

Повышение устойчивости оснований мобильных дамб для инженерной защиты зданий от затопления

К.т.н., профессор Д.В. Кашарин;
аспирант Тхай Тъи Тхи Ким,*

*ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский Политехнический Институт)»*

Ключевые слова: устойчивость оснований; инженерная защита; мобильные дамбы; защита от затопления; биопозитивные конструкции

В связи с изменением климатических условий, а также из-за хозяйственной деятельности на водосборе в Российской Федерации увеличивается площадь территорий, подвергающихся регулярному затоплению. На них расположено более трехсот городов, десятки тысяч малых населенных пунктов. При этом на затопляемых территориях имеет место просадка и деформация оснований зданий и может произойти их полное или частичное разрушение [1, 2].

Одним из широко используемых методов инженерной защиты от затопления являются дамбы обвалования затопляемые и незатопляемые. За период с 2008 по– 2011 гг. было построено более 400 км дамб обвалования; планируется строительство еще 2000 км, что с учетом нескольких десятков тысяч километров уже существующих дамб позволяет отнести их к самым распространенным и протяженным гидротехническим сооружениям [1, 3, 4].

В настоящее время известны разработанные под руководством проф. Н.В. Арефьева методы оптимизации инженерной защиты земель от затопления и подтопления с помощью грунтовых дамб обвалования. Эти методы основаны на современных подходах к оценке эффективности проектов, которые позволяют определять оптимальное размещение и параметры данных сооружений с использованием геоинформационных систем и анализа предотвращаемых ущербов [5].

Однако снижение объемов эксплуатационных и профилактических мероприятий, нарушение режима использования водных объектов, изменение их гидрологических режимов, а также просадка неоднородных и зачастую слабых грунтов оснований протяженных дамб обвалования, существующих линейно, привело к значительному ухудшению их технического состояния. Кроме того, строительство новых грунтовых дамб обвалования и реконструкция традиционных приводит к уменьшению полезных площадей (особенно на слабых биогенных грунтах и в условиях стесненной застройки). Возникает необходимость усиления основания сооружений с использованием тяжелой строительной техники, что ведет к значительным экономическим затратам и нарушению современных требований к экологической инфраструктуре [6, 7].

В данных условиях использование биопозитивных конструкций из композитных материалов, обладающих таким качеством как мобильность и позволяющих обеспечивать ремонт существующих дамб обвалования, увеличение их высоты, а также локальную защиту зданий в периоды половодий и паводков, является актуальным [7].

Мобильные гидротехнические сооружения из композитных материалов – это конструкции, состоящие из замкнутых и незамкнутых оболочек (или их сочетаний), выполняемых из высокопрочных композитных материалов (например, резинотканевых, резинокордовых и более современных поливинилхлоридных с основой из арамида и кевлара и т. п.), воспринимающих нагрузки при воздействии воды или грунта. В зависимости от протяженности наполнение дамбы при высоте 0,4 м и длине 5 м составляет 3 минуты, а при высоте 3 м и длине 60 м – 180 минут, что особенно важно при возведении дамбы в условиях чрезвычайной ситуации [8–10].

Опыт возведения данных сооружений в нашей стране пока незначителен, поэтому необходимо обобщить имеющиеся расчетные положения, разработать методы их проектирования и создать новые технические решения [3, 10].

В отечественной практике строительства использовались в основном однослойные и двухслойные материалы, обеспечивающие создание напора до 2,5...3 м. Оболочки из данных материалов относятся к тонким, т. е. отношения толщины оболочки h к наименьшему радиусу кривизны R их срединной поверхности не превышает 0,05 [11–13].

Данные оболочки являются безмоментными при соблюдении следующих критериев, предложенных отечественными учеными:

- профессором В.Э. Магула [14]:

$$\frac{f^2}{(1+4 \cdot f^2) \cdot (1-\nu^2)} \cdot \frac{E}{p} \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2 \ll 0.003 (\leq 0.015), \quad (1)$$

где E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; h – толщина оболочки; l – пролет оболочки в плоскости изгиба; $f = F/l$ – относительная стрела прогиба оболочки от нагрузки F ;

- М.Б. Розенталем [12] – при следующем соотношении растягивающего напряжения σ_p и изгибающего напряжения σ_n

$$\sigma_p \geq 12,3 \sigma_n; \quad (2)$$

- профессором В.А. Волосухиным [13] для однослойных и двухслойных оболочек критерий был определен как:

$$\frac{D}{C_p \cdot L^2} \approx 1.10^{-10} \dots 1.10, \quad (3)$$

где $D = \frac{E_n \cdot h^3}{12 \cdot (1-\nu^2)}$, $C_p = \frac{E_p \cdot h}{1-\nu^2}$ – соответственно цилиндрическая жесткость оболочки на изгиб и растяжение, Н, м; L – характерный линейный размер (периметр в поперечном сечении) оболочки, м.

Также по характеристикам выделяют ткани мягкие и гибкие. Для мягких оболочек должны выполняться критерии безопасности изгибов и легкости образования складок [3, 14].

Критерий безопасности изгибов оболочки можно определить по следующей зависимости [14]:

$$\frac{E}{(1-\nu^2)[\sigma_n]} \leq 2 \cdot \frac{R}{h} (\leq 2), \quad (4)$$

где $[\sigma_n]$ – допустимое напряжение в эластичных слоях при изгибе.

Критерий легкости образования складок [11]:

$$\frac{Eh}{(1-\nu^2)[N]_p} \leq \left(\frac{l^2}{h}\right) (\leq 2), \quad (5)$$

где $[N]_p$ – допустимые погонные усилия для материала оболочки.

Для гибких оболочек все приведенные выше критерии безмоментности (1)–(3) соблюдаются. Основным отличием гибких оболочек от мягких является способность сохранять форму при снятии нагрузки, а также для них не выполняются критерии безопасности изгибов (4) легкости складкообразования (5).

Одними из самых важных характеристик материалов данных оболочек являются модуль Юнга E и толщина h .

В связи с этим для определения гидравлических условий работы водоподпорных оболочек необходим их предварительный статический расчет, который приведен ниже.

Кашарин Д.В., Тхай Тъи Тхи Ким. Повышение устойчивости оснований мобильных дамб для инженерной защиты зданий от затопления

Сложность статического расчета мягких оболочек для гидротехнических конструкций состоит в том, что зависимости, описывающие гидродинамические нагрузки и функции, отражающие форму поверхности оболочки и ее напряженно-деформированное состояние, взаимосвязаны неявно. В связи с этим Б.И. Сергеевым было предложено аппроксимировать нагрузку на мягкую оболочку системой линейных функций на расчетных участках, что позволяет с удовлетворительной точностью определить ее форму [8].

Так как для безмоментной оболочки растягивающие усилия значительно выше сдвигающих, ими можно пренебречь (как и весом оболочки), тогда линейную зависимость отношения давления на i -м участке p_i к нормальному погонному усилию N можно представить в следующем виде:

$$\frac{p_i}{N} = 2a_i z + b_i, \quad (6)$$

где a_i и b_i – коэффициенты нагрузки на i -м участке, которые определяются в зависимости от сочетания нагрузок и разности внутреннего и внешнего давления; z – ордината.

Рассмотрим аналитический метод расчета оболочки. Данный метод основан на определении поперечного очертания оболочки с помощью эллипсов Эйлера, которые в системе координат $\xi O \eta$ записываются в виде функции от двух параметров ψ и k^2 [3]:

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \psi}; \quad \eta = E(\psi, k) - (1 - 0,5k^2)F(\psi, k), \quad (7)$$

где $\xi = \frac{z}{f}$; $\eta = \frac{x}{f}$; $\varphi = 2\psi$; f – расстояние наиболее удаленной точки упругой линии от свободной поверхности жидкости (плоскости гидростатического напора); $F(\psi, k)$ – нормальный эллиптический интеграл Лежандра первого рода (неполный); $E(\psi, k)$ – нормальный эллиптический интеграл Лежандра второго рода (неполный);

$$z_{\min}^{\max} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a(C_1 + 1)}}{2a}. \quad (8)$$

Используя формулы (8) и (7), получаем следующее выражение:

$$\sqrt{b^2 - 4a(C_1 + \cos \varphi)} = 2az + b = \frac{p(z)}{N}. \quad (9)$$

Следовательно,

$$p(z) = N \sqrt{b^2 - 4a(C_1 + \cos \varphi)}. \quad (10)$$

Производим интегрирование выражения (10):

$$\int_{z_{\min}}^{z_{\max}} p(z) dz = \int_0^{\pi} N \sin \varphi d\varphi = -\cos \varphi \Big|_0^{\pi} N = 2N.$$

Тогда погонное натяжение можно определить как

$$N = \frac{1}{2} \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} p(z) dz.$$

Расчет проводится для каждого i -го участка. Также с учетом начальных условий определяют постоянные интегрирования C_i . Последующая постоянная интегрирования C_{i+1} определяется абсциссой точки предыдущего участка [8].

С учетом $z=0$ и $\varphi = \varphi_0$ в начале координат имеем $C_i = \mp \cos \varphi_0$. Тогда для двух соседних участков соблюдается условие [3]:

$$\begin{cases} \mp a_i z^2 \mp b_i z \pm C_i = -\cos \varphi_i \\ \pm a_i z^2 \pm b_i z \mp C_i = \cos \varphi_i \end{cases}$$

Постоянная интегрирования для последующего участка окончательно определяется по зависимости:

$$C_{i+1} = C_i \mp (a_i \pm a_{i+1}) z^2 \pm (b_i \mp b_{i+1}) z, \quad (11)$$

где z – граничные точки i -х участков.

По аналогии записывается уравнение для двух соседних участков кривой. Существует более простой метод автоматизированного расчета [3].

Определяется погонное усилие для i -го участка оболочки через шаг Δz_i по ее высоте z :

$$N_i = \frac{p_0 \cdot \sum_i \Delta z_i}{2} + \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot \sum_i \Delta z_i^2, \quad (12)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³.

Рассчитываются коэффициенты нагрузки по зависимостям:

$$a_i = \frac{-\rho \cdot g}{2 \cdot N_i}; \quad b_i = \frac{p_0}{N_i},$$

где p_0 – внутреннее давление в оболочке.

Затем в соответствии с формулами (6) и (12) определяем радиус на каждом i -м участке по следующей формуле:

$$R_i = \frac{1}{2 \cdot a_i \cdot \sum_i \Delta z_i + b_i}. \quad (13)$$

На рис. 1 представлены зависимости очертания мягкой оболочки от внутреннего давления p_0 , построенного по зависимостям (12) и (13) [16].

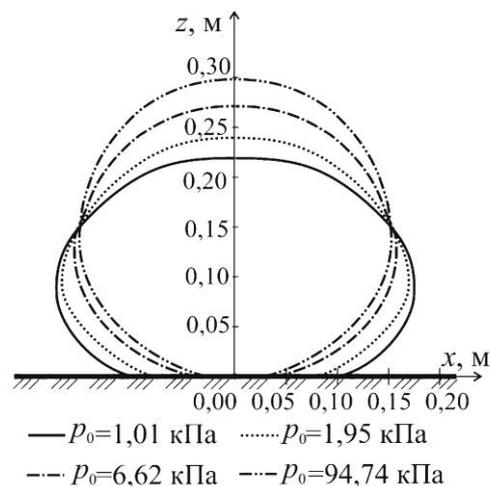


Рисунок 1. Изменение напряженно-деформированного состояния мягкой оболочки с раскрытым диаметром $L = 0,942$ м в зависимости от внутреннего избыточного давления в оболочке p_0

Наиболее важный вопрос – это обеспечение устойчивости мягкой оболочки под действием внешней нагрузки гидростатического давления (рис. 2).

Теоретические исследования по величине прилегания оболочки к основанию B на основе аналитического метода по зависимостям (7)–(10) были проведены Намиасом в 1985 г. и усовершенствованы английскими учеными Плаутом и Сухерманом в 1997 г. [17–21]. Схема дамбы показана на рис. 2. При этом учитывалось, что оболочка устанавливается на жестком горизонтальном основании, она нерастяжимая, невесомая и наполняется несжимаемой жидкостью.

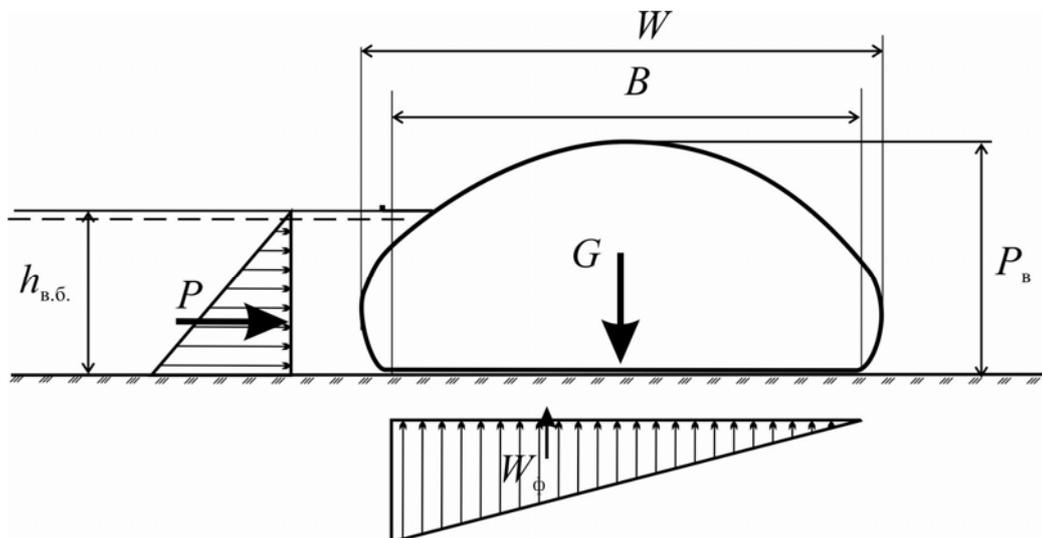


Рисунок 2. Расчетная схема водонаполняемой дамбы под действием гидростатического и фильтрационного давления

Введем обозначения: W – ширина водонаполняемой оболочки; L – периметр оболочки, тогда относительные прилегание оболочки к основанию и ее ширину можно представить как

$$b = \frac{B}{L}, \quad (14)$$

$$w = \frac{W}{L}. \quad (15)$$

Величины относительной ширины прилегания к основанию b и ширины оболочки w определяются в работе Плаута и Сухермана [17] в зависимости от модуля эллиптического интеграла k , который находят по следующей зависимости:

$$k = \frac{2\sqrt{N}}{p_{\text{дн}}}, \quad (16)$$

где $p_{\text{дн}}$ – относительное давление оболочки дамбы на основание.

Тогда относительные длина (14) и прилегание оболочки (15) с учетом зависимости (16) определяются по формулам:

$$b = 1 - 2k\sqrt{N}K(k), \quad (17)$$

где $K(k)$ – полный нормальный эллиптический интеграл Лежандра первого рода,

$$w = b + 2 \left[E\left(\frac{\pi}{4}, k\right) - \left(1 - \frac{k^2}{2}\right) F\left(\frac{\pi}{4}, k\right) \right] p_{\text{дн}}. \quad (18)$$

Для практических расчетов приближенных значений зависимости (16)–(18) были упрощены Плаутом и Сухерманом для различных диапазонов относительного давления $p_{\text{дн}}$:

$$k^2 \cong \frac{2}{\pi p_{\text{дн}}} - \frac{3}{2\pi^2 p_{\text{дн}}^2} + \frac{3}{8\pi^3 p_{\text{дн}}^3} \quad (\text{при } p_{\text{дн}} > 0,35), \quad (19)$$

$$k^2 \cong 1 - 16 \exp \left[-\frac{1}{p_{\text{дн}}} - 2 \right] \quad (\text{при } p_{\text{дн}} \leq 0,35). \quad (20)$$

Тогда с учетом уравнений (19) и (20) зависимости для расчета длины и прилегания оболочки без использования эллиптических интегралов представлены в следующем виде [17]:

$$b \cong 1 - \pi k \sqrt{t} \left(1 + \frac{k^2}{4} + \frac{9}{64} k^4 + \frac{225}{2304} k^6 \right), \quad (21)$$

$$w \cong \frac{1}{2} p_{\text{дн}} k^2 \left[2 + \frac{k^2}{16} (12 - \pi) + \frac{3k^4}{64} (12 - \pi) \right]. \quad (22)$$

В 2003 г. Мееок Ким на основе формул (21) и (22) произвел корректировку и получил зависимость [22]:

$$w \cong \frac{1}{2} p_{\text{дн}} k^2 \left[2 + \frac{k^2}{16} (12 - \pi) + \frac{3k^4}{64} (12 - \pi) \right]. \quad (23)$$

Нами были проведены расчеты относительной ширины прилегания оболочки при различных значениях относительного давления $p_{\text{дн}} / \gamma L$ в диапазоне от 0 до 2,2 и высоты оболочки от 1 до 4 м с использованием всех приведенных выше методов расчета и зависимостей (6)–(23). Нами были построены следующие зависимости относительной ширины w , относительного прилегания оболочки к основанию b , а также отношения между прилеганием и шириной от относительного давления на основании дамбы (рис. 3–5) [10].

Из графиков зависимостей (рис. 3–5) можно сделать вывод, что начиная с относительного давления 0,9 все зависимости в пределах допустимых погрешностей дают сходные результаты за исключением зависимости относительной ширины от относительного давления по формуле Плаута и Сухермана (20) (рис. 3). В связи с этим с приемлемой погрешностью можно применять при расчете безмоментных водонаполняемых оболочек графические и аналитические методы, а также зависимость, полученную Мееок Ким (23).

Однако устойчивость такой оболочки (рис. 2) незначительна, и требуется большая ширина дамбы при небольшом создаваемом напоре, также может наблюдаться эффект «скручивания» оболочки при ее значительной длине.

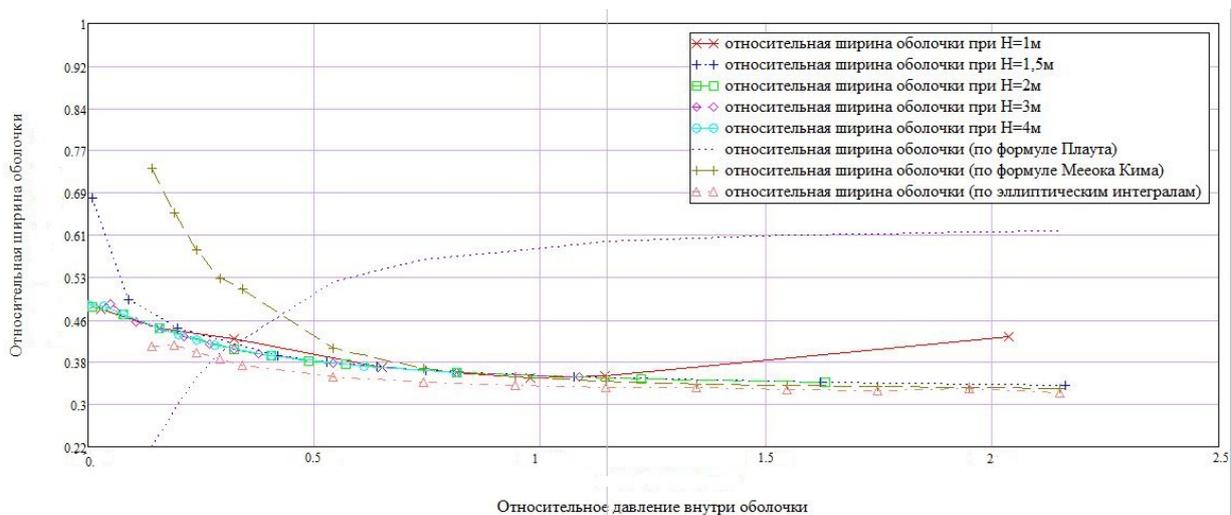


Рисунок 3. График относительной ширины оболочки в зависимости от относительного давления на основании

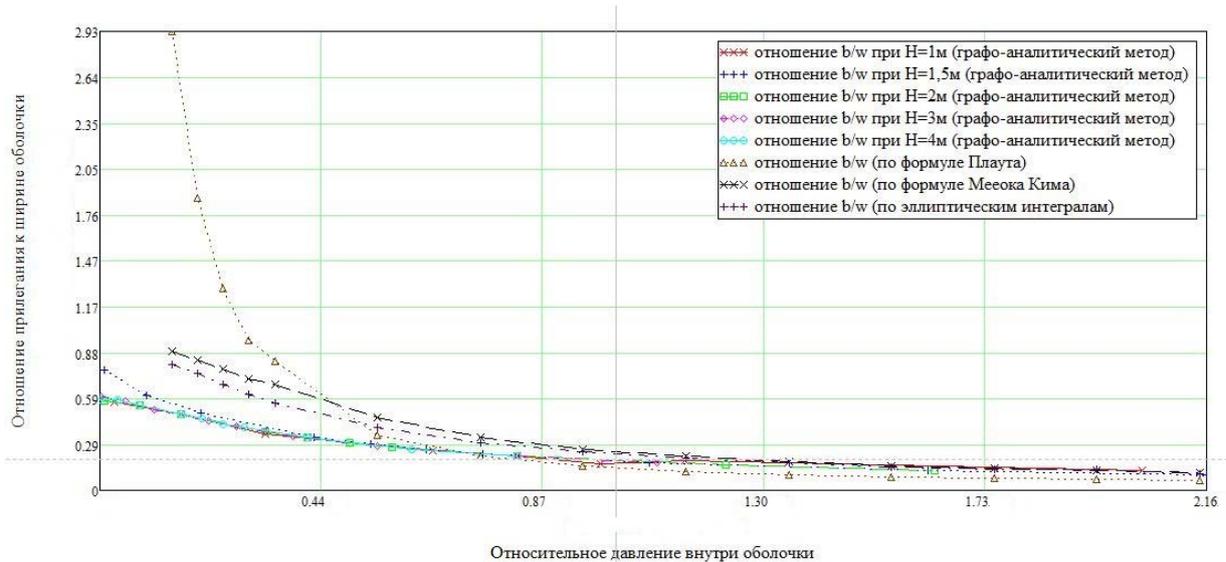


Рисунок 4. График отношения прилегания к ширине оболочки в зависимости от относительного давления на основании

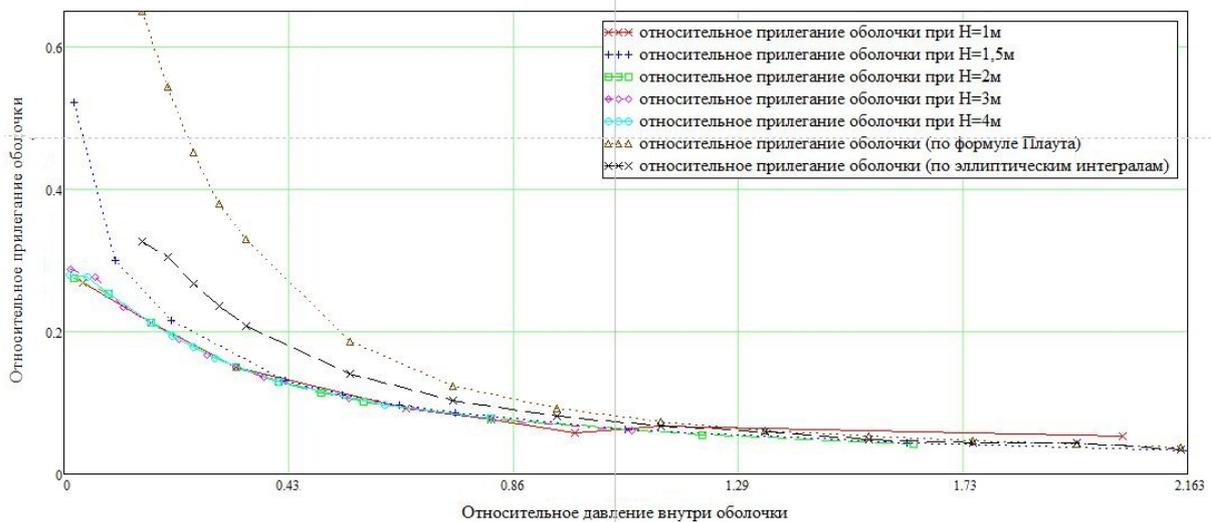


Рисунок 5. График относительного прилегания оболочки в зависимости от относительного давления на основании

Рассмотрим устойчивость мобильной дамбы (рис. 2) на сдвиг и опрокидывание при глубине в верхнем бьефе, равной высоте оболочки $h_{в.б.} = P_v$.

Данное условие получается из анализа моментов удерживающих сил M_R и опрокидывающих сил $M_{опр}$. Определяем момент сил сопротивления и момент опрокидывания по формулам соответственно:

$$M_R = \frac{\rho \cdot g \cdot h_{в.б.}}{4} B^2, \quad (24)$$

$$M_{опр} = \frac{\rho g h_{в.б.}^3}{6}. \quad (25)$$

Ширина оболочки, прилегающей к основанию, определяется исходя из следующего условия [3]:

$$\frac{M_R}{M_{\text{опр}}} > \gamma_n, \quad (26)$$

где γ_n – коэффициент надежности по степени ответственности сооружения, принимаемый $\gamma_n = 1,1$ для сооружений IV класса.

Тогда для обеспечения устойчивости сооружения, как следует из уравнений (24)–(26), необходимо выполнение следующего условия:

$$B > 1,168 \cdot h_{\text{в.б.}}$$

Данный показатель превышает относительную ширину, определяемую по приведенным выше зависимостям.

Условия устойчивости на сдвиг в рассматриваемом случае определяются в соответствии со следующим условием:

$$R = f \cdot (G - W_{\phi}),$$

где G – вес водонаполняемой оболочки ($G = \rho g S l$, где S – площадь поперечного сечения водонаполняемой оболочки; l – длина водоподпорной оболочки; W_{ϕ} – сила фильтрационного давления:

$$W_{\phi} = \frac{1}{2} \rho g B l h_{\text{в.б.}}$$

Сдвигающая сила определяется по следующему выражению:

$$F = \frac{1}{2} \rho g l h_{\text{в.б.}}^2.$$

Тогда условия устойчивости определяем по следующей зависимости:

$$\frac{R}{F} = 2f \left(\frac{S}{h_{\text{в.б.}}^2} + \frac{B}{h_{\text{в.б.}}} \right). \quad (27)$$

В настоящее время нами разработана система мобильных гибких дамб (проводится экспертиза по существу заявки на изобретение), обеспечивающая прилегание основания мобильных дамб к грунту основания без предварительной его подготовки за счет гибкого флутбета с системой анкеров и уплотнений, обеспечивающих устойчивость дамбы на сдвиг.

Для обеспечения устойчивости дамбы к скручиванию предусматривается использование многооболочковой дамбы из неоднородного по периметру композитного материала. В этом случае более перспективно для расчета данных конструкций использовать дискретные методы.

Выводы

1. В результате теоретического анализа существующих расчетных положений определены методы для расчета условий работы и ширины прилегания безмоментной водонаполняемой оболочки к горизонтальной плоскости при относительном давлении $p_{\text{дн}} / \gamma L$ менее 0,22.

2. Авторами обоснованы условия (27) для определения допустимой ширины прилегания мягкой безмоментной оболочки в зависимости от внешних воздействий и величины коэффициента трения оболочки о грунт основания.

3. Обоснованы требования к созданию новых биопозитивных конструкций мобильной гибкой дамбы, возводимой без применения тяжелой строительной техники для защиты зданий от затопления в чрезвычайных ситуациях, в том числе на слабых биогенных грунтах.

Литература

1. Концепция Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года». Утв. расп. правительства Российской Федерации от 29.03. 2011 г. № 534-р [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074290/#review> (дата обращения: 01.02.2013).
2. Кашарин Д.В. Обоснование конструкций мобильных дамб для защиты зданий и сооружений от затопления // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: материалы XVII науч.-метод. конф. ВИТУ (21 марта 2013 г.). Санкт-Петербург, 2013. С. 32–38.
3. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. М.: Стройиздат, 1985. 25 с.
4. Арефьев Н.В., Беллендир Е.Н., Иванов Т.С. Оптимизация инженерной защиты земель при создании водохранилищ с помощью дамб обвалования // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2011. №261. С. 99–103.
5. Кашарин Д.В. Защитные инженерные сооружения из композитных материалов в водохозяйственном строительстве: монография. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012. 343 с.
6. Кашарин Д.В. Методы расчета грунтоармированных флютбетов мобильных сооружений на слабых грунтах // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2011. Т. 264. С. 43–55.
7. Кашарина Т.П. Мягкие гидросооружения на малых реках и каналах. М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1997. 56 с.
8. Кашарин Д.В. Оптимизация выбора и обоснование параметров мобильных сооружений инженерной защиты из композитных материалов на водосборе // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2010. №260. С. 50–60.
9. Кашарин Д.В. Оценка надежности облегченных гидротехнических конструкций из композитных материалов // Гидротехническое строительство. 2009. №6. С. 22–29.
10. Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тъи Мероприятия по защите территорий от затопления с применением мобильных сооружений // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2012»: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 18–21 апреля 2012 г. Новочеркасск: Лик, 2012. С. 171–178.
11. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. [и др.] Проектирование гидротехнических сооружений. М.: Колос, 1977. 384 с.
12. Сергеев Б.И., Степанов П.М., Шумаков Б.Б. Мягкие конструкции – новый вид гидротехнических сооружений. М.: Колос, 1971. 88 с.
13. Затворницкий О.Г. Конструкции из мягких оболочек в гидротехническом строительстве. М.: Энергия, 1975. 143 с.
14. Магула В.Э. Судовые эластичные конструкции. Л.: Судостроение, 1978. 263 с.
15. Розенталь М.Б. О подушечных оконечностях цилиндрических оболочек // V Дальневосточный семинар по мягким оболочкам. 1976. Выпуск 33. С. 191–200.
16. Волосухин В.А., Кузнецов В.А. Основы расчета тканевых сооружений мелиоративных систем: монография. Новочеркасск: НГМА, 2001. 266 с.
17. Plaut R.H., Suherman S. Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes // Acta Mechanica. 1998. Vol. 129. P. 207.
18. Chanson H. Some hydraulics aspects during overflow above inflatable flexible membrane dam. Report CH47/96 / Dept. of Civil Engineering, University of Queensland. Australia, 1996. P. 58.
19. Chanson H., Montes J.S. Overflow characteristics of circular weirs: Effects of inflow conditions // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 1998. Vol. 124. No.3. Pp. 152–162.
20. Chu J., Guo W., Yan S.W. Geosynthetic tubes and geosynthetic mats: Analyses and applications // Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA. 2011. Vol. 42. No.1. P. 3.
21. Freeman M. Experiments and analysis of water-filled tubes used as temporary flood barriers. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002. P. 56.
22. Meook Kim. Two-dimensional analysis of four types of water-filled geomembrane tubes as temporary flood-fighting devices. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003. P. 36.

**Денис Владимирович Кашарин, г. Новочеркасск, Россия
Тел. раб.: +7(8635)22-334; эл. почта: dendvk1@mail.ru*

© Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тъи Ким, 2013

Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тъи Ким. Повышение устойчивости оснований мобильных дамб для инженерной защиты зданий от затопления

doi: 10.5862/MCE.39.6

Increasing stability of flexible dam-foundations in engineering protection of buildings from flooding

**D.V. Kasharin;
Thai Thi Kim Chi,**

*South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute),
Novocherkassk, Russia
+7(8635)22-334; e-mail: dendvk1@mail.ru*

Key words

foundation stability; engineering protection; flexible dams; flooding protection; biopositive structures

Abstract

This article is about the calculation of flexible dam structures used for protection of populated areas from flooding, which is actual problem because of the climate changes and inadequate conditions of existing river dykes, which frequently do not satisfy ecological requirements in Russian Federation.

Issue of shape calculation of water-filled membranes is considered, depending on internal pressures and external forces. Stability of water-filled membranes under hydrostatic pressure and uplift forces is analyzed. Explanations and requirements for creating new structures of flexible dams are given; they satisfy requirements for ecological infrastructure and provide reliability in terms of construction on biogenic soils and in crowded urban places. Designed structures are biopositive and can be erected without using massive equipment in emergency conditions.

References

1. *Kontseptsiya Federalnoy tselevoy programmy «Snizheniye riskov i smiagcheniye posledstviy chrezvychainykh situatsiy prirodnoy i tekhnogennogo kharaktera v Rossiyskoy Federatsii do 2015 goda»* [Conception of federal special-purpose program "Decrease of risk of aftermath of emergency situations of natural and anthropogenic types in Russian Federation until 2015 year]. [Online resource]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074290/#review> (accessed 01.02.2013). (rus)
2. Kasharin D.V. *Defekty zdaniy i sooruzheniy. Usileniye stroitelnykh konstruksiy: materialy XVII nauch.-metod. konf. VITU (21 marta 2013 g.)* [Defects of buildings and structures. Reinforcement of structures: materials of XVII scientific conference of VITU (21 March 2013)]. – Saint-Petersburg, 2013. Pp. 32–38. (rus)
3. SNiP 2.06.15-85. *Inzhenernaya zashchita territorii ot zatopeniya i podtopleniya* [Standards and regulations in construction. Engineering protection of territories from flooding and impoundment]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 25 p. (rus)
4. Arefev N.V., Bellendir E.N., Ivanov T.S. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 2011. No.261. Pp. 99–103. (rus)
5. Kasharin D.V. *Zashchitnyye inzhenernyye sooruzheniya iz kompozitnykh materialov v vodokhoziaistvennom stroitelstve* [Protective engineering structures of composite materials in hydroeconomic construction: monograph]. Novocherkassk : YuRGTU, 2012. 343 p. (rus)
6. Kasharin D.V. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 2011. Vol. 264. Pp. 43–55. (rus)
7. Kasharina T.P. *Myagkiye gidrosooruzheniya na malykh rekakh i kanalakh* [Soft hydraulic work on minor rivers and canals]. Moscow: Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo, 1997. 56 p. (rus)
8. Kasharin D.V. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 2010. No.260. Pp. 50–60. (rus)
9. Kasharin D.V. *Power Technology and Engineering*. 2009. Vol. 6. Pp. 22–29. (rus)
10. Kasharin D.V., Tkhai Tkhii Kim Ti. *Tekhnologii ochistki vody «TEKhNOVOD-2012»: materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Sankt-Peterburg, 18–21 aprelya 2012 g.* [Water purification technology "TEKhNOVOD-2012": materials of VII International scientific conference, Saint-Petersburg, 18–21 April 2012]. Novocherkassk : Lik, 2012. Pp. 171–178. (rus)
11. Volkov I.M., Kononenko P.F., Fedichkin I.K. [et al.] *Proyektirovaniye gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Design of hydraulic structures]. Moscow: Kolos, 1977. 384 p.

12. Sergeev B.I., Stepanov P.M., Shumakov B.B. *Miagkiye konstruksii – novyy vid gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Soft structures – new type of hydraulic structures]. Moscow: Kolos, 1971. 88 p. (rus)
13. Zatvornitskiy O.G. *Konstruksii iz miagkikh obolochek v gidrotekhnicheskoy stroitelstve* [Structures of soft shells in hydraulic engineering]. Moscow: Energiya, 1975. 143 p. (rus)
14. Magula V.E. *Sudovye elastichnye konstruksii* [Ship elastic structure]. Leningrad: Sudostroyeniye, 1978. 263 p. (rus)
15. Rozental M.B. *V dalnevostochnyy seminar po miagkim obolochkam* [V Far Eastern seminar on soft shells]. 1976. Vol. 33. Pp. 191–200. (rus)
16. Volosukhin V.A., Kuznetsov V.A. *Osnovy rascheta tkanevykh sooruzheniy meliorativnykh sistem: monografiya* [Fundamentals of the calculation of fabric structures of reclamation work: monograph]. Novochoerkassk: NGMA, 2001. 266 p. (rus)
17. Plaut R.H., Suherman S. Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes. *Acta Mechanica*. 1998. Vol. 129. Pp. 207-218.
18. Chanson H. *Some hydraulics aspects during overflow above inflatable flexible membrane dam*. Report CH47/96. Dept. of Civil Engineering, University of Queensland. Australia, 1996. P. 58.
19. Chanson H., Montes J.S. Overflow characteristics of circular weirs: Effects of inflow conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 1998. Vol. 124. No.3. Pp. 152–162.
20. Chu J, Guo W, Yan S.W. Geosynthetic tubes and geosynthetic mats: Analyses and applications. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*. 2011. Vol. 42. No.1. P. 3.
21. Freeman M. *Experiments and analysis of water-filled tubes used as temporary flood barriers*. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002. 56 p.
22. Meook Kim. *Two-dimensional analysis of four types of water-filled geomembrane tubes as temporary flood-fighting devices*. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003. 36 p.

Full text of this article in Russian: pp. 51–59