

УДК 624.139

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ БАЗАЛИТ-Б НА СНИЖЕНИЕ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТОВ, ОКАЗЫВАЕМЫХ НА ФУНДАМЕНТЫ СООРУЖЕНИЙ

Левашов А. С., Касаткина Т. Б., Горохов Р. В., Буков Н. Н., Ревенко В. В.

### STUDY OF INFLUENCE BAZALIT-B ANTI-CORROSION COATING'S EFFECT ON REDUCTION OF FROST HEAVE FORCES IN SOILS IMPACTING FOUNDATIONS OF BUILDINGS

Levashov A. S.<sup>\*</sup>, Kasatkina T. B.<sup>\*</sup>, Gorohov R. V.<sup>\*</sup>, Bukov N. N.<sup>\*</sup>, Revenko V. V.<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

<sup>\*\*</sup> JSC "Basaltoplastik", Moscow, 117186, Russia  
e-mail: aslevashov@mail.ru

*Abstract.* Influence of protective Bazalit-B anti-corrosion coating's effect on reduction of frost heave forces in soils impacting foundations of buildings. The study was aimed at modelling anti-corrosion coating's effect on reduction of frost heave forces in various types of soils impacting foundations of buildings. Four types of soils were frozen to foundation model, namely, sand, sandy clay, clayey loam, clay. Specific value of stable shear resistance  $R_{af0}$ , kPa was determined as a ratio of the foundation model's estimated shear resistance value  $P$  (N), to the lateral surface area  $F$  (cm<sup>2</sup>) with soil frozen to it. According to the study, coating application to the foundation helps significantly reduce specific tangential heave forces (4.0–6.4 times for concrete and 1.3–3.0 times for metal).

*Keywords:* anti-corrosion coatings, frost heave of soil, specific tangential force heave, foundation

Продолжительный зимний период и большая глубина промерзания грунтов характерны для обширных территорий Российской Федерации. При этом в районах интенсивной добычи полезных ископаемых (нефти и газа) данные факторы достигают максимальных значений. К строительству различных зданий и сооружений в таких условиях предъявляются особые требования, поскольку они должны эффективно противостоять силам пучения грунтов, возникающим при их промерзании. Внешним проявлением морозного пучения является неравномерное поднятие и опускание промерзшего слоя грунта, что приводит к недопустимым деформациям сооружений, сокращающим срок их службы.

В настоящее время разработаны различные способы противодействия силам пучения. При этом выделяют два основных направления противопучинистых мер [1]:

- мелиорация грунтов с целью уменьшения или полного устранения морозного пучения;
- стабилизация фундаментов и сооружений, обеспечивающая устойчивость сооружений.

К первому направлению относят утепление грунтов [2], замену пучинистых грунтов на непучинистые грунты [3], засоление грунтов [4, 5], укрепление грунтов [6] и их гидрофобизацию [7, 8].

Левашов Андрей Сергеевич, преподаватель кафедры органической химии и технологий Кубанского государственного университета; e-mail: aslevashov@mail.ru.

Касаткина Татьяна Борисовна, преподаватель кафедры общей, неорганической химии и ИВТ в химии Кубанского государственного университета; e-mail: tatiana\_kasat@mail.ru.

Горохов Роман Вячеславович, канд. хим. наук, доц. кафедры общей, неорганической химии и ИВТ в химии Кубанского государственного университета; e-mail: rvt77@mail.ru.

Буков Николай Николаевич, д-р хим. наук, проф. кафедры общей, неорганической химии и ИВТ в химии Кубанского государственного университета; e-mail: nbukov@mail.ru.

Ревенко Виталий Владиславович, генеральный директор ОАО «Базальтопластик»; e-mail: info@bzpl.ru.  
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (13-03-00833 а).

Таблица 1. Средние показатели физических свойств песчаного грунта

Влажность, д.е. $W$	Плотность, г/см <sup>3</sup> $\rho$	Плотность скелета грунта, г/см <sup>3</sup> $\rho_d$	Плотность частиц, г/см <sup>3</sup> $\rho_s$	Коэф-т пористости $e$	Коэф-т водонасыщения $S_r$	По степени влажности	По плотности сложения
0,35	1,95	1,44	2,66	0,84	1,11	Водонасыщенный	Рыхлый

Ко второму направлению относятся такие меры, как изменение конструкций фундаментов с целью увеличения на них нагрузки, противодействующей силе пучения [9], теплоизоляция фундаментов [10], а также применение различных покрытий и обмазок [11, 12]. Следует отметить, что последний способ, помимо стабилизации фундамента, позволяет защищать его от коррозии, предотвращая разрушение поверхности, а, следовательно, и последующее усиление ее смерзания с грунтом.

На базе НИИОСП авторами проведено исследование влияния созданного ранее антикоррозионного покрытия Базалит-Б [13] на снижение сил морозного пучения грунтов.

Механическое взаимодействие фундамента и пучащегося при промерзании грунта в лабораторных условиях моделируется контактной задачей. Этот метод определения удельной касательной силы пучения ( $\tau_{\text{аfo}}^p$ ) основан на эквивалентности касательной силы и так называемого устойчивого сопротивления срезу модели мерзлого грунта относительно фундамента. Для определения значения устойчивого сопротивления срезу были проведены испытания сдвигом модели фундамента, смороженной с грунтом. Устойчивое сопротивление срезу в опыте фиксировали в момент, когда перемещение модели фундамента относительно мерзлого грунта достигало 10 мм.

Удельное значение устойчивого сопротивления срезу ( $R_{\text{аfo}}$ , кПа) определяли из отношения расчетной величины устойчивого сопротивления сдвигу ( $P$ ,  $h$ ), действующего на модель фундамента, к площади боковой поверхности ( $F$ , см<sup>2</sup>), смерзшейся с грунтом.

Для исследования устойчивого сопротивления срезу мерзлого грунта относительно модели фундамента использовали одноплоскостной сдвиговой прибор ВСВ-25 Угличского экспериментального ремонтно-механического завода. Передачу сдвигающей

и нормальной нагрузок на приборе ВСВ-25 осуществляли с помощью динамометров. Для передачи нормальной нагрузки использовали динамометр типа ДС-02 или ДС-1, для сдвигающей — типа ДС-02.

Удельное значение устойчивого сопротивления срезу определяли как среднюю величину по шести испытаниям для одинаковых условий опыта при заданных: температуре ( $t_{\text{ср}}$ ), влажности ( $W_c$ ) и скорости перемещения ( $v$ ) рабочей платформы с образцом грунта относительно модели фундамента.

Величины  $R_{\text{аfo}}^p$ , соответствующие частным значениям  $t_{\text{ср}}$  и  $W_c$ , использовали при расчете фундаментов на действие касательных сил пучения для определенных природных условий с теми же характеристиками исходных данных, включая состав грунта.

Для исследования использовались 4 разновидности грунта: песок, супесь, суглинок, глина.

По всем грунтам проводилось определение: в мерзлом состоянии — влажности и плотности методом режущего кольца, в талом состоянии — гранулометрического состава, плотности частиц грунта и показателей пластичности по ГОСТ 5180-84 (2010). Классификация песчаных и глинистых грунтов проводилась согласно ГОСТ 25100-2011.

Средние результаты по шести лабораторным определениям физических свойств грунтов и рассчитанные показатели приведены в табл. 1 и 2.

Образцы для среза по поверхности смерзания «грунт — обработанный фундамент» изготавливались в виде обоймы  $d = 71,4$  мм и  $h = 55,0$  мм из грунта нарушенного сложения  $h = 35,0$  мм и бетонной или металлической модели фундамента, покрытой составом Базалит-Б высотой  $h = 20,0$  мм.

Образцы готовились в следующей последовательности. На модель фундамента устанавливалось рабочее кольцо срезного прибора, при этом между бортами колец вставля-

Таблица 2. Средние показатели физических свойств глинистых грунтов

№	Влажность, $W$	Плотность, $\rho$ г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта, $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность частиц, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости, $e$	Влажность на границе текучести, $w_i$ д.ед.	Влажность на границе пластичности, $w_p$ д.ед.	Число пластичности $I_p$	Показатель текучести $I_L$	Название грунта
1	0,27	1,85	1,45	2,71	0,87	0,208	0,171	3,7	2,75	супесь текучая
2	0,39	1,71	1,24	2,71	1,19	0,292	0,215	7,8	2,19	суглинок текучий
3	0,57	1,55	0,99	2,71	1,74	0,485	0,303	18,2	1,47	глина текучая

лись разрезные металлические прокладки — полукольца толщиной 1,5 мм для обеспечения зазора. Оба кольца при помощи металлических дисков-стяжек собирались на винтах в единую конструкцию. Рабочее кольцо заполнялось грунтом нарушенного сложения: водонасыщенным песком, текучими супесью, суглинком, глиной.

Собранный образец помещался в морозильную камеру для промораживания при отрицательной температуре ( $-4$  °С) в течение 24 ч. После этого конструкция разбиралась и образец устанавливался в сдвиговой прибор ВСВ-25 для проведения испытания. Аналогично изготавливались образцы для проведения испытаний на срез по поверхности смерзания «грунт – фундамент без покрытия».

Испытание мерзлых грунтов проводилось на одноплоскостных (срезных) приборах ВСВ-25 (площадь поверхности смерзания  $F = 40$  см).

Образец грунта, смороженный с моделью фундамента, в виде обоймы, помещался в углубление в сдвиговой камере, при этом модель фундамента располагалась в подвижной части прибора. Нормальная нагрузка, соответствующая давлению на глубине 1,5 м, передавалась винтом через динамометр. Сдвигающая нагрузка прикладывалась с помощью рычажной системы со скоростью, при которой срез происходил в течение 20–40 с. Испытания проводились с шестикратным повторением для каждого вида модели фундамента и грунта. Статистическая обра-

ботка полученных данных проведена согласно ГОСТ 20522-96.

В сводной табл. 3 приведены значения удельной касательной силы пучения, равной условно-мгновенному значению сопротивления срезу при непрерывном быстром возрастании нагрузки.

Из анализа полученных данных испытаний на срез по контакту «грунт – обработанный фундамент» и по контакту «грунт – фундамент без покрытия» следует, что применение полимерного покрытия Базалит-Б для обработки модели фундамента приводит к значительному снижению удельных касательных сил пучения, применительно к бетону в 4,0–6,4 раза и применительно к металлу в 1,3–3,0 раза. Разница в снижении касательных сил пучения объясняется большей шероховатостью бетона свай по сравнению с металлом свай. Таким образом, применение разработанного покрытия позволяет сократить выпучивание фундаментов в условиях холодного климата и защитить свай от коррозии на длительный период.

### Литература

1. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высш. школа, 1973. 448 с.
2. Далматов Б. И., Ласточкин В. С. Устройство газопроводов в пучинистых грунтах. Л.: Стройиздат, 1978. 199 с.
3. Орлов В. О. Расчёт оптимальной толщины песчано-гравийной подсыпки в условиях морозного пучения грунтов оснований под незаглубленными фундаментами малоэтажных зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999. № 3. С. 23–27.

Таблица 3. Значения расчетной удельной касательной силы пучения по контакту грунт-модель фундамента

№	Модель фундамента	Вид грунта	Значения расчетной удельной касательной силы пучения $\tau_{\text{аfo}}^p$ , кПа		Снижение расчетной удельной касательной силы пучения, разы
			Модель фундамента, обработанного составом Базалит-Б	Модель фундамента без покрытия	
1	Бетон	песок мелкий	231,8	1055,6	4,6
2		супесь текучая	189,5	750,0	4,0
3		суглинок текучий	135,1	863,5	6,4
4		глина текучая	194,1	774,1	4,0
5	Металл	песок мелкий	269,9	357,8	1,3
6		супесь текучая	165,5	358,4	2,2
7		суглинок текучий	173,3	519,8	3,0
8		глина текучая	200,4	361,4	1,8

4. Ухов С. Б. Влияние искусственного засоления и рассоления связных грунтов на их физико-механические свойства // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1961. № 3. С. 7–11.
5. Гречищев С. Е., Брушков А. В., Павлов А. В. Экспериментальное изучение криогенного давления в промерзающих влагонасыщенных засоленных грунтах // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 33–36.
6. Васильев Н. К., Давыдов М. Г., Сокуров В. В., Штаталина И. Н. Укрепление мерзлых грунтов методом криотропного гелеобразования // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2009. Т. 253. С. 49–53.
7. Хабибуллина И. Н., Бешенов М. Е., Гелеверя Т. И. Использование укрепленных грунтов для устройства противопучинистых слоев на автомобильных дорогах // Известия КазГАСУ. 2011. Т. 16. № 2. С. 257–261.
8. Украинчук А. Ю. Стабилизация грунтов методом использования гидрофобизирующих добавок для снижения пучинообразования грунтов // Молодой ученый. 2012. № 1. Т. 1. С. 45–48.
9. Орлов В. О., Дубнов Ю. Д., Меренков Н. Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на фундаменты сооружений. М.: Стройиздат, 1977. 176 с.
10. Федоров В. И., Федорова Н. Я. Фундаменты в экстремальных природных условиях Дальнего Востока и Сибири (исследования, поиски, открытия). Владивосток: Изд-во ДВГТУ. 2003. 292 с.
11. Алявдин Д. В., Клестов А. Р., Потапова О. А. Лабораторные определения сил смерзания цементно-песчаных смесей с моделями фундаментов, защищённых, с целью снижения проявления сил морозного пучения грунтов, радиационно-модифицированным термоусаживаемым покрытием «Reline» // Актуальные инновационные исследования: наука и практика. 2012. № 3. С. 1–7.
12. Габля Ю. А. Фундаменты опор линий электропередачи в сложных грунтовых условиях. М.: Энергоиздат, 1981. 192 с.
13. Буков Н. Н., Горохов Р. В., Левашов А. С., Се Е. Ю., Шкабара Н. А., Ревенко В. В., Панюшкин В. Т. Новые антикоррозионные покрытия барьерного типа на основе базальтовой чешуи // Экология и промышленность России. 2009. №1. С. 32–33.

## References

1. Citovich N.A. *Mehanika merzlih gryntov* [Mechanics of frozen soils]. Moscow, Vysshaya shkola Publ, 1973. 448 p. (In Russian)
2. Dalmatov B.I., Lastochkin V.S. *Ystroistvo gazoprovodov v puchinistih gryntah* [The device pipelines in heaving soils]. Leningrad, Stroiiizdat Publ., 1978. 199 p. (In Russian)
3. Orlov V.O. Raschet optimal'noi tolschini peschano-graviinoi podsipki v ysvloviiah moroznogo pucheniya gryntov osnovanii pod nezaglyblennimi fyndamentami maloitajnih zdanii [The calculation of the optimum thickness of sand and gravel bedding under frost heaving of soil ground under the foundations not flush low-rise buildings]. *Osnovaniya, fyndamenti I mehanika gryntov* [Base, foundation and soil mechanics]. 1999. no. 3. pp. 23–27. (In Russian)
4. Yhov S.B. Vlianie iskysstvennogo zasolenia I rassolenia sviaznih gryntov na ih fiziko-mehanicheskie svoistva [Influence of artificial salinization and desalinization cohesive soils on their physical and mechanical properties]. *Osnovaniya fyndamenti I mehanika gryntov* [Base, foundation and soil mechanics], 1961, no. 3. pp. 7–11. (In Russian)

5. Grechshev S.E., Bryshkov A.V., Pavlov A.V. Eksperimental'noe izuchenie kriogenogo davleniya v promerzayushchikh vlagonasyshchennykh zasolennykh gruntakh [Experimental study of cryogenic pressure saturated with water in freezing saline soils]. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2012, vol. XVI, no. 1, pp. 33–36. (In Russian)
6. Vasiliev N.K., Davidov M.G., Sokurov V.V., Shatalina I.N. Ykreplenie merzlih gryntov metodom kriotropnogo geleobrazovania [Strengthening of frozen soils by cryotropic gelation]. *Izvestia Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotehniki im. B. E. Vedeneeva* [Proceedings of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering named B. Vedeneev], 2009, vol. 253, pp. 49–53. (In Russian)
7. Habibylyna I.N., Beshenov M.E. Geleveria T.I. Issledovanie ykreplionnih gryntov dlia ystroistva protivopychinistih sloev na avtomobil'nyh dorogah [The use of soil stabilization device protivopuchinistyh layers on the roads]. *Izvestia KazGASY* [Proceedings KazSASU], 2011, vol. 16, no. 2, pp. 257–261. (In Russian)
8. Ykrainchuk A.U. Stabilizacia gryntov metodom ispol'zovania gidrofobiziryushih dobavokdlia snijenia puchinoobrazovania gryntov [Soil stabilization by use of hydrophobic additives to reduce soil puchinoobrazovaniya]. *Molodoi ychenii* [Young scientist], 2012, vol. 1, no. 1, pp. 45–48. (In Russian)
9. Orlov V.O., Dybnov U.D., Merenkov N.D. *Pychenie merzlih gryntov I ego vlianie na fyndamenti sooryjenii* [Freezing swelling soils and its influence on the foundations of buildings]. Moscow, Stroizdat Publ., 1977, 176 p. (In Russian)
10. Fedorov V.I., Fedorova N.Ia. *Fyndamenti v ikstremal'nykh prirodnykh usloviakh Dal'nego Vostoka I Sibiri (issledovaniya, poiski, otkritiya)* [Foundations in extreme climatic conditions of the Far East and Siberia (research, search, discovery)]. Vladivostok, DVG TU Publ., 2003, 292 p. (In Russian)
11. Aliavdin D.V., Klestov A.R., Potapova O.A. Laboratornie opredeleniya sil smerzaniya cementno-peschanoi smesi s modeliami fyndamentov, zaschischennykh, s cel'yu snijeniya proiavlenniya sil moroznogo pucheniya gryntov, radiacionno-modificirovannim termoosajivaemim pokritiem "Reline" [Laboratory determination of the forces freezing cement-sand mixtures with models of foundations, protected, in order to reduce manifestations forces of frost heaving soils, radiation-modified heat-shrinkable cover "Reline"]. *Aktual'nie innovacionnye issledovaniya: nauka I praktika* [Recent innovative research: Science and Practice], 2012, no. 3, pp. 1–7. (In Russian)
12. Gablia U.A. *Fundamenti opor liniy elektropredachi v slojnykh gryntovykh usloviakh* [Foundations transmission towers in difficult ground conditions]. Moscow, Inergoizdat Publ., 1981, 192 p. (In Russian)
13. Boukov N.N., Gorokhov R.V., Levashov A.S., Se E.Yu., Shkabara N.A., Revenko V.V., Panyushkin V.T. Novie antikorrozionnye pokritiya bar'ernogo tipa na osnove bazal'tovoi cheshyi [New anti-corrosion coatings, barrier-type on the basis of basalt scales]. *Ikologiya I promishlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2009, no. 1, pp. 32–33. (In Russian)

---

Статья поступила 23 декабря 2014 г.

© Левашов А. С., Касаткина Т. Б., Горохов Р. В., Буков Н. Н., Ревенко В. В., 2015