

*Седин В.Л., Руденко Н.И., Руденко А.Н., Донцова Е.Н., частная фирма «БУК», г. Запорожье, Украина*

***Устройство водозащитного экрана (стен и днища) обжиговой печи № 7 химическим способом на ОАО «Укрграфит» в городе Запорожье***

***Arrangement of waterproof screen (walls and bottom) of calcining kiln № 7 by chemical way on OAS «Ukrgraphit» in city Zaporozhye***

Лессовые грунты распространены в областях с теплым и засушливым климатом. На территории СНГ они занимают площадь около 3 млн. км<sup>2</sup>. Мощность лессовых грунтов может достигать нескольких десятков метров. Наряду с типичными лессовыми грунтами встречаются лессовые суглинки и супеси. Лессовые грунты при естественной влажности являются достаточно прочными основаниями. Однако при замачивании лессовые грунты резко ухудшают свои физико-механические свойства. Их модуль деформации уменьшается почти в 10 раз от первоначального 50 МПа до 0,5 МПа. Сооружения, возведенные на просадочных грунтах, в результате неравномерных просадок сильно деформируются и нередко полностью разрушаются. Просадочные явления лессовых грунтов под сооружениями причиняют колоссальный ущерб народному хозяйству. Поэтому преобразование лессовых грунтов с целью устранить просадочные явления представляет важную народнохозяйственную проблему.

Loess soils of widespread in areas with a warm and droughty climate. On territory of the CIS they occupy an area about 3 million km<sup>2</sup>. Power of loess soils can arrive at a few ten of meters. Along with typical loess soils there are loess loams and supesi. Loess soils at natural humidity are durable enough grounds. However at a soakage loess soils worsen the physical and mechanical properties sharply. Their module of deformation diminishes almost in 10 times from primary 50 МПа to 0,5 МПа. Buildings, erected on prosadochnykh soils, as a result of uneven prosadok list strongly deformed and quite often collapse fully. The prosa-

dochnye phenomena of loess soils under buildings cause huge harm a national economy. Therefore transformation of loess soils on purpose remove the prosadochnye phenomena presents an important pertaining to national economy problem.

## 1. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОБВОДНЕННЫХ ГРУНТОВ

Соколович В. Е. обобщил исследования проведенные в области химического закрепления грунтов силикатным раствором за 100 – летний период, в котором отражены успехи химического закрепления, недостатки и поставлены проблемы для их устранения.

Силикатизация отличается простой технологией, выполняется несложным оборудованием и легко осваивается. Интенсивное внедрение способа силикатизации в строительстве связано с дальнейшим повышением его эффективности и удешевлением, которые могут быть достигнуты только на основе глубокого изучения физико-химического процесса силикатизации лессовых грунтов.

С этой целью в НИИОСП проводились специальные исследования, в результате которых [2] было установлено следующее:

При воздействии раствора силиката натрия на лессовые грунты происходит мгновенная обменная реакция между катионом кальция коллоидного поглощающего комплекса (ПК) лессовых грунтов и катионом натрия силикатного раствора. Вытесненный из поглощающего комплекса кальций в условиях сильной щелочной среды силикатного раствора образует **нерастворимую** твердую фазу гидрата окиси кальция с развитой поверхностью, на которой адсорбируется полианионы кремневой кислоты.

Однако основным источником образования  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  у большинства лессовых грунтов при их силикатизации являются обменные катионы кальция поглощающего комплекса.

Лессовые грунты, подлежащие силикатизации, должны обладать хорошей проницаемостью для силикатного раствора. Коэффициент фильтрации таких грунтов должен иметь значение 0,2-2м/сут. Закрепление лессовых грунтов с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут. Практически неосуществимо.

Изучение реакции силикатизации лессовых грунтов показало, что при существующей технологии силикатизации лессов выде-

лившиеся в процессе обменных реакций  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  способен связать не более 30–50% нагнетаемого в грунт силикатного раствора, остальная часть имеет второстепенное значение и может не принимать активного участия в общем процессе силикатизации лессовых грунтов. Этот существенный недостаток усугубляется несовершенством технологии способа силикатизации.

Непрореагированный раствор силиката натрия способен выщелачиваться грунтовыми водами, в следствии чего прочность закрепления может снизиться до 30-40% первоначальной [1].

В трудах Соколовича В. Е. не решены проблемы закрепления обводненных лессовых грунтов, плавунув, способом силикатизации.

О важности и сложности данной проблемы, как выполнение водозащитного экрана в обводненных лессовых грунтах (плавунух), говорит тот факт, что в мировой строительной практике не было описано не одного случая закрепления таких грунтов.

При решении данной проблемы были проанализированы научно-исследовательские работы с 1968 г. сначала в Запорожском отделе БВ ВНИИОСП им. Н.М. Герсеванова, а в 1991 г. исследования были продолжены и по настоящее время коллективом ЧФ «БУК» под руководством ее автора Руденко Н. И.

Разработка рецептуры, проекта [3...10], контрольные полевые закрепления и фактическое выполнение объемов работ осуществлялось под непосредственным контролем главного инженера проекта, при участии сотрудников ЧФ «БУК» в соответствии с лицензией АА №320228, выданной Запорожской областной администрацией 27.05.02 г. за № 54.

Работы выполнялись технологическим оборудованием ЧФ «БУК» и разработаны по а.с. №1041638-SU (инструмент) [11], SU № 1203192 А (технология) [12], RU № 2047410 Патент (оборудование) [13].

В результате выполнения проектных решений подрядчиком ООО «Внешметпром», главным инженером проекта, главным инженером и директором организации на период реконструкции печи – Н.И. Руденко, договор подряда № 804/38319/20 от 19 мая 2003г., в течении 9 месяцев (с ноября 2003г. по август 2004 г.) закреплено 3091,0 м<sup>3</sup> обводненного грунта (плавунуха), сметная стоимость работ 2591,130 тыс. грн.

Решена основная техническая задача: обеспечена устойчивость фундаментов, колон, каркаса, всего корпуса № 2 цеха № 3 при производстве реконструкции обжиговой печи № 7 и обеспечена ее дальнейшая безаварийная долговечная эксплуатация.

Частная фирма «БУК» в состоянии осуществлять данную проблему, новое направление в фундаментостроении, как подрядчик не только на территории ОАО «Укрграфит» при реконструкции, но и при новом строительстве.

### *1 Краткая характеристика грунтовых условий*

Характеристика грунтовых условий площадки приводится по материалам инженерно-геологических изысканий, выполненных Запорожским филиалом «УкрНИНТИЗ» в 2002–2003 гг. (см. рис. 1).

Площадка сложена четвертичными лессовыми отложениями, перекрытыми насыпными грунтами. В основании изученного разреза залегают краснокоричневые плотные вязкие тяжелые суглинки, переходящие в глины.

По своим физико-механическим свойствам, номенклатурным признакам и генезису все грунты, слагающие площадку, разделены на шесть инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Химическому закреплению подвергались грунты ИГЭ-IV (обратная засыпка пазух котлована обжиговой печи), ИГЭ-II (суглинки лессовые) и ИГЭ-III (супеси лессовые).

Следует отметить, что специфические условия работы обжиговой печи (высокие температуры дымовых газов и наружной футеровки, различный химический состав газов), а также постоянная в течении длительного времени откачка грунтовых вод снизили химическую активность (поглощающий комплекс) лессовых грунтов в два раза (с 14 мг/экв до 8-9 мг/экв).

### *2 Противофильтрационная завеса*

Противофильтрационная завеса выполнена в виде трех перекрывающих друг друга элементов (I, II, III) (см. рис. 2).

I – противофильтрационная стенка по периметру обжиговой печи на расстоянии 2452 мм от осей рядов «П» и «Ф» на интервале глубин минус 2,150 м – минус 7,435 в 5 заходок (ниже днища на 2,0 м);

II – закрепление участка между противофильтрационной стенкой и бетонным днищем печи на интервале глубин минус 4,435 м – минус 7,435 м в три заходки (ниже днища на 2,0 м);

III – закрепление грунтов под днищем печи на интервале глубин минус 5,435 м – минус 6,435 м через отверстия, пробуренные в плите, одной заходкой (ниже днища на 1,0 м).

Как уже отмечалось, работы по всем трем элементам противофильтрационной завесы велись параллельно.

### ***3 Технология и организация производства работ***

В соответствии с проектом создание противофильтрационной завесы выполнялось двумя способами: однорастворной силикатизацией с предварительной активацией грунтов (в тексте далее «активизация») и однорастворной силикатизацией без предварительной активации грунтов (в тексте далее «силикатизация»).

В качестве закрепляющего реагента применялся раствор силиката натрия плотностью 1,43–1,45 г/см<sup>3</sup> с силикатным модулем 2,85–2,89 (ГОСТ 130078-81). Плотность рабочего закрепляющего раствора составила 1,19–1,21 г/см<sup>3</sup> при температуре 12–20 °С.

Для повышения поглощающего комплекса (химической активности) грунтов применялся раствор продуцентов катионов кальция плотностью 1,029–1,037 г/см<sup>3</sup> Ca(OH)<sub>2</sub> ГОСТ 450-77).

Для ускорения схватывания водонасыщенных грунтов при «активизации» и «силикатизации» дополнительно производилось нагнетание цементного молока (цемент М 400).

«Активизация» выполнялась по схеме «сверху-вниз» заходками (1,0 м), в каждую из которых последовательно нагнетался активатор, (известковый раствор продуцентов катионов кальция), раствор силиката натрия плотностью 1,19–1,21 г/м<sup>3</sup> и цементное молоко.

«Силикатизация» производилась по схеме «снизу-вверх» заходками (1,0 м), в каждую из которых нагнетались рабочий раствор силиката натрия плотностью 1,19–1,21 г/см<sup>3</sup>, а затем и цементное молоко.

При выполнении работ по «активизации», «силикатизации» и цементации с целью предупреждения выхода рабочих растворов на поверхность через насыпной грунт или ухода этих растворов в грунтовые полости производился подбашмачный тампонаж.

Согласно требованиям нормативных документов после завершения нагнетания закрепляющих растворов выполнена ликвидация точек инъекции путем заполнения их густым цементным раствором (тампонаж скважин).

### ***3.1 Противофильтрационная стенка (Элемент I)***

Создание противофильтрационной стенки выполнялось комбинированным способом, т.е. применялись как «активизация» так и «силикатизация».

Точки «активизации» и «силикатизации» располагались последовательно друг за другом с шагом 1,0 м и шагом 0,785 м с верхней отметкой минус 2,150 м. Нижняя отметка точек «активизации» составила минус 8,435 м, точек «силикатизации» – минус 7,435 м.

По рядам «П» и «Ф» количество точек «активизации» и «силикатизации» составило – 368 шт.

В торцах печи выполнено: в районе оси «10» по 110 точек «активизации» и «силикатизации», в районе оси «22» – по 95 шт.

### ***3.2 Участок между противофильтрационной стенкой и днищем (Элемент II)***

Закрепление грунтов на этом элементе выполнялось, как и на предыдущем, комбинированным способом, т.е. применялись как «активизация» так и «силикатизация», с шагом радиуса закрепления. Верхняя отметка точек инъекции составляет минус 4,435 м.

Нижняя отметка точек «активизации» находится на глубине минус 8,435 м, «силикатизации» – на минус 7,435 м. Выполнено по 188 точек «активизации» и «силикатизации».

### ***3.3 Днище печи (Элемент III)***

В связи с тем, что закрепление грунтов под днищем выполняется одной заходкой, в проект работ внесено изменение, по которому все технологические процессы («активизация» и «силикатизация») вместо выполнения их в трех отдельных точках инъекции совмещаются одной.

Этим достигается удешевление работ и сокращение сроков их исполнения.

Однако, при этом в одной точке инъекции практически одновременно вступают в работу реагенты (щелочь, силикат натрия, це-

мент). Согласно работам НИИОСП им. Н.М. Герсеванова одним комплектом инъекторов допускается применение не более 2-3-х реагентов, т.к. большее их количество ведет к забивке (засорению) оборудования и выходу его из строя.

Исходя из этого применялась следующая последовательность работ:

- «активизация»;
- забивка инъекторов;
- извлечение инъекторов;
- погружение второго комплекта инъекторов;
- «силикатизация».

По днищу печи точки инъекции расположены в шахматном порядке с шагом в радиусе закрепления.

Закрепление грунтов под днищем печи выполнялось на длину одной заходки (1,0 м) в интервале от отметки минус 5,435 м до минус 6,435 м.

Всего по днищу выполнено точек инъекции:

- в осях «22» -«20» – 322 шт.;
- в осях «20» -«10» – 1932 шт.

## 2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ

Контроль качества работ осуществлялся по двум направлениям: контроль качества исходного закрепляющего материала (жидкого стекла) и контроль качества закрепления грунтов.

Контроль качества закрепляющего раствора (жидкого стекла), получаемого от изготовителя, заключался в определении по каждой поступающей партии исходного материала его удельного веса, и силикатного модуля. Определение указанных параметров выполнялись городским коммунальным предприятием «Основание». Результаты лабораторных анализов показывают, что исходный материал, поступающий от изготовителя, соответствует требованиям нормативных документов.

Контроль качества закрепления грунтов производился в течение всего периода работ и заключался в проходке шурфов на всю мощность закрепленного массива, отборе из шурфов образцов грунта с ненарушенной структурой (монолитов) и лабораторных исследованиях этих образцов.

Изучались деформационные и прочностные свойства закрепленных грунтов: модуль деформации, относительная просадочность, удельное сцепление и угол внутреннего трения (Запорожский филиал «Укрниинтиз»), а также прочность при одноосном сжатии («Будідустрія ЛТД»).

Результаты лабораторных исследований указывают на резкое улучшение всех физико-механических характеристик грунтов.

### 3. ВЫВОДЫ

На основании результатов выполненных работ делаются следующие выводы:

- 1 Просадочные свойства закрепляемых грунтов устранены.
- 2 Все физико-механические характеристики грунтов после их химического закрепления резко и необратимо улучшились.
- 3 Достигнута монолитность закрепления в пределах радиуса распространения закрепляющего раствора.
- 4 Прочность закрепленных грунтов при одноосном сжатии составила 0,3–0,5 МПа.
- 5 Грунты приобрели водостойкость.
- 6 Закреплено – 3091,0 м<sup>3</sup> водонасыщенных грунтов (плавунов).
- 7 Произведено регулируемое – контролируемое закрепление обводненных грунтов (плавунов) силикатным раствором.
- 8 Впервые в мировой практике авторами выполнено из силикатогрунта подземное сооружение – 20 x 90 м. Толщина стен и днища составила не менее 1,20 м. На технологии, инструменты поданы авторами заявки и получены патенты [14, 15, 16].



*призначення*

**У К Р А І Н А**  
**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ**  
**"БУДІНДУСТРІЯ ЛТД"**

69057, м. Запоріжжя-57, вул. Томашівська, 2  
телефон/факс (061) 220-04-85, 224-66-21, 224-67-74  
Розрахунковий рахунок № 26001301155663 ЦВ ПІБ м. Запоріжжя  
МФО 313355. Код ОКЕД 19266744.

**АКРЕДИТОВАНА НЕЗАЛЕЖНА ВИПРОБУВАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ**

Атестат акредитації випробувальної  
лабораторії № UA.6.002.H.592,  
зарєєстрований в Реєстрі НААУ  
30 вересня 2003 р.



м. Бабакаєвське  
15 лютого 2004 р.

**ПРОТОКОЛ № 151**  
**випробувань продукції**

**Найменування продукції:** Зразки ґрунту, закріплені хімічним способом

**Замовник та його адреса:** ТОВ "Внешетром"

**Заявка:** № 56 від 08.07.04 р.

**Дата проведення випробування:** 16.07.04-18.07.04р.

**Мета:** Визначення міцності на стиск ґрунту відповідно  
ГОСТ 51180-84 "ґрунти. Методи лабораторного визначення  
фізических характеристик"

**Результати випробувань**  
поданого зразка (проби) продукції

№ пп	Глибина відбору зразків, м	Міцність, кг/см <sup>2</sup>
1	5,5	4,9
2	5,0	2,98
3		4,23
4	4,5	3,87
5	4,0	4,6
6		4,2
7	3,5	3,5
8		3,38

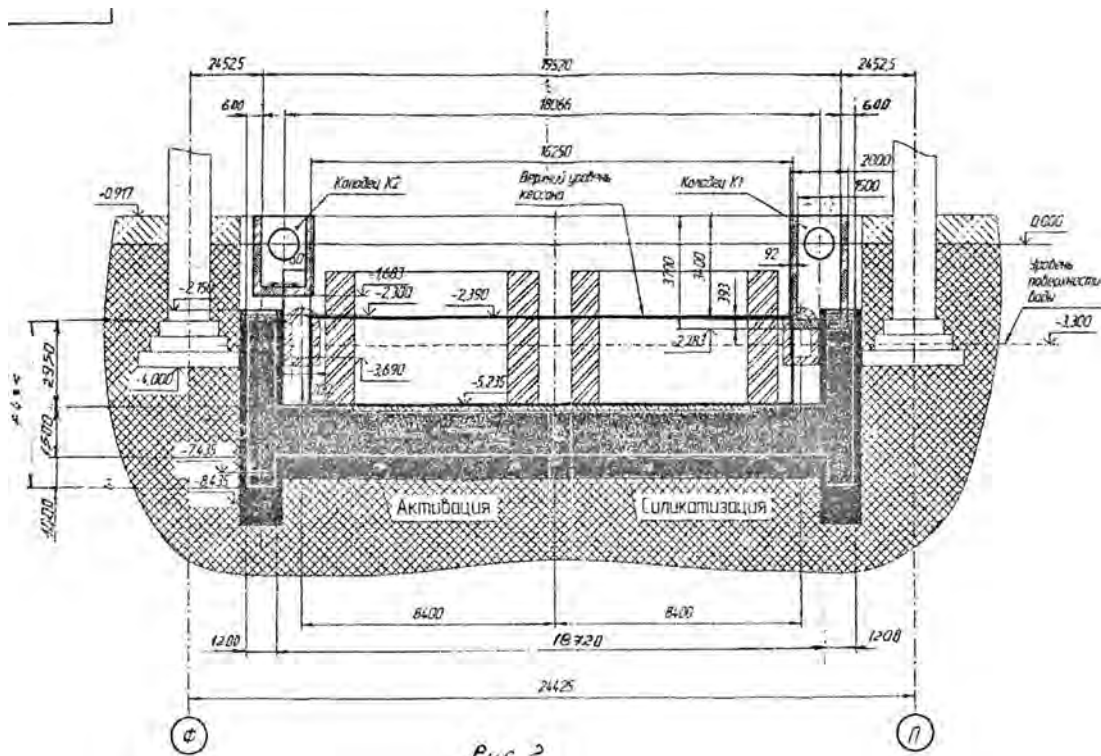
Випробування провела:

інженер ВП

В.С. Спельт

**Увага:** Протокол стосується лише зразків продукції, що були піддані випробуванням.  
Передруквання протоколу випробувань частково, або повністю, без дозволу випробувальної  
лабораторії забороняється!





## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Соколович, В.Е. Химическое закрепление грунтов / В.Е. Соколович. – М.: Стройиздат, 1980. – 119 с.
- 2 Соколович, В.Е. О силикатизации лессовых грунтов / В.Е. Соколович // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1965. – № 1.
- 3 Ржаницын, Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с. (Надежность и качество) Госстроя СССР.
- 4 НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, Госстроя СССР «Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов». – М., 1977. – 187 с.
- 5 Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). – М.: Стройиздат, 1986.
- 6 Рекомендации по подготовке оснований и устройству фундаментов из силикатизированного лессового грунта. – М. Стройиздат, 1985.
- 7 ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация.
- 8 ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.
- 9 ГОСТ 9.602-88. Подземные сооружения».
- 10 СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии.
- 11 Авт. свид. SU № 1041633. Инъектор для закрепления грунта. (Н.И. Руденко О.Г. Пересыпко, Л.В. Иноземцева). – заяв. 04.02.82 № 3389489/ 29-33; опуб. в Б.И., 1983 г., № 34.
- 12 Авт. свид. SU № 1203192. Способ закрепления просадочного лессового грунта.(И.И. Зубко и А.И. Сабанов) – заяв. 09.03.83 № 3393427/29-33; опуб. в Б. И., 1986 г., № 1.
- 13 Патент RU 2047410. Электромагнитный пресс. (Шевчук В.И., Герасимчук С.Д., Стоянов А.Д., Абакумов В.А.) – заяв. 17.07.92 № 5055175/08, опуб. в Б. И. 1995 г., № 31.
- 14 Руденко, М.І., Руденко, А.М., Донцова, О.М. «Спосіб хімічного закріплення ґрунту». Заявлено 29.12.2003 р./№ 20031212820/ Патент № 75409. Бюлетень № 4 17.04.2006 р.
- 15 Руденко, М.І., Руденко, А.М., Донцова, О.М. «Ін'єктор для закріплення ґрунту». Заявлено 15.04.2004 р. / № 20040402797 UA/ Патент № 78521. Бюлетень № 4 10.04.2007 р.
- 16 Руденко, М.І., Руденко, А.М., Донцова, О.М. «Спосіб закріплення просадочного ґрунту». Заявлено 10.08.2004 р. / № 20040806689 UA/ Патент № 78543. Бюлетень № 4 10.04.2007 р.