

Максимальное внедрение сооружения в лед X_{\max} в каждом случае имеет характерную зависимость от размеров ледяного поля, массы, свойств и начальной скорости дрейфа. Максимальное внедрение может быть определено из балансового энергетического соотношения [2]:

$$\frac{M_T V^2}{2} = \int_0^{x_{\max}} F_{\text{ice}} dx \quad (1)$$

где,

M_T — масса ледяного поля, т;

V — скорость дрейфа ледяного образования, м/с;

F_{ice} — нагрузка от ледяного поля, кН;

X_{\max} — максимальное возможное внедрение ледяного поля, м.

Для определения пассивного сопротивления обычно принимается расчетная модель предельного равновесия грунта, применяются решения теории предельного равновесия или различного рода приближенные решения, основанные на этой модели.

По мере прорезания набережной поля льда в этом скоплении образуется ограниченный, примыкающий к поверхности габиона, уплотненный объем в виде призмы выпора из упорядоченно ориентированных обломков льда, сдвигающийся далее по образовавшимся поверхностям скольжения. При перемещении стенки возникают силы сопротивления сдвигу, препятствующие выпору.

В результате на передней стенке (границе) берегоукрепительного сооружения возникает все увеличивающаяся реакция обломков льда, которая к моменту выпора всей призмы достигает максимальной величины. Эта реакция носит название пассивного сопротивления, или отпора. Данный физический процесс аналогичен процессу деформации сыпучей среды.

Один из подходов к определению ледовой нагрузки F_{ice} заключается в ее определении по формуле (2), [3,4]:

$$F_{\text{ice}} = F_{b,p} = m k_b k_v R \quad (2)$$

где,

m — коэффициент формы конструкции в плане, определяемый по табл. 29;

k_b — коэффициент смятия, принимаемый по табл. 30;

k_v — коэффициент скорости, принимаемый по табл. 31;

h_c — расчетная толщина консолидированной части, м;

R_c — прочность консолидированной части при сжатии, МПа;

D — ширина сооружения по урезу воздействия льда, м.

Наиболее полный анализ и оценка взаимодействия льда и габионов была выполнена на основании натуральных данных по объекту «Реконструкция ограждающей дамбы г. Томска».

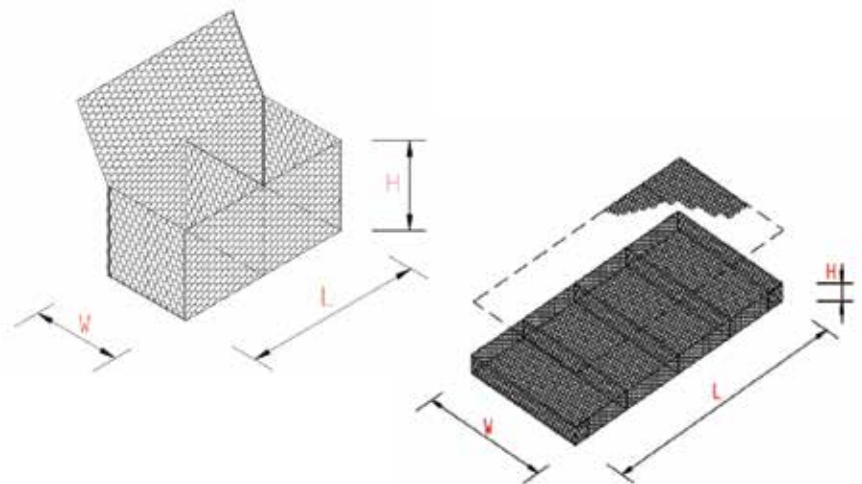


Рис. 1. Общий вид габионных конструкций



Багин А. В.

к. т. н., заместитель
технического директора
ООО «ГАБИОНЫ
МАККАФЕРРИ СНГ»

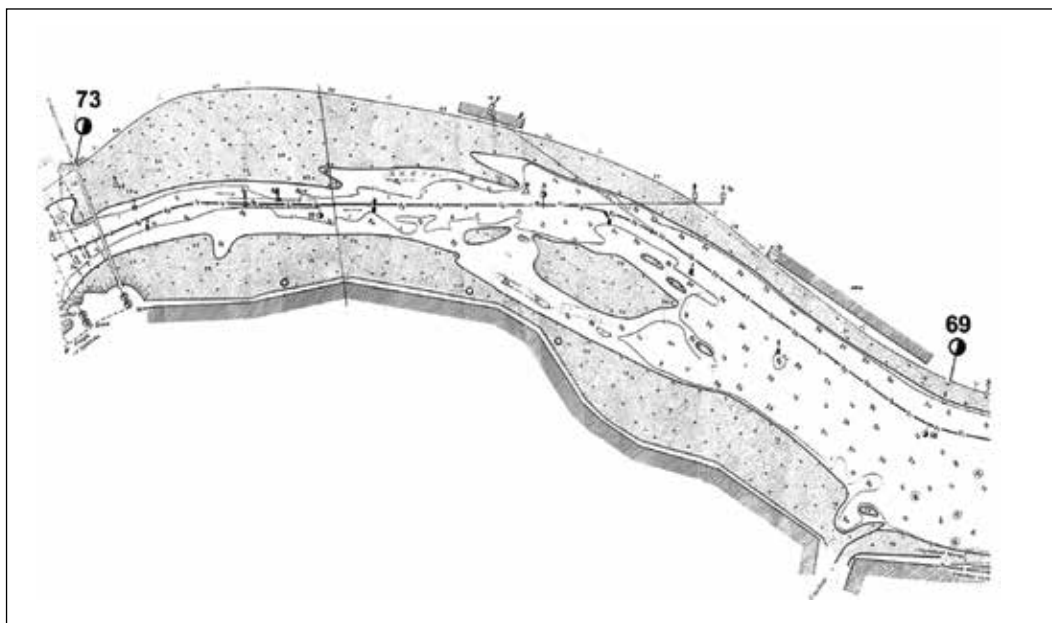


Рис. 2. Участок 73-69 км р. Томи

Город Томск расположен на правом берегу р. Томи в 70 км выше ее впадения в р. Обь (рис.2.). Значительная часть городской территории расположена в пределах правобережной прирусловой поймы на потенциально затопляемых отметках местности и защищена от затопления земляной дамбой, построенной в послевоенные годы. Исследуемый участок р. Томи расположен в пределах Западно-Сибирской низменности в нижнем течении реки. Площадь водосбора составляет 57 800 км².

Климат района работ — резко-континентальный с теплым коротким летом и продолжительной зимой с низкими температурами; атмосферное увлажнение избыточное, многолетняя мерзлота отсутствует, расчетная глубина сезонного промерзания суглинистых почвогрунтов — 2,4 м, супесчаных — 2,2 м. Согласно СНиП 2.04.05–91 «Строительная климатология и геофизика» район изысканий относится к климатическому району 1В, температура наиболее холодной пятидневки составляет 40 С°, средняя температура наиболее холодного месяца — 23,7 С°. С конца 1950-х годов в связи с начавшейся разработкой русловых карьеров и сбросом подогретых вод от предприятий г.Северска существенно изменились морфометрические характеристики русла, термический и ледовый режимы реки от г. Томска до устья р. Томи. В период ледостава на участке Белобородовского плеса наблюдается полынья, и заторы здесь не формируются.

По характеру водного режима р. Томь относится к рекам с весенне-летним половодьем и паводками в теплое время. Основной фазой водного режима является половодье, в период которого проходит 60–90% годового стока и отмечаются максимальные расходы и уровни воды.

Половодье. Начало половодья приходится на середину апреля. Согласованность хода уровней и расходов воды нарушается в период осеннего и весеннего ледохода и на время ледостава. Подъем уровней весной начинается в начале — середине апреля, продолжительность подъема уровней составляет около 30 дней. Максимальные расходы воды наблюдаются в конце апреля — середине мая. Окончание половодья приходится на середину — конец июня. Средняя продолжительность половодья составляет 60–80 дней.

Летне-осенняя межень. После прохождения половодья устанавливается летне-осенняя межень продолжительность три-четыре месяца, с конца июня по октябрь. Наименьшие расходы за период летне-осенней межени наблюдаются в августе-сентябре.

Межень устанавливается в конце октября — начале ноября и продолжается до начала подъема половодья (середина апреля). Наименьший зимний расход зафиксирован в 1934 году.

В пределах изучаемого участка река течет в невысоких берегах, сложенных аллювиальными породами. Пойма двухсторонняя, шириной до 4 км, изобилует протоками и старицами. Преобладающие отметки поверхности поймы 78–80 м БС. На участке проведения изысканий река представляет собой равнинную реку с малыми уклонами, составляющими в межень 0,03–0,05 ‰, а в половодье — от 0,07–0,08‰ на плесе, до 0,2–0,3‰ на перекатных участках. Скорости течения реки в половодье достигают 1,5–2,0 м/с. Выход воды на пойму происходит крайне редко в связи с посадкой уровней, вызванной разработкой русловых карьеров. Правая пойма с расположенными на ней строениями отгорожена от русла защитной дамбой. В межень средняя скорость течения изменяется от 0,8–1,0 м/с на перекатных участках до 0,5–0,8 м/с на плесе.

После очищения реки ото льда подъем уровней продолжается и максимальных отметок уровень достигает в период прохождения максимального расхода воды, в среднем 14–15 мая. Подъем уровня на пике половодья составляет 6–8 м над уровнем зимней межени. Спад половодья в многоводные годы продолжается до середины июля. На спаде половодья и в течение межени возможны колебания уровня воды в пределах до 1–2 м вследствие выпадающих в это время дождей.

Ледостав происходит, как правило, в середине ноября, а ледоход — в третьей декаде апреля. Толщина льда достигает 1,2 м в марте. Под действием тепловых факторов перед ледоходом толщина ледяного покрова уменьшается на 50–70%. Размеры отдельных льдин достигают 30–50 м.

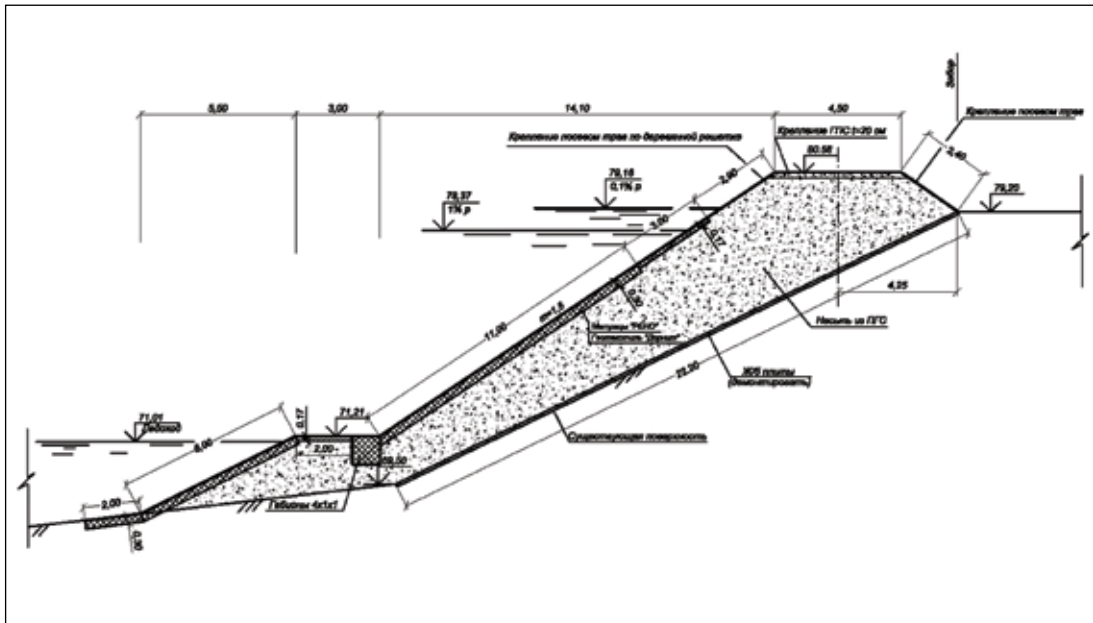


Рис. 3. Типовое поперечное сечение дамбы

Среди рассмотренных вариантов крепления верхнего откоса был рассмотрен вариант крепления откоса дамбы с применением габионных конструкций. Габионные конструкции — это контейнеры из металлической сетки двойного кручения с шестиугольными ячейками, изготовленные из проволоки с антикоррозийным покрытием, наполненные каменным материалом. Габионные конструкции: габионы и матрасно-тюфячные габионы (матрасы «Рено») выпускаются различных размеров в плане и по высоте и применяются для площадного покрытия откосов. Данное крепление выполняется аналогично креплению каменной наброской и также обеспечивает прочность, гибкость, водопроницаемость, долговечность. При этом габионы являются дополнительным армирующим инструментом и более устойчивым к подмывам откоса.

Окончательное техническое решение по защите откосов дамбы предусматривало устройство укладки матрасов Рено по склону с упорным зубом внизу откоса и устройством фартука с заведением его до дна реки. Толщина крепления матрасами «Рено» варьировалась от 0,17 м в верхней части откоса до 0,3 м — низовой откос, размеры коробчатых габионов для устройства упорного зуба составили 4х1х1м (рис.3).

Расчеты общей устойчивости были выполнены по круглоцилиндрическому методу (метод Бишопа) с применением программного комплекса компании «Маккаферри» — MacStars2000. Исходными данными для проведения расчета являлись: инженерно-геологические изыскания (сцепление, угол внутреннего трения, веса грунтов в сухом и водо-насыщенном состоянии); гидрологический режим реки, всевозможные механические нагрузки, сейсмичность.

По результатам выполненного расчета был получен коэффициент общей устойчивости $1.526 > 1.35$, что согласно требованиям, предъявляемым к надежности при проектировании берегозащитных сооружений такого класса, является достаточным (рис. 4).

Эффективность защиты габионными конструкциями матрасного типа при взаимодействии с ледовым покровом необходимо оценивать по трем параметрам:

- на действие вырывающей силы ото льда при изменении уровня воды в водоеме (3, 4);
- на действие вырывающего момента силы ото льда при изменении уровня воды (5);
- на прочность проволоки металлической сетки каркаса габиона.

При этом должно выполняться следующее неравенство, [4]:

$$k \geq k | \quad (3)$$

$$k = \frac{F_{\text{удерж}}}{F_{\text{выдав}}} \quad (4)$$

где, k — коэффициент устойчивости;

$|k|$ — коэффициент запаса ($|k| = 1,1 - 1,3$)

$F_{\text{удерж}}$ — удерживающая сила от габионной структуры, кН/м;

$F_{\text{выдав}}$ — выдавливающая сила от ледового массива;

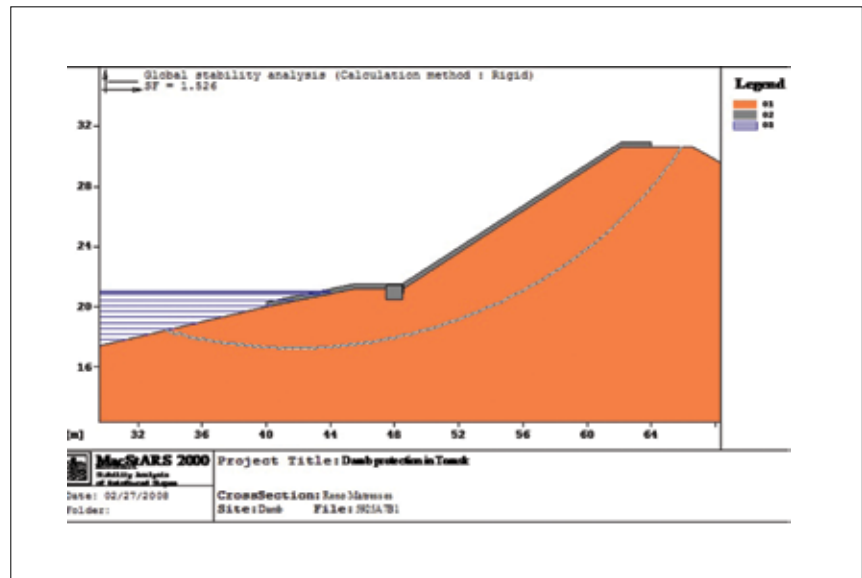


Рис. 4. Расчет общей устойчивости



Рис. 5. Внешний вид дамбы в процессе строительства укрепления откосов матрацами Рено

Действие момента силы определяется по зависимости:

$$k = \frac{M_{отвод_г}}{M_1} \quad (5)$$

где, $M_{отвод_г}$ — момент удерживающих сил, кН*м/м.

Прочность проволоки будет обеспечена, если растягивающие напряжения в ней от действия вырывающей силы льда не превысят допустимых $\sigma_{дон}$:

$$\sigma \leq \sigma_{дон} \quad (6)$$

ВЫВОДЫ:

Применение габионных конструкций по сравнению с каменной наброской позволяет снизить объем камня (ориентировочно на 20–30%) за счет уменьшения толщины крепления откоса и позволяет применять для заполнения габионных конструкций каменный материал окатанной формы и меньшей фракции.

Кроме этого, в период эксплуатации данное крепление позволило избежать самопогружения части каменного материала из каменной наброски в воронку размыва дна русла реки, которое неизбежно при креплении каменной наброской.

При визуальном обследовании крепления откосов Томской дамбы по истечении двух сезонов эксплуатации



Рис.6. Наполнение льда на откосы дамбы. Локальные Повреждения конструкции крепления

были выявлены локальные повреждения конструкций и разрывы отдельных проволок. Была нарушена целостность верхних крышек матрацев Рено, выполненных из сетки двойного кручения. Наибольшие повреждения были получены вследствие наползания ледового поля на откос дамбы, то есть динамического воздействия (рис. 6). При этом значительных горизонтально-вертикальных подвижек конструкций не зафиксировано. Исходя из этого, можно сделать вывод, что габионные конструкции при взаимодействии с ледовыми полями наиболее устойчивы к возникающим сдвигающим моментам и менее устойчивы к динамическому воздействию дрейфующих ледовых образований и наползания ледовых масс на откосную часть крепления.

РЕКОМЕНДАЦИИ:

При проектировании гидротехнических сооружений с применением габионных конструкций в расчетах необходимо учитывать проявление действия дополнительных удерживающих сил:

- вес армирующего каркаса габиона;
- сопротивление сил трения в местах соединения габионов друг с другом (в верхней и нижней частях габиона);
- вес камня в габионе;
- половина веса соседних от расчетного габионов (снизу и сверху);
- вес ледяной призмы над габионом;
- прочность армирования металлической сетки каркаса габиона;

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шабанов А.Д. Крепление напорных земляных откосов. М.: Стройиздат, 1971. 184 с.
2. Тимохов Л.А., Хейсин Д.Е. Монография «Динамика морских льдов» (математические модели). Л.: Гидрометеиздат, 1987. 272 с.
3. Беккер А.Т. Докторская диссертация. Проблема исследований надежности морских сооружений континентального шельфа, 1998.
4. СНиП 2.06.04-82 (1995 г.), взамен СНиП II-57-75. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Госстрой СССР. М.: Стройиздат. 1983. 184 с.
5. Технические указания и альбом типовых конструкций и технологий по защите габионными структурами земляного полотна от размывов / Департамент пути и сооружений МПС РФ: Утв. 28.12.01. ЦПИ №22/32. М.: ИКЦ Академкнига, 2002. 66 с.

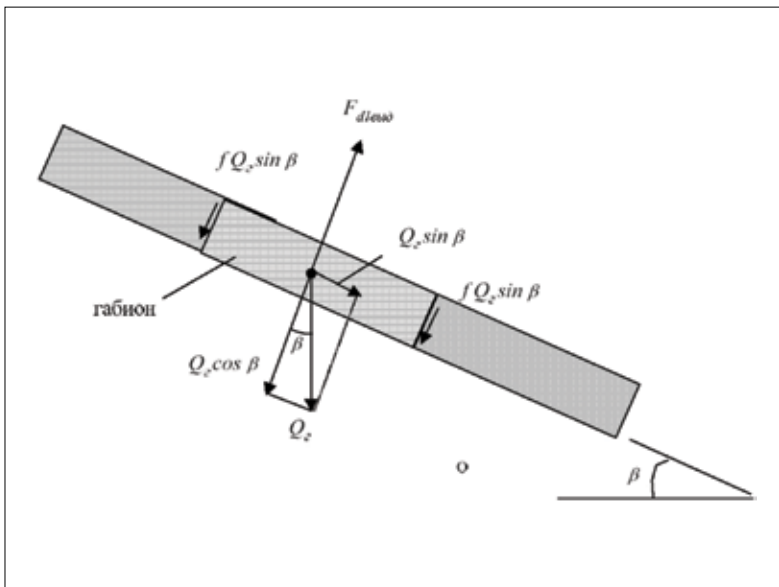


Рис. 7. Схема к расчету укрепления откоса габионами

MACCAFERRI

ООО «ГАБИОНЫ МАККАФЕРРИ СНГ»

115088, Москва,
ул. Шарикоподшипниковская, 13, стр. 62.
Тел.: + 7 (495) 937-58-84
e-mail: info@maccaferri.ru
www.maccaferri.ru

