

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ УСТАНОВКЕ И ЗАКРЕПЛЕНИИ ЗАЩИТНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Волкова Екатерина Евгеньевна, аспирант кафедры «Комплексного использования водных ресурсов и гидравлики», Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГА У-МСХА имени К.А. Тимирязева, e.e.wolkova@yandex.ru

Мартынов Дмитрий Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры «Общей и инженерной экологии», Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, dimatifi@aimail.ru

Аннотация: Разработаны легко-транспортируемые, недорогие модульные системы, предназначенные для закрепления в нескальном грунте строительных конструкций и защиты прибрежных территории от масштабных наводнений.

Ключевые слова: защитные конструкции, дамбы, анкеры, модульные системы.

Во многих странах мира настоящей проблемой являются глобальные атмосферные явления и процессы, такие как: подъем уровня моря: паводковые процессы, связанные с обводнением низинной территории; размыв и разрушение устаревших грунтовых дамб, прибрежных дорог и насыпей.

Эффективную защиту низинных территорий от вышеперечисленных негативных событий могут обеспечить современные строительные, в том числе гидротехнические конструкции и сооружения.

В большинстве случаев, временные гидротехнические защитные системы устанавливаются на период наводнения и убираются уже после спада уровня воды, что сводит к минимуму негативное техническое воздействие данных систем на ландшафт и окружающую экосистему [3].

Для предотвращения сноса, смещения, и опрокидывания защитных конструкций, могут быть использованы закрепленные в грунте и расположенные под углом с тыльной стороны от фронта воды опоры, или расположенные с фронтальной стороны от защитных конструкций, закрепленные в грунте высокопрочные пластиковые тросы.

Преимущество винтовых свай и самораскрывающихся анкеров состоит в том, что они могут быть установлены в нескальном грунте в предельно короткие сроки, с использованием специализированной техники на глубине от 2 до 8 метров. Согласно основному уравнению гидростатики избыточное статическое давление P_{mg} на глубине $u_{изб}$, может быть определено как [1]:

$$P_{\text{изб}} = \rho_v \cdot g \cdot y_{\text{изб}}, \quad (1)$$

С учетом линейного роста давления с глубиной усредненное давление $P_{\text{ср}}$ на временную защитную дамбу при подъеме уровня выше критического на максимальную высоту H_d может быть определено как:

$$P_{\text{ср}} = \left(\frac{1}{H_d} \right) \cdot \int_0^{H_d} \rho_v \cdot g \cdot y_{\text{изб}} \cdot d(y_{\text{изб}}) = \frac{\rho_v \cdot g \cdot H_d}{2}, \quad (2)$$

На ровной местности, на которой расположена защитная дамба шириной L , вертикальная площадка площадью S заполненная водой перед защитной дамбой определяется выражением:

$$S = L \cdot H_d, \quad (3)$$

Тогда горизонтальная статическая силовая нагрузка $F_{\text{ст}}$ на 1 погонный метр $L = L_n$ временной защитной дамбы может быть найдена из выражения:

$$F_{\text{ст}} = P_{\text{ср}} \cdot S = \frac{L_n \cdot \rho_v \cdot g \cdot (H_d)^2}{2}, \quad (4)$$

При известной среднеквадратичной скорости течения $U_{\text{теч}}$ дополнительная продольная или фронтальная силовая динамическая нагрузка $P_{\text{теч}}$ может быть определена исходя из общей площади (на один погонный метр дамбы) $L_n \cdot H_d$, из уравнения Бернулли как [1]:

$$F_{\text{теч}} = \frac{L_n \cdot H_d \cdot \rho_v \cdot ((V_{\text{теч н}})^2 - (V_{\text{теч к}})^2)}{2}, \quad (5)$$

Необходимо отметить что, при достаточно небольшой глубине в диапазоне от 1 до 4 метров, скорость течения может сильно различаться в верхних и нижних слоях, а среднеквадратичная скорость по всему потоку в 20 м/с, достижима скорее при катастрофических разрушениях высотных гидротехнических сооружений. Принимая среднеквадратичную скорость $U_{\text{теч и}} = 5$ м/с в качестве базовой может быть рассчитана максимальная горизонтальная нагрузка $F_{\text{общ}}$ на 1 погонный метр временной защитной дамбы в зависимости от ее высоты.

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{ст}} + F_{\text{теч}}, \quad (6)$$

С учетом рельефа местности оптимальное закрепление временных защитных конструкций может быть обеспечено при закреплении в грунте опор

или тросов соединенных с винтовыми сваями или грунтовыми анкерами под углами не равными 90° к поверхности грунта.

При установке плоского грунтового анкера обеспечивается его надежное закрепление в грунте. Плоский грунтовый анкер быть погружен и закопан в грунт под нужным углом с помощью землеройной техники. На прочность закрепления анкера в грунте влияют такие факторы как механические характеристики грунта, наклон и глубина погружения плоского анкера. Максимальная нагрузка Q_n на выдергивание (которая также может быть обозначена как несущая способность анкера), при которой плоский прямоугольный анкер в центральной части, соединенный с тросом, будет оставаться неподвижным, может быть рассчитана, в том числе, по формуле Майса, Даса и Пикорнелла для песчаного грунта [2]:

$$Q_{u-\psi} = Q_{u-\psi=0^\circ} + [Q_{u-\psi=90^\circ} - Q_{u-\psi=0^\circ}] \cdot (\psi^\circ/90^\circ)^2, \quad (7)$$

где, $Q_{u-\psi}$ состоит, из составляющих, зависящих от угла наклона анкера к поверхности грунта: $Q_{u-\psi=0^\circ}$ - вертикальная составляющая максимальной нагрузки на анкер; $Q_{u-\psi=90^\circ}$ - горизонтальная составляющая максимальной нагрузки на анкер; $Y_{\text{пор}}$ - расстояние от центра анкера до поверхности грунта, м; ψ - угол поворота анкера по отношению к поверхности грунта.

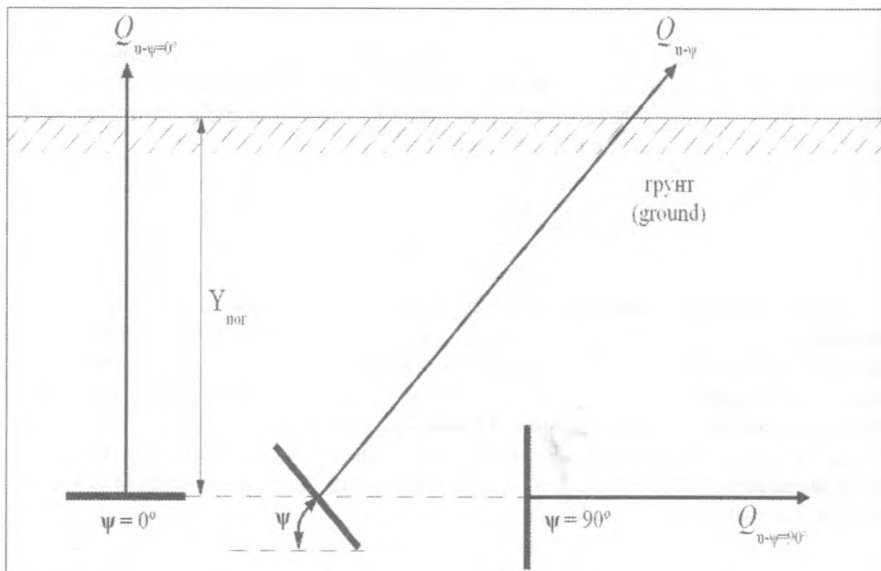


Рис. Схема определяющая расположение плоского прямоугольного анкера в песчаном грунте

Максимальные нагрузки на выдергивание, рассчитанные для квадратных плоских грунтовых анкеров

θ	A, м	B, м	$Y_{\text{погр}}, \text{ м}$	$Q_{\text{н-у}=0^\circ}, \text{ П}$	$Q_{\text{н-у}=90^\circ}, \text{ П}$	$Q_{\text{н-у}}, \text{ П}$	$Q_{\text{срп}}, \text{ П}$
45°	2	2	8	9084950	18787210	15822630	15283490
40°				6131830	11834890	10092290	9748399
35°				4294650	7275210	6364480	6147616
30°				2905510	5035730	4384830	4235418
45°	2	2	4	1639600	7412190	5648340	5455878
40°				1207360	4120140	3230120	3120061
35°				922850	2648540	2121240	2048965
30°				701900	1893270	1529240	1477131
45°	2	2	2	366220	3089150	2257150	2180238
40°				296420	1655150	1239980	1197731
35°				247140	1074130	821440	793449
30°				207700	767820	596670	576343
45°	2	2	1	103740	1589110	1135240	1096560
40°				91070	942200	682130	658890
35°				81480	576830	425470	410977
30°				73590	400400	300540	290304
45°	1	1	4	1135620	2348400	1977830	1910436
40°				766480	1479360	1261540	1218550
35°				536830	909400	795560	768452
30°				363190	629470	548100	529427
45°	1	1	2	204950	926520	706040	681985
40°				150920	515020	403770	390008
35°				115360	331070	265160	256121
30°				87740	236660	191150	184641
45°	1	1	1	45780	386140	282140	272530
40°				37050	206890	155000	149716
35°				30890	134270	102680	99181
30°				25960	95980	74580	72043
45°	0,5	0,5	2	141950	293550	247230	238805
40°				95810	184920	157690	152319
35°				67100	113680	99450	96056
30°				45400	78680	68510	66178
45°	0,5	0,5	1	25620	115820	88260	85248
40°				18870	64380	50470	48751
35°				14420	41380	33140	32015
30°				10970	29580	23890	23080

Расчет максимальной нагрузки на выдергивание для погруженных на различную глубину плоских квадратных анкеров малого среднего и большого размера проведен для направления выдергивающей нагрузки в 15° к

поверхности грунта (что соответствует углу наклона анкера $\psi=75^\circ$). Вертикальная составляющая максимальной нагрузки на плоский прямоугольный анкер считается по формуле:

$$Q_{\alpha-\psi=0^\circ} = \gamma \cdot (Y_{\text{пог}})^2 \cdot A \cdot \left[2 \cdot \left(1 + m \cdot \frac{Y_{\text{пог}}}{A} \right) + B - 1 \right] \cdot K_u \cdot \tan \theta + \gamma \cdot Y_{\text{пог}} \cdot A \cdot B, \quad (8)$$

В расчете, для грунтов со слабыми свойствами микроструктурного сцепления угол трения θ принят, равным 30° и 35° , со средними и сильными - 40° и 45° . Также в расчете, угол наклона закрепленных на анкерах тросов к поверхности грунта определяется как: $90^\circ - \psi = 15^\circ$.

Горизонтальная составляющая максимальной нагрузки на плоский прямоугольный анкер считается по формуле:

$$Q_{\alpha-\psi=90^\circ} = \gamma \cdot A^2 \cdot B \cdot M_{\gamma q} \cdot S_f, \quad (9)$$

Результаты расчета для плоских анкеров приведены в таблице в которой помимо величины $Q_{\alpha-\psi}$, представлено произведение $Q_{\text{гор}} = Q_{\alpha-\psi} \cos(15^\circ)$ характеризующее горизонтальную составляющую максимальной нагрузки на выдергивание, с учетом угла наклона закрепленных на анкерах и передающих нагрузку тросов в 15° градусов.

Большой плоский анкер размерами 2×2 метра погруженный в грунт на глубину более 4 метров способен удерживать участки временных защитных дамб значительной высоты (до 2 метров) и длиной в сотни метров даже в достаточно слабых песчаных грунтах. Анкер меньших размеров размерами 1×1 метра также погруженный в песчаный грунт на глубину более 4 метров способен удерживать участки временных защитных дамб значительной высоты (до 2 метров) и длиной в десятки метров. Даже быстро устанавливаемый сравнительно небольшой анкер, размерами $0,5 \times 0,5$ метра погруженный в песчаный грунт на глубину более 2 метров, способен удерживать небольшие метровые участки временных защитных дамб высотой до 2,5 метров. Также с учетом данных в таблице, сравнив величины $Q_{\alpha-\psi=0^\circ}$ и $Q_{\alpha-\psi}$ можно увидеть, что для плоских анкеров, расположенных на одинаковой глубине $Y_{\text{пог}}$, от поверхности грунта с изменением угла поворота анкера α от 0° до 75° растет максимальная нагрузка на выдергивание. То есть, при равных $Y_{\text{пог}}$, максимальная нагрузка при выдергивании анкера под углом 15° к поверхности грунта будет больше, чем максимальная нагрузка при вертикальном выдергивании анкера (под углом 90° к поверхности грунта).

Библиографический список

1. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. 2-е издание., испр. и доп./Н.И. Коронкевича, профессора, докт.геогр.наук - Екатеринбург: изд. ФГУП РосНИИВХ, 2008. - 432 с.
2. Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Зеленина И.В., Раскутан А.Е., Патент РФ, 2395535 С1, Препрег герметичного органопластика и изделие выполненное из него, 2010.
3. Шахов А.С., Шахов С.В., Шабалин С.И., Лялин Е.В., Степанова В.Ф., Патент РФ, 2405092 С2, Композитная арматура, 2010.
4. Бхантагар А., Арвидсон Б.Д., Херст Д.А., Пауэрс Д.Ф., Стикнкэмер Д.А., Патент РФ, 2405092 С2, Баллистические композиты с повышенной гибкостью, 2012.
5. Павлинова И. И., Баженов В. И., Губий И. Г. Водоснабжение и водоотведение. - М.: изд. Юрайт. 2016. - 380 с.