



Открытое акционерное общество
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
(ОАО ЦНИИС)

**РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ СИММЕТРИЧНЫХ И
АСИММЕТРИЧНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ
ГИБКИХ ЗАЩИТНЫХ БЕТОННЫХ МАТОВ
(УГЗБМ) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ
ПОТОКА ВОДЫ**

Москва 2014

Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский институт транспортного строительства»

(ОАО ЦНИИС)



Образован в июне 1935 г. приказом НКПС (МПС). В 1954 г. передан в состав Минтрансстроя СССР. В 1993 г. преобразован в акционерное общество (ОАО ЦНИИС)

Система менеджмента качества института сертифицирована по международному стандарту ISO 9001: 2008.

Институт имеет мощный кадровый потенциал и многопрофильную научно-экспериментальную базу, позволяющие системно решать проблемы мосто- и тоннелестроения, строительства железных (в том числе их электрификации) и автомобильных дорог, зданий, портовой и береговой гидротехники, инженерной защиты всех видов транспортных сооружений.

Осуществляет научные исследования, стандартизацию и нормирование в области проектирования, строительства и реконструкции транспортных объектов.

Выполняет работы в соответствии со свидетельствами о членстве в саморегулируемых организациях по проведению инженерных изысканий и подготовке проектной документации, строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, с аттестатами аккредитации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ, Министерства труда и социального развития РФ, Федерального агентства железнодорожного транспорта РФ, Федеральной службы за соблюдением законодательства в области охраны культурного наследия, Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки:

- инженерные изыскания и проектирование транспортных объектов;
- обследование технического состояния зданий и сооружений, в том числе объектов культурного и исторического наследия;
- проведение испытаний материалов, изделий, конструкций;
- мониторинг сооружений и природно-технических систем;
- оценка воздействия строительства на окружающую среду;
- технический надзор за строительством.

С 1942 года действуют аспирантура и докторантура, которые на основании лицензии Минобразования осуществляют подготовку научных кадров по специальностям:

- 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины»
- 05.22.06 – «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог»
- 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия»
- 05.23.07 – «Гидротехническое строительство»
- 05.23.11 – «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»

Имеет свою полиграфическую базу

Адрес: ул. Кольская, д.1, г. Москва, Российская Федерация, 129329
e-mail: mail@tsniis.com



СТРУКТУРА ИНСТИТУТА

Филиалы – Научно-исследовательские центры:

- «Мосты»;
- «Тоннели и метрополитены»;
- «Строительно-технологические комплексы»;
- «Морские берега» (г. Сочи).

Центры:

Научно-исследовательские:

- Строительные материалы и изделия;
- Здания.

Испытательные:

- Строительных материалов и продукции строительства («ЦНИИС-ТЕСТ»);
- Охраны труда («ИЦОТ-ЦНИИС»);
- Конструкций и узлов устройств электроснабжения железнодорожного транспорта (ИЦ «ЦНИИС-ЭлЖТ»);

Головной аттестационный по сварочному производству стального мостостроения (филиал «НИЦ «Мость», г. Воронеж).

Органы по сертификации:

- Строительных материалов, изделий и конструкций («ЦНИИСТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ»);
- Работ по охране труда в организациях.

Отделение

- Электрификации железных дорог, СЦБ и связи

Центральные лаборатории:

- Гидротехнического строительства;
- Земляного полотна и верхнего строения пути;
- Инженерной теплофизики;
- Транспортных коммуникаций и экологии.

Тел. 499-180-20-42. Факс: 499-189-72-53
http://tsniis.com

Открытое акционерное общество
«Научно-исследовательский институт
транспортного строительства»
ОАО ЦНИИС

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора,
главный инженер института

д.т.н. профессор



_____ А.А. Цернант

« _____ » июня 2014 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИММЕТРИЧНЫХ И
АСИММЕТРИЧНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ГИБКИХ ЗАЩИТНЫХ
БЕТОННЫХ МАТОВ (УГЗБМ) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ
ПОТОКА ВОДЫ**

Договор № ГС-14-4268

Заведующий центральной лабораторией


гидротехнического строительства, к. т.н.

Н.А. Ефремов


Москва, 2014

ИСПОЛНИТЕЛИ

Заведующий центральной лабораторией
гидротехнического строительства, к.т.н.

 Н.А. Ефремов


Старший научный сотрудник, к.т.н.

 А.Н. Ефремов

Младший научный сотрудник

 В.А. Хитрых

Заместитель начальника инженерно-
конструкторского отдела

 В.С. Метлицкий

РЕФЕРАТ

Отчет содержит 20 страниц текста, 3 таблицы и 4 рисунка.

Ключевые слова: универсальные гибкие защитные бетонные маты, откосы грунтовые, эффективность защиты от размыва потоками воды, волновыми воздействиями, гидравлически транспортируемыми водой предметами.

В работе приведены результаты расчётов сравнительной эффективности применения универсальных гибких защитных бетонных матов (УГЗБМ) симметричной и асимметричной формы, разработанных ООО «Спецпром 1», для защиты от размыва откосов грунтовых сооружений при воздействии на них потоков воды, волн и предметов, гидравлически транспортируемых водой.

На основании результатов расчётов установлено, что УГЗБМ с матами ассиметричной формой конструкции более универсальны и устойчивы к размыву, в сравнении с матами симметричной формы. Маты УГЗБМ ассиметричной формы, в сравнении с матами симметричной формы, при одинаковых габаритных размерах (длине, ширине и высоте) и независимо от типа грунтов основания, более надёжны в эксплуатации и имеют предельно-допустимую скорость размыва не менее чем на 12 % превышающую для матов УГЗБМ симметричной формы.

Результаты работы рекомендуются для применения при проектировании и возведении конструкций защиты от размыва грунтовых откосов гидротехнических, транспортных, промышленных и гражданских сооружений с универсальными гибкими защитными бетонными матами (УГЗБМ), разработанными ООО «Спецпром 1».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Постановка задачи	6
2. Физико-математическое обеспечение задачи	9
3. Примеры расчета устойчивости УГЗБМ различных моделей к воздействию потока воды	12
4. Результаты вычислений и их анализ	17
5. Общие выводы и рекомендации	19
Список использованной литературы	20

Введение

В строительстве известны различные конструкции покрытий из гибких плит для защиты грунтовых откосов гидротехнических сооружений от разрушающих воздействий потоков воды, волн, предметов, транспортируемых потоками воды, в числе которых покрытия из УГЗБМ ООО «Спецпром 1» входят в число наиболее эффективных, надёжных и безопасных.

Универсальные Гибкие Защитные Бетонные Маты (УГЗБМ) применяют для защиты от размыва грунтов подводных переходов трубопроводов, опор мостов, гребней плотин и дамб, русел рек и каналов, укрепления берегов, защиты дна акваторий портов, при строительстве дорог и в других отраслях хозяйства страны.

В настоящее время серийно выпускаются УГЗБМ различных моделей, в соответствии с ТУ 5859-001-59565714-2012 [1], разработчик ООО «Спецпром 1». Модели УГЗБМ отличаются между собой, в основном, размерами и формой входящих в них бетонных блоков. Серийно выпускаемые симметричные и асимметричные УГЗБМ имеют разные высоты бетонных блоков, разные углы наклона боковых граней и габаритные размеры вершин усеченных пирамид. Вместе с тем, от этих параметров существенно зависит гибкость УГЗБМ и устойчивость при воздействии на него потока воды.

В настоящей работе приводятся результаты сравнительных исследований эффективности применения симметричных и ассиметричных УГЗБМ для защиты русла водотока, их устойчивости к воздействию потока воды при укладке на основания с разными свойствами и разным положением ассиметричных вершин. Эффективность применения симметричных и ассиметричных УГЗБМ определена расчётным путем.

1. Постановка задачи

Для проведения сравнительного анализа из всего спектра производимых серийно моделей УГЗБМ были выбраны две модели, обладающие одинаковыми геометрическими размерами (таблица 1) и отличающиеся только формой бетонных кубиков (симметрией усеченных пирамид относительно общего большего основания):

- асимметричная модель УГЗБМ-405;
- симметричная модель УГЗБМ-305.

Таблица 1

Сравнительные характеристики УГЗБМ

Наименование характеристики	УГЗБМ-405	УГЗБМ-305
<i>Полностью совпадающие (внешние) характеристики</i>		
Длина УГЗБМ, мм	2746	2746
Ширина УГЗБМ, мм	1226	1226
Высота УГЗБМ, мм	150	150
Габаритные размеры большего общего основания, мм	300×300	300×300
Количество бетонных блоков в УГЗБМ, шт	36	36
<i>Не совпадающие (производные) характеристики</i>		
Высота одной усеченной пирамиды, мм	30	75
Высота другой усеченной пирамиды, мм	120	75
Вес одного блока УГЗБМ, кг	22,03	25,17
Габаритные размеры одной вершины усеченной пирамиды, мм	260×260	230×230
Габаритные размеры другой вершины усеченной пирамиды, мм	200×200	230×230
Площадь сечения одного бетонного блока УГЗБМ, м ²	0,0384	0,03975
Угол наклона боковых граней одной пирамиды	33,69°	25,02°
Угол наклона боковых граней другой пирамиды	22,62°	25,02°

Сравнение устойчивости защиты русла водотока, выполненного из симметричных и ассиметричных матов УГЗБМ, к воздействию потока воды проводятся для следующих условий:

Защита матами УГЗБМ дисперсных несвязанных грунтов (легко размываемый грунт, например, песчаный);

Защита матами УГЗБМ дисперсных связанных грунтов (трудно размываемый грунт, например, глинистая поверхность).

Рассматриваются три ситуации:

- для модели симметричного мата УГЗБМ-305;
- для модели ассиметричного мата УГЗБМ-405, уложенного на защищаемую поверхность так, что внизу оказались усеченные пирамиды высотой 120 мм. В дальнейшем такое положение модели УГЗБМ-405 будет именоваться УГЗБМ-405-120низ;
- для модели ассиметричного мата УГЗБМ-405, уложенного на защищаемую поверхность так, что внизу оказались усеченные пирамиды высотой 30 мм. В дальнейшем такое положение модели УГЗБМ-405 будет именоваться УГЗБМ-405-30низ.

На легко размываемых грунтах наблюдается эффект «самопогружения» бетонных блоков, на трудно размываемом грунте – эффект «присасывания».

Эффект «самопогружения» матов связан с процессом вымывания частиц грунта потоком воды, циркулирующим в свободном пространстве между бетонными блоками. Одновременно с вымыванием частиц грунта происходит погружение бетонных блоков в грунт под действием силы тяжести. В результате эффекта «самопогружения» УГЗБМ, над уровнем легко размываемого грунта будет возвышаться только верхняя часть мата - верхняя усеченная пирамида.

При укладке матов на трудно размываемую поверхность наблюдается эффект «присасывания» УГЗБМ к защищаемой поверхности. Этот эффект основан на том, что микродеформация защищаемой поверхности перекрывает все неровности поверхности УГЗБМ и препятствует воздействию гидростатического давления воды на плоскость мата, плотно прилегающей к защищаемому грунту.

Сила гидростатического давления воды прямо пропорциональна площади плотно прижатой к грунту поверхности УГЗБМ и глубине водоема. Необходимо отметить, что эта сила возникает только при плотном прилегании бетонного блока к защищаемой поверхности, например, при укладке УГЗБМ на трудно размываемый глинистый грунт или на

синтетическую ткань, которую используют для полного исключения размыва защищаемого матами грунта.

В расчетах требуется определить максимальную скорость потока воды, который способен сместить (приподнять или сдвинуть) маты УГЗБМ различных моделей.

2. Физико-математическое обеспечение задачи

Для сравнительной оценки устойчивости УГЗБМ к воздействию потока воды необходимо определить все силы, которые действуют на отдельный бетонный блок, находящийся в потоке на защищаемой поверхности в различных положениях.

На любой бетонный блок, находящийся в воде будут действовать следующие силы:

1. Сила тяжести блока G , приложенная в его центре тяжести и направленная вертикально вниз. Эта сила равна его весу.
2. Архимедова подъемная сила P_a , направленная вертикально вверх и приложенная в центре тяжести блока:

$$P_a = \gamma_v V_b, \quad (1)$$

где γ_v - объемный вес воды ($\gamma_v=1000$ кГ/м³); V_b - объем одного блока УГЗБМ.

3. Горизонтальная сила лобового сопротивления F_d , обусловленная гидродинамическим давлением потока воды на бетонный блок:

$$F_d = \rho C_d S \frac{U^2}{2}, \quad (2)$$

где ρ - плотность воды; C_d - коэффициент лобового сопротивления, зависящий от скорости потока, формы обтекаемого тела и состояния его поверхности (примем согласно [2] для скошенного переднего торца бетонного блока $C_d=1,5$); S - площадь миделевого сечения, то есть площадь сечения тела плоскостью, перпендикулярной направлению потока; U - скорость, с которой жидкость воздействует на погруженное в нее тело.

4. Сила гидростатического давления воды на бетонный блок P , направленная вертикально вниз:

$$P = \gamma_v H S_c, \quad (3)$$

где H - глубина воды в потоке; S_c - площадь соприкосновения бетонного блока с подстилающим грунтом.

5. Сила трения бетонного блока о подстилающий грунт $F_{тр}$, равная произведению коэффициента трения на силу нормального давления и направленная горизонтально на встречу скорости движения воды. Для рассматриваемого случая:

$$F_{тр} = f(G + P - P_a), \quad (4)$$

где f - коэффициент трения бетонного блока о подстилающий грунт, значения которого для различных грунтов следующие [3]: мокрые глины $f=0,2$; мокрые суглинки и супеси $f=0,3$; мокрый песок средней крупности $f=0,35$; мокрый гравий и галька $f=0,5$; грунт в скальном основании $f=0,6 \div 0,75$.

6. Сила пассивного отпора грунта $F_{гр}$, действующая в случае погружения УГЗБМ в грунт, определяемая по формуле [4]:

$$F_{гр} = \frac{1}{2} \gamma L t^2 \cdot tg^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2CLt \cdot tg \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \quad (5)$$

где γ - объемный вес грунта; L - средняя длина погруженной в грунт части бетонного блока; t - глубина погружения в грунт бетонного блока; φ - угол внутреннего трения грунта; C - коэффициент сцепления грунта.

Очевидно, что отрыв бетонного блока от дна водотока, скручивание и дрейф полотна УГЗБМ в потоке воды может произойти, если горизонтальная сила лобового сопротивления F_d будет превосходить суммарную силу трения $F_{тр}$ и силу пассивного отпора грунта $F_{гр}$:

$$F_d \geq F_{тр} + F_{гр}. \quad (6)$$

Подставляя найденные значения сил из этого соотношения можно найти предельную скорость потока, способную оторвать от дна бетонные блоки УГЗБМ:

$$U \geq \sqrt{\frac{2}{\rho C_d S} [f(G + P - P_a) + F_{тр}]} . \quad (7)$$

Найденная скорость является придонной скоростью, то есть скоростью у дна реки. В соответствии с рекомендациями [4] скорость у дна реки составляет порядка 70% средней скорости течения $U_{ср}$, представляющей собой частное от деления общего расхода воды на площадь живого сечения реки. Тогда очевидно, что предельная скорость течения, при которой возможен отрыв УГЗБМ от дна, составляет:

$$U_{ср} = \frac{U}{0,7} = 1,43U . \quad (8)$$

3. Примеры расчета устойчивости УГЗБМ различных моделей к воздействию потока воды

1. В качестве первого примера рассмотрим устойчивость симметричного мата УГЗБМ модели 305, уложенного на легко размываемый грунт (например, песчаный), с заглублением бетонных блоков в грунт на всю высоту нижней пирамиды до её основания. В этом случае при расчете предельной скорости потока по формуле (7) не учитывается сила гидростатического давления воды P , определяемая формулой (3), так как давление воды действует через поры песчаного грунта и препятствует возникновению воды «присасывания» УГЗБМ к защищаемой поверхности.

1. Согласно ТУ сила тяжести одного блока УГЗБМ-305 составляет $G = 25,17$ кг (см. табл. 1);

2. Принимая объёмный вес бетона $\gamma_s = 2400$ кг/м³, а объёмный вес воды $\gamma_o = 1000$ кг/м³ определим архимедову подъемную силу, действующую на бетонный блок:

$$P_a = G \frac{\gamma_o}{\gamma_s} = 25,17 \frac{1000}{2400} = 10,49 \text{ кг.}$$

3. Сила трения бетонного блока о подстилающий грунт

$$F_{\text{тр.}} = f (G - P_a) = 0,35 (25,17 - 10,49) = 5,14 \text{ кг}$$

Здесь коэффициент трения принят равным $f = 0,35$ и соответствующим трению бетонного блока о мокрый песок средней крупности.

4. Определяем силу пассивного грунта по формуле (5):

$$F_{\text{гр.}} = \frac{1}{2} \gamma \cdot l \cdot t^2 \cdot t^2 (45 + \frac{\varphi}{2}) + 2C \cdot l \cdot t \cdot t_g (45 + \frac{\varphi}{2}).$$

При этом принимаем объёмный вес песчаного грунта $\gamma = 2200$ кг/м³; угол вертикального трения $\varphi = 28^\circ$; коэффициент сцепления грунта $C = 0,04$ т/м² = 400 кг/м².

Для УГЗБМ-305 глубина погружения в грунт бетонного блока равна высоте одной усеченной пирамиды, т.е. $t = 75 \text{ мм} = 0,075 \text{ м}$, а средняя длина погруженной в грунт части бетонного блока $L = \frac{300 + 230}{2} = 265 \text{ мм} = 0,265 \text{ м}$.

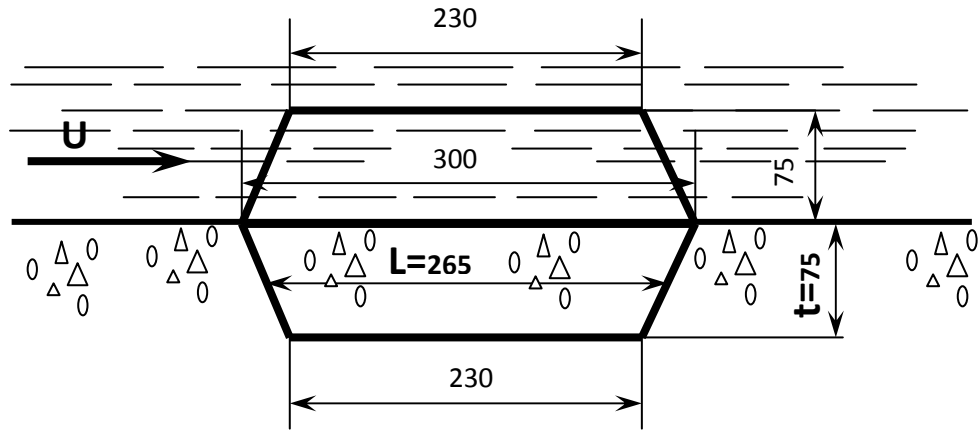


Рис. 1.

Тогда:

$$F_{\text{гр}} = \frac{1}{2} \cdot 2200,0 \cdot 0,265 \cdot 0,075^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45 + \frac{28}{2} \right) + 2 \cdot 400,0 \cdot 0,265 \cdot 0,075 \cdot \text{tg} \left(45 + \frac{28}{2} \right) =$$

$$1,64 \cdot \text{tg}^2 59^\circ + 15,9 \cdot \text{tg} 59^\circ = 1,64 \cdot 1,66^2 + 15,9 \cdot 1,66 = 31 \text{ кг.}$$

5. Площадь миделевого сечения, т.е. площадь сечения бетонного блока, выступающего из грунта, плоскостью перпендикулярной скорости потока, равна:

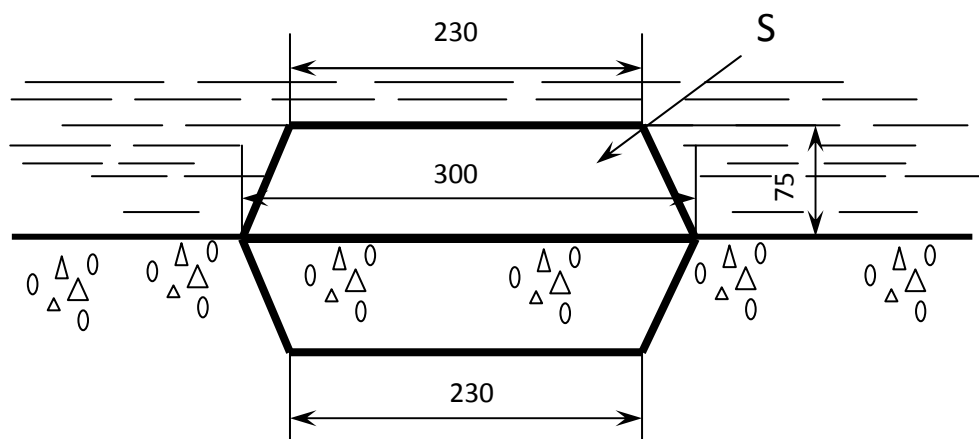


Рис. 2.

$$S = \frac{0,3 + 0,23}{2} \cdot 0,075 = 0,0199 \text{ м}^2.$$

6. Принимая коэффициент лобового сопротивления $C_d = 1,5$ (учитывая скошенный передний торец бетонного блока) и плотность воды

$$\rho = \frac{\gamma_B}{g} = \frac{1000 \text{ кг} / \text{м}^3}{9,81 \text{ м} / \text{с}^2} = 102 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4},$$

по формуле (7) находим предельную скорость потока, способную оторвать от грунта бетонные блоки УГЗБМ:

$$U = \sqrt{\frac{2}{\rho \cdot c_D \cdot S} [f(G - P_a) + F_{zp}]} = \sqrt{\frac{2}{\rho \cdot c_D \cdot S} (F_{mp} + F_{zp})} = \sqrt{\frac{2 \cdot (5,17 + 31)}{102 \cdot 1,5 \cdot 0,0199}} = 4,87 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Средняя скорость движения воды в реке:

$$U_{cp} = 1,43U = 1,43 \cdot 4,87 = 6,97 \text{ м/с}.$$

Все полученные расчетные параметры приведены в табл. 2.

Аналогично проведен расчет устойчивости асимметричного мата УГЗБМ модели 405, уложенного на легко размываемый песчаный грунт.

Например. Для УГЗБМ-405-120 низ имеем:

1. Сила тяжести (вес) $G = 22,03$ кг (табл. 1).
2. Архимедова сила $P_a = \frac{22,03}{2400} \cdot 1000 = 9,18$ кг.
3. Сила трения $F_{тр} = 0,35 \cdot (22,03 - 9,18) = 4,5$ кг.
4. Сила пассивного отпора грунта

$$F_{гр.} = \frac{1}{2} \cdot 2200 \cdot 0,25 \cdot 0,12^2 \text{ tg}^2 59^\circ + 2 \cdot 400 \cdot 0,25 \cdot 0,12 \text{ tg} 59^\circ = 46,41 \text{ кг}.$$

При этом имеем $t = 120 \text{ мм} = 0,12 \text{ м}$; $L = 0,25 \text{ м}$.

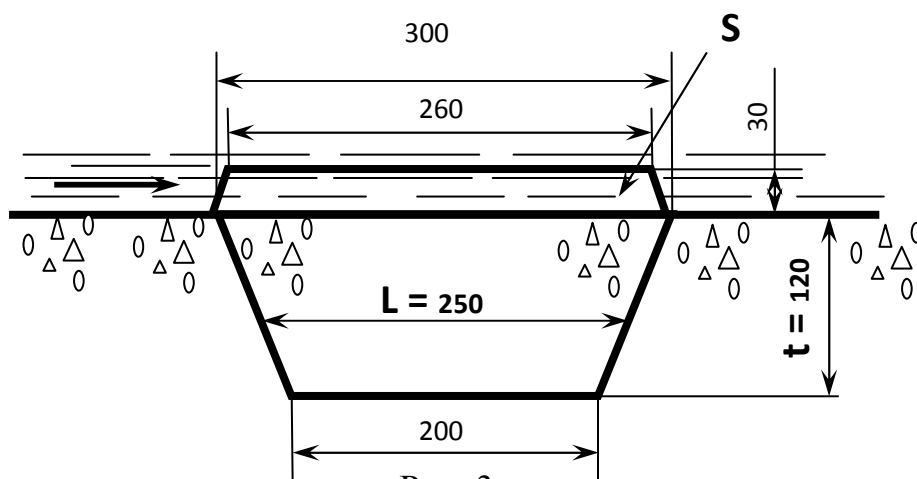


Рис. 3.

5. Площадь миделевого сечения:

$$S = \frac{0,3 + 0,26}{2} \cdot 0,03 = 0,0084 \text{ м}^2$$

6. Предельная скорость потока:

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot (51,2 + 4,5)}{102 \cdot 1,5 \cdot 0,0084}} = 9,3 \text{ м/с}^2,$$

а средняя скорость давления воды в реке

$$U_{ср.} = 1,43 \cdot 9,3 = 13,3 \text{ м/с}$$

Эти данные также приведены в табл. 2.

Так же приведен расчет и для УГЗБМ-405-30 низ

II. В качестве второго примера рассмотрим устойчивость симметричного мата, уложенного на трудно размываемый грунт (например, глинистый) без заглабления бетонных блоков в грунт. В этом случае не учитываем силу пассивного отпора грунта $F_{гр}$, но учитываем силу гидростатического давления воды P , определяемую формулой (3).

Итак, имеем:

1. Сила тяжести блока $G = 25,17 \text{ кг}$;

2. Архимедова сила $P_a = 25,17 \cdot \frac{1000}{2400} = 10,49 \text{ кг}$;

3. Сила гидростатического давления воды на бетонный блок:

$$P = \gamma_{\beta} \cdot H \cdot S_c = 1000 \cdot 2 \cdot 0,0529 = 105,8 \text{ кг}$$

Здесь принято:

$H = 2 \text{ м}$ – глубина реки;

$S_c = 0,23 \text{ м} \cdot 0,23 \text{ м} = 0,0529 \text{ м}^2$ - площадь соприкосновения бетонного блока с подстилающим грунтом;

4. Сила трения бетонного блока о грунт определяется по формуле (4):

$$F_{тр.} = f (G + P - P_a) = 0,2 (25,17 + 105,8 - 10,49) = 24,1 \text{ кг}$$

здесь коэффициент трения бетонного блока по мокрой глине принят $f = 0,2$.

5. Площадь миделевого сечения:

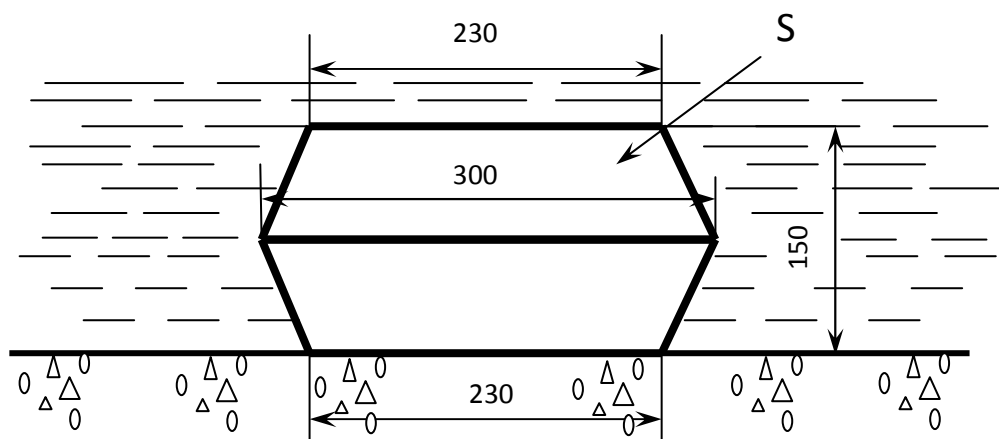


Рис. 4.

$$S = 2 \cdot \frac{(0,3 + 0,23)}{2} \cdot 0,075 = 0,03975 \text{ м}^2$$

6. Предельная скорость потока:

$$U \geq \sqrt{\frac{2}{\rho \cdot C_D \cdot S} \cdot F_{mp}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 24,1}{102 \cdot 1,5 \cdot 0,03975}} = 2,82 \text{ м/с}$$

Эти данные приведены в табл. 3.

Аналогично проведен расчет устойчивости ассиметричных матов УГЗБМ-405-120 низ и УГЗБМ-405-30 низ, результаты которого приведены в табл. 3.

4. Результаты вычислений и их анализ

Результаты проведенных вычислений основных параметров с использованием указанного выше физико-математического обеспечения задачи, приведены в табл. 2 и 3.

В табл. 2 расчетные параметры соответствуют УГЗБМ, уложенным на легко размываемый рыхлый песчано-иловый грунт при заглублении бетонных блоков на всю высоту нижней пирамиды, до ее основания. При расчете предельной скорости потока в этом случае сила гидростатического давления P в формуле (7) не учитывалась, а при определении силы пассивного отпора грунта $F_{гр}$ принимались следующие значения: объемный вес грунта $\gamma=2,2$ т/м³; угол внутреннего трения $\varphi=28^\circ$; коэффициент сцепления грунта $C=0,04$ кг/см², [4]. Коэффициент трения бетонного блока о подстилающий грунт принят равным: $f=0,35$.

Таблица 2

Результаты вычислений сравнительной устойчивости УГЗБМ,
уложенного на легко размываемый грунт

Расчетный параметр	УГЗБМ-305	УГЗБМ-405- 120низ	УГЗБМ-405- 30низ
Площадь миделевого сечения, S , м ²	0,0199	0,0084	0,030
Средняя длина погруженной в грунт части бетонного блока, L , м	0,265	0,250	0,280
Глубина погружения в грунт бетонного блока, t , м	0,075	0,120	0,030
Сила тяжести бетонного блока, G , кг	25,17	22,03	22,03
Архимедова сила, P_a , кг	10,42	9,12	9,12
Сила пассивного отпора грунта, $F_{гр}$, кг	31,00	51,17	11,95
Предельная скорость потока, способная сместить УГЗБМ, $U_{ср}$, м/с	6,97	13,3	3,83

В табл. 3 расчетные параметры соответствуют УГЗБМ, уложенным на трудно размываемом грунте (синтетическая ткань или глинистый грунт) без заглубления бетонных блоков. В этом случае при расчете предельной скорости потока по формуле (7) не учитывалась сила пассивного отпора

грунта $F_{гр}$, а при вычислении силы гидростатического давления P глубина водотока принималась равной $H=2$ м.

Коэффициент трения бетонного блока о подстилающий грунт в этом случае принят равным: $f=0,2$. Необходимо отметить, что примерно такое же значение коэффициента трения будет соответствовать размещению УГЗБМ на полиэтиленовой пленке или синтетической ткани, которые используют для полного исключения размыва грунта, защищенного УГЗБМ. При этом, согласно [3, с. 599] коэффициент трения пленки по песчаному грунту: $f=0,3$, что указывает на то, что устойчивость защиты в этом случае будет определяться сдвигом и отрывом бетонных блоков от пленки или синтетической ткани, а не сдвигом и отрывом ткани от грунта.

Таблица 3

Результаты вычислений сравнительной устойчивости УГЗБМ,
уложенного на трудно размываемый грунт

Расчетный параметр	УГЗБМ-305	УГЗБМ-405-120низ	УГЗБМ-405-30низ
Площадь миделевого сечения, S , м ²	0,03975	0,0384	0,0384
Площадь соприкосновения бетонного блока с подстилающим грунтом, S_c , м ²	0,0529	0,04	0,0686
Сила тяжести бетонного блока, G , кГ	25,17	22,03	22,03
Архимедова сила, P_a , кГ	10,42	9,12	9,12
Сила гидростатического давления воды на бетонный блок при $H=2$ м, P , кГ	105,8	80,0	135,2
Предельная скорость потока, способная сместить УГЗБМ, $U_{ср}$, м/с	4,03	3,60	4,54

5. Общие выводы и рекомендации

Проектирование и возведение защиты от размыва инженерных сооружений с применением матов УГЗБМ ассиметричных моделей обеспечивает более универсальные условия эксплуатации и повышает устойчивость к воздействию потоков воды, в сравнении с матами УГЗБМ симметричных моделей.

Ассиметричные модели матов УГЗБМ, при одинаковых габаритных размерах (длине, ширине, высоте) и независимо от типа грунта основания, выдерживают более высокие эксплуатационные нагрузки, в том числе предельную скорость размыва, не менее чем на 12% превышающую для матов УГЗБМ симметричных моделей.

Ассиметричные модели матов, уложенные большой площадью основания блоков вниз на защищаемую поверхность из трудно размываемых грунтов (глинистые грунты), имеют большую устойчивость к воздействию потока воды, чем маты симметричных моделей.

Ассиметричные модели матов, уложенные меньшей площадью основания (более острой стороной) блоков вниз на защищаемую поверхность из легко размываемых грунтов (песчаные грунты), имеют большую устойчивость к воздействию водяного потока, чем маты симметричных моделей.

Сторону укладки матов ассиметричных моделей на защищаемую от размыва поверхность рекомендуется определять в зависимости от свойств грунта защищаемой поверхности и плотности охвата грунтом профиля мата.

Список использованной литературы

1. Универсальный гибкий защитный бетонный мат (УГЗБМ) // ТУ 5859-001-59565714-2012. –Воронеж: ООО «Спецпром 1», 2012 – 40с.
2. Примеры расчетов по гидравлике. Под ред. А.Д. Альтшуля. – М.: Стройиздат, 1976 – 255с.
3. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 625с.
4. Теоретическое исследование универсальных гибких защитных бетонных матов (УГЗБМ). Гидравлические расчеты // Технический отчет по договору №09/07-51. – Воронеж, 2007 – 47с.