

Д. В. ПОПОВ

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБ ИЗ ПЛАСТМАССЫ В КАЧЕСТВЕ ОБСАДНЫХ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН В НЕУПЛОТНЁННЫХ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЯХ

JUSTIFICATION OF THE USE OF PLASTIC PIPES
IN UNCOMPACTED SANDY GROUNDS

Рассматривается методика определения максимального давления на внешнюю поверхность обсадной трубы, от веса обрушившегося грунта стенок буровой скважины, а также методика расчёта толщины стенки самой обсадной трубы. Целью работы является обоснование возможности применения пластиковых труб в качестве обсадных, используемых при бурении скважин в неуплотнённых песчаных основаниях для изготовления буровых свай. Представленная методика позволяет определять толщину стенки обсадной трубы из любого материала и любого диаметра буровой скважины. Также в статье приводятся результаты расчётов толщин стенок обсадных труб, изготовленных из стеклопластика и поливинилхлорида для разных диаметров буровых скважин и произведено их сравнение с аналогичными стальными.

Ключевые слова: строительные материалы, конструкции фундаментов, обсадные трубы, пластиковые трубы, бурение скважин, неуплотнённые основания, обрушение грунта, устойчивость грунта

Развитие мирового строительного комплекса ставит всё более сложные задачи перед инженерным сообществом. На сегодняшний день здания и сооружения растут не только вверх, но и в подземное пространство, при этом больше внимания стало уделяться ещё и защите объектов от террористических, техногенных, климатических угроз. Всё вышперечисленное усложняет проектную документацию дополнительными решениями и мероприятиями, которые в свою очередь приводят к конечному удорожанию строящегося объекта. Одним из способов удешевления стоимости возведения зданий и сооружений без потери качества является внедрение новых строительных материалов, более дешёвых и легких по сравнению с традиционно применяемыми, но при этом особо не уступающих последним по прочностным показателям.

Наиболее существенная статья расходов при возведении зданий и сооружений связана с работами нулевого цикла, затраты на которые

The article discusses a method for determining the maximum pressure on the outer surface of the casing pipe, from the weight of the collapsed soil of the borehole walls, as well as a method for calculating the wall thickness of the casing pipe itself. The aim of the work is to substantiate the possibility of using plastic pipes as casing pipes used when drilling wells in unconsolidated sandy bases for the manufacture of bored piles. The presented technique allows to determine the wall thickness of the casing pipe from any material and any borehole diameter. Also, this article presents the results of calculations of the wall thicknesses of casing pipes made of fiberglass and PVC for different diameters of boreholes and compared them with similar steel ones.

Keywords: construction materials, foundation structures, casing pipes, plastic pipes, well drilling, loose foundations, soil collapse, soil stability

могут достигать до 30 % от общей сметной стоимости [3, 4]. Основными материалами, которые применяют при возведении конструкций фундаментов, являются бетон и сталь [6, 7]. На сегодняшний день, согласно современным научным достижениям в строительном материаловедении, уверенно можно утверждать, что заменить бетон пока невозможно [5, 8]. При этом сталь уже сегодня успешно вытесняется современными пластиками. Как один из примеров – всё более широкое применение пластиковой арматуры взамен стальной используется при изготовлении железобетонных конструкций различного назначения [4]. Также стоит обратить внимание на то, что в настоящее время наружные водонесущие коммуникации всё чаще прокладывают с применением экструзионных пластмассовых труб.

При возведении свайных фундаментов с применением буронабивных свай, на неуплотнённых песчаных основаниях бурение скважин производят под защитой обсадной

стальной толстостенной трубы, цель которой сохранять геометрическую целостность скважины до момента укладки в неё бетонной смеси [3, 4]. При этом следует отметить, что как такового расчёта обсадных труб, применяемых при бурении скважин под сваи, в нормативной литературе, как действующей, так и уже не действующей, нет. В связи с этим была поставлена задача изучить механизм обрушения стенок буровой скважины и определить максимально возможное обжимающее давление, действующее на наружную поверхность обсадной трубы [2]. Была проведена серия лабораторных экспериментов по извлечению обсадных труб из разуплотнённого песчаного массива с целью фиксации формы и численных параметров обрушения стенок буровой скважины [1]. Исследования показали, что форма обрушения стенок скважины со стороны дневной поверхности грунтового массива имеет кольцеобразную форму, повторяющую форму скважины. Толщина кольца обрушения стенок скважин, имеющих диаметр от 300 до 1500 мм, постоянна и соответствует $0,6d$ (где d – диаметр буровой скважины) вне зависимости от глубины выработки. Соответственно форму обрушения стенок скважины можно представить в виде трубы с внутренним диаметром, соответствующим диаметру самой буровой скважины с толщиной стенки $0,6d$ и длиной, равной глубине выработки. При этом введём допущение, что в момент обрушения стенок скважины будут отсутствовать силы трения между обрушившимся грунтом и грунтом, находящимся в равновесии в окружающем массиве, а также отсутствуют силы трения между обрушившимся грунтом и обсадной трубой [4]. Согласно вышеописанному, вес обрушившегося грунта будет приложен к последнему участку обсадной трубы, опирающемуся на забой скважины высотой 1 п.м.

Согласно результатам проведённых экспериментов, т. е. зная геометрическую форму обрушения грунта стенок буровой скважины, выполненной в неуплотнённых песчаных основаниях, а также принятые выше допущения, можно произвести расчёты на прочность обсадных труб, изготавливаемых из пластических материалов по нижеописанной методике.

Максимальное давление на внешнюю сторону обсадной трубы, на уровне забоя буровой скважины, можно определить по формуле

$$P = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

где F – вес грунта обрушения, кН, определяется как вес трубы по формуле

$$F = \pi(R^2 - r^2)H \cdot \gamma_{гр}, \quad (2)$$

где R – радиус обрушения грунта, м, со стороны дневной поверхности, определяемый по формуле

$$R = \frac{(d + 2 \cdot 0,6d)}{2}, \quad (3)$$

где d – диаметр скважины, м.

r – радиус буровой скважины, м;

H – глубина буровой скважины, м;

$\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта обрушения стенок буровой скважины, кН/м³;

A – площадь внешней поверхности 1 п.м обсадной трубы, м², на которую оказывает давление потерявший устойчивость грунт стенки скважины, вычисляется по формуле

$$A = 2\pi rH = 2\pi 0,5dH = \pi dH, \quad (4)$$

где d – диаметр буровой скважины, м;

H – глубина буровой скважины, м.

Подставляя выражения (2) и (4) в формулу (1), получим

$$P = \frac{(R^2 - r^2)\gamma_{гр}}{d}, \quad (5)$$

где R – радиус обрушения грунта со стороны дневной поверхности, определяемый по формуле (3), м;

r – радиус буровой скважины, м;

d – диаметр буровой скважины, м;

$\gamma_{гр}$ – удельный вес грунта обрушения стенок буровой скважины, кН/м³.

Расчёт толщины стенки обсадной трубы следует вести исходя из того, чтобы обжимающее трубу давление от обрушившегося грунта не превышало предельной жесткости кольца самой обсадной трубы, т. е. соблюдалось следующее неравенство:

$$P < S, \quad (6)$$

где P – максимальное внешнее давление на внешнюю поверхность обсадной трубы, определяемое по формуле (5), кН/м²;

S – жесткость кольца поперечного сечения обсадной трубы, вычисляемая по формуле

$$S = \frac{EJ}{D_{cp}^3}, \quad (7)$$

где E – модуль деформации материала обсадной трубы, кПа;

J – момент инерции площади поперечного сечения кольца обсадной трубы на единицу длины, м⁴/м, определяемый по формуле

$$J = \frac{t^3}{12}, \quad (8)$$

где t – толщина стенки обсадной трубы, м;
 D_{cp} – средний диаметр кольца обсадной трубы, м, определяемый по формуле

$$D_{cp} = \left(r_{скв} + \frac{t}{2} \right) \cdot 2, \quad (9)$$

где $r_{скв}$ – радиус буровой скважины, м;
 t – толщина стенки обсадной трубы, м.

Расчёт на прочность выполнялся на минимальную толщину стенки для обсадных труб, изготовленных из стеклопластика (с модулем упругости материала $E = 30000$ МПа и его плотностью $\rho = 1800$ кг/м³) и ПВХ(НПВХ) ($E = 3000$ МПа, $\rho = 1410$ кг/м³), при этом определялся и их вес. Согласно исходным данным, для проведения расчёта была принята буровая скважина глубиной 10,0 м, пробуренная в неуплотнённом песчаном основании, имеющем удельный вес 17,5 кН/м³. Диаметр скважин был принят от 300 до 1000 мм, с шагом 100 мм, а также диаметрами 1200 и 1500 мм. Для аналитического сравнения был выполнен расчёт минимальной толщины стенки стальной обсадной трубы. Результаты расчётов приведены в табл. 1. При выполнении сравнения толщин стенок труб можно отметить, что толщина стенки обсадной трубы, материалом которой служит ПВХ(НПВХ), в среднем в 2,9 раза больше, чем у стальной трубы, а у трубы из стеклопластика в 1,7 раза больше, чем у стальной.

Во второй части расчёта, зная минимальную толщину стенок обсадных труб из стали, стеклопластика и ПВХ(НПВХ), был вычислен их вес и проведено между ними сравнение. Вес обсадных труб приведен в табл. 2. Результаты сравнения показывают, что трубы из ПВХ(НПВХ) в среднем легче стальных в 1,9 раза, а трубы из стеклопластика легче стальных в 2,6 раза.

Результаты выполненных расчётов показывают, что минимальная толщина стенки трубы, изготовленной из стеклопластика, по сравнению со стальной в среднем в 1,6 раза меньше, а вес самой обсадной трубы, изготовленной из стеклопластика, в 2,6 раза легче классической стальной трубы. При этом следует отметить, что разницу толщин труб из стеклопластика и стали на величину в 60 % нельзя считать критичной, поскольку это существенно не сказывается на положении арматурного каркаса в теле будущей буронабивной сваи. При этом более лёгкий вес пластмассовых обсадных труб существенно снизит расходы на транспортировку

Таблица 1

Результаты расчётов толщин стенок обсадных труб, изготовленных из стали, стеклопластика, ПВХ(НПВХ)

Диаметр обсадной трубы, мм	Толщина стенки обсадной трубы, мм по материалу, МПа		
	стальная E = 206000	стеклопластик E = 30000	ПВХ (НПВХ) E = 3000
300	11,0	18,0	31,0
400	15,0	25,0	44,0
500	20,0	33,0	58,0
600	25,0	42,0	72,0
700	30,0	51,0	87,0
800	36,0	60,0	102,0
900	41,0	69,0	118,0
1000	47,0	78,0	135,0
1200	59,0	98,0	169,0
1500	77,0	129,0	222,0

Таблица 2

Вес обсадных труб, изготовленных из стали, стеклопластика, ПВХ(НПВХ)

Диаметр обсадной трубы, мм	Вес обсадной трубы, кг по материалу, кг/м ³		
	стальная $\rho = 7850$	стеклопластик $\rho = 1800$	ПВХ (НПВХ) $\rho = 1410$
300	814,0	305,0	412,0
400	1479,0	565,0	779,0
500	2465,0	933,0	1284,0
600	3697,0	1425,0	1913,0
700	5176,0	2018,0	2697,0
800	7099,0	2713,0	3613,0
900	9096,0	3510,0	4702,0
1000	11585,0	4409,0	5977,0
1200	17452,0	6647,0	8979,0
1500	28470,0	10937,0	14743,0

и погрузо-разгрузочные работы. Следует также отметить, что стыковка пластмассовых труб производится менее технологически сложным оборудованием по сравнению с электросваркой, соответственно сокращаются расходы на оплату привлекаемых высококвалифицированных кадров. Еще двумя фактами в пользу применения обсадной трубы из пластика следует считать её дешевизну по сравнению

с аналогичной трубой, изготовленной из стали, и неподверженность коррозии. На основе вышеизложенного можно сказать, что пластмассовые трубы, с модулем упругости материала 30000 МПа и более, могут быть использованы в качестве обсадных труб не только по прочностным параметрам, но и в первую очередь по экономическим.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов D.V., Savinova E.V. Method for determining the casing pressure in uncompacted sandy bases when installing bored piles // XXX Russian-Polish-Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (RSP 2021). Selected Papers. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. P. 215–218. doi: 10.1007/978-3-030-86001-1_25
2. Попов D.V. Mathematical modeling of the collapse form of the borehole walls // XXX Russian-Polish-Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (RSP 2021). Selected Papers. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. P. 163–169. doi: 10.1007/978-3-030-86001-1_19
3. Смородинов М.И., Федоров Б.С., Ржаницын Б.А., Тер-Галустов С.А. Основания и фундаменты: справочник строителя. М.: Стройиздат, 1976. 279 с.
4. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: издание второе, дополненное и переработанное / под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2016. 1040 с.
5. Мангушев Р.А. и др. Современные свайные технологии (2-е доп. изд.). М.: Изд-во АСВ, 2010. 235 с.
6. Мангушев Р.А., Готман А.Л., Знаменский В.В., Пономарев А.Б. Сваи и свайные фундаменты. Конструирование, проектирование, технологии / под ред. Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2015. 320 с.
7. Леонтьев А.И., Мальцев А.В., Исаев В.И. Разработка эффективного способа повышения несущей способности буронабивной сваи // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2016. С. 206–210.
8. Патент №RU 2014387 С1. Способ изготовления набивной сваи в грунте и устройство для изготовления набивной сваи / Исаев В.И.; заяв. №5028191/33 от 03.01.1992; Самарский государственный архитектурно-строительный институт; опубл. 15.06.1994.

REFERENCES

1. Popov D.V., Savinova E.V. Method for determining the casing pressure in uncompacted sandy bases when installing bored piles. XXX Russian-Polish-Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (RSP 2021). Selected Papers. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. P. 215–218. doi: 10.1007/978-3-030-86001-1_25
2. Popov D.V. Mathematical modeling of the collapse form of the borehole walls. XXX Russian-

Polish-Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering (RSP 2021). Selected Papers. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. P. 163–169. doi: 10.1007/978-3-030-86001-1_19

3. Smorodinov M.I., Fedorov B.S., Rzhantsyn B.A., Ter-Galustov S.A. *Osnovaniya i fundamente: spravochnik stroitelja* [Foundations and foundations: a builder's handbook]. Moscow, Stroyizdat, 1976. 279 p.

4. Ilyichev V.A., Mangushev R.A. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamente i podzemnye sooruzheniya: izdanie vtoroe, dopolnennoe i pererabotannoe* [Geotechnics Reference book. Foundations, foundations and underground structures: the second edition, supplemented and revised]. Moscow, ASV, 2016. 1040 p.

5. Mangushev R.A. *Sovremennye svajnye tehnologii (2-e dop. izd.)* [Modern pile technologies (2nd expanded edition)]. Moscow, ASV, 2010. 235 p.

6. Mangushev R.A., Gotman A.L., Znamensky V.V., Ponomarev A.B. *Konstruirovanie, proektirovanie, tehnologii* [Piles and pile foundations. Designing, designing, technologies]. Moscow, ASV, 2015. 320 p.

7. Leontiev A.I., Maltsev A.V., Isaev V.I. Development of an effective way to increase the bearing capacity of a bored pile. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture: collection of articles]. Samara, SSTU, 2016. pp. 206–210. (In Russian).

8. Isaev V.I. *Sposob izgotovleniya nabivnoj svai v grunte i ustrojstvo dlja izgotovleniya nabivnoj svai* [A method for making a stuffed pile in the ground and a device for making a stuffed pile]. Patent RF, no. 2014387 C1, 1994.

Об авторе:

ПОПОВ Дмитрий Валериевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
строительной механики, инженерной геологии,
оснований и фундаментов
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: popov38@yandex.ru

POPOV Dmitry V.

Phd in Engineering Science, Associate Professor of the
Structural Mechanics, Engineering Geology, Bases and
Foundations Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: popov38@yandex.ru

Для цитирования: Попов Д.В. Обоснование применения труб из пластмассы в качестве обсадных при бурении скважин в неуплотнённых песчаных основаниях // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 2. С. 98–102. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.14.

For citation: Popov D.V. Justification of the Use of Plastic Pipes in Uncompacted Sandy Grounds. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 98–102. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.14.