

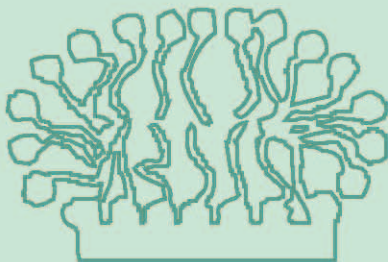
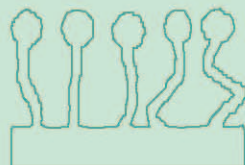


БИБЛИОТЕКА НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И ПРОЕКТОВ НИУ МГСУ



М.И. Панфилова
Н.И. Зубрев
М.В. Фомина

**ВСПЕНЕННЫЕ
ИНЪЕКЦИОННЫЕ
РАСТВОРЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**



СТРОИТЕЛЬСТВО

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ

М.И. Панфилова, Н.И. Зубрев, М.В. Фомина

ВСПЕНЕННЫЕ ИНЪЕКЦИОННЫЕ РАСТВОРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Москва 2015

УДК 669.97
ББК 38.33
П16

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Р е ц е н з е н т ы:

доктор технических наук, профессор *Р.А. Халитов*,
профессор кафедры оборудования химических заводов
ФГБОУ ВПО «КНИТУ»;
кандидат физико-математических наук, профессор *Н.И. Прокофьева*,
заведующая кафедрой физики ФГБОУ ВПО «МГСУ»

*Монография рекомендована к публикации
научно-техническим советом МГСУ*

Панфилова, М.И.

П16 Вспененные инъекционные растворы в строительстве / М.И. Панфилова, Н.И. Зубрев, М.В. Фомина ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2015. 128 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).

ISBN 978-5-7264-0999-3

Рассмотрены вопросы получения вспененных тампонажных растворов. Особое внимание уделено вопросам структурообразования композитных растворов с оптимальными физико-техническими параметрами.

Для специалистов и научных работников в области транспортного строительства, а также для студентов всех специальностей направления «Строительство».

**УДК 669.97
ББК 38.33**

ISBN 978-5-7264-0999-3

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	4
Глава 1. Физико-химические свойства вспененных композитных систем	6
1.1. Применение пен в транспортном строительстве	6
1.2. Факторы, влияющие на устойчивость пен	19
1.2.1. Строение пен (строение, образование, геометрия пен, кратность, устойчивость, синерезис)	19
1.3. Физико-химические свойства пенообразователей	29
1.3.1. Физико-химические свойства аэрированных композитных растворов техническими моющими средствами	57
1.4. Физико-химические свойства бентонита	60
1.5. Структурообразование в композитных цементных растворах	74
Глава 2. Устойчивость вспененных бентонитовых суспензий в присутствии стабилизаторов	92
2.1. Устойчивость и структурно-механические свойства вспененных бентонитовых суспензий	92
2.2. Влияние добавок крахмала на устойчивость вспененных бентонитовых суспензий	95
2.3. Устойчивость бентонитовых суспензий с модифицированным стабилизатором	98
2.4. Структурно-механические свойства вспененных бентонитовых суспензий с модифицированным стабилизатором	108
Глава 3. Структурно-механические свойства вспененных композитных растворов	112
3.1. Структурообразование и физико-механические свойства вспененных растворов с жидким стеклом	112
Глава 4. Многокомпонентные вспененные композитные системы	116
4.1. Совместное влияние добавок крахмала и жидкого стекла на технологические параметры вспененных композитных растворов ..	116
4.2. Практические рекомендации составов вспененных растворов	117
Библиографический список	119

Глава 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВСПЕНЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ

1.1. Применение пен в транспортном строительстве

В транспортном строительстве при проходке тоннелей для вытеснения грунтовых вод из забоя и закрепления грунтов используются микрощиты, в которые под давлением вводится глинистая суспензия, так называемый бентонитовый щит.

В зарубежных странах (Япония, Франция, Англия) при проходке тоннелей используют щиты с пеногрунтовым пригрузом, в которые под давлением подается пена специального состава. Она имеет консистенцию крема и состоит из смеси пенообразующего вещества и сжатого воздуха. При этом смесь пены с грунтом становится текучей и легко удаляется с поверхности. Кроме того, повышается устойчивость забоя, и снижается налипание удаляемого грунта на рабочие части и поверхность призабойной камеры [2].

В Англии с 60-х годов фирмой «Аэроцем» использовались пенорастворы на основе минеральных вяжущих: цемент (известь или специально аэрированный гипс) + песок + вода + вспенивающая добавка «Типол» для инъектирования, создания наружных водонепроницаемых покрытий, заделки стыков и швов железобетонных (ж. б.) элементов, создания декоративных и огнестойких покрытий.

В больших масштабах работы по заделке стыков и швов ж. б. элементов проводились в Севернском, Чарринг Сodbери, Саупертонском и др. тоннелях Западных железных дорог (Великобритания).

Вспененные тампонажные растворы использовались «Гидроспецстроем» в 1979 г. на строительстве Русаковской автострады в Москве. Грунты на участке строительства эстакады представлены известняками, которые подвержены карстово-суффозионным процессам. Поэтому был разработан проект уплотнения десятиметровой толщи грунтов инъекцией тампонажных растворов с целью повышения несущей способности. Согласно проекту уплотнение закарстованной зоны известняков осуществлялось путем инъекции цементного раствора через систему скважин на глубину до 25 м. Проектный расход цемента на 1 м³ раствора составлял от 450 до 1100 кг при плотности раствора 1,3—1,75 т/м³.

После проведения цементации в основании ряда опор эстакады было установлено, что фактический расход тампонажного раствора в несколько раз превышает проектную норму, т.е. наблюдался большой перерасход цемента.

Так, при уплотнении грунтов в основании ряда опор было израсходовано в среднем по 1000—1200 т цемента на каждую опору, что в 2—2,5 раза превышает проектную норму. Значительный перерасход цемента вызван распространением раствора за пределы планируемого участка. С использованием цементно-зольных растворов расход цемента несколько сократился, но остался все же значительным.

С целью сокращения расхода цемента в опытном порядке были опробованы вспененные цементные растворы, которые закачали в десять скважин.

На опытных работах применяли цементный раствор с В/Ц = 0,6, вспененный до плотности 1,1 т/м³. При инъекции вспененного раствора наблюдался непрерывный рост давления во времени, таким образом, в десять скважин было закачено около 100 м³ раствора. По сравнению со скважинами, где инъекция производилась обычным цементным раствором с В/Ц = 0,6 расход вспененных растворов сократился в среднем в 2-3 раза.

Первые щиты фирмы «Обояся-Гуми» появились и использовались для временного укрепления грунта путем введения в него раствора аэрированной целлюлозы [2].

Для повышения технологии щитов с пено-грунтовым пригрузом было организовано общество «Кихо Сирудо Кохо Кекай», в составе которого находилось 38 фирм. В короткое время было приготовлено 103 щитовых комплекса диаметром до 7,75 м.

В Европе также проводились подобные исследования. Так, например, во Франции на участке строительства метрополитена в г. Лилле в июле 1994 г. завершили проходку тоннеля в глинистых грунтах с нагнетанием пены в забой длиной 3,371 м. Пенообразующий раствор насосом подавали сжатым воздухом в резервуар накопления. При этом воздух и пенообразующий раствор раздельно подавали в пеногенератор, из которого пена с определенными техническими параметрами подавалась в распределительную сеть трубопроводов и затем в призабойную камеру щита.

При строительстве участка метрополитена в Валенсии применяли щит диаметром 6,25 м фирмы «Херренкнехт» с пеногрунтовым пригрузом для проходки двух тоннелей длиной по 2,3 км: одного под дном реки на глубине 15 м, другого на глубине 26 м. Для первого тоннеля пену готовили из жидкого концентрата. Расход пены составлял 500 л на 1 м³ грунта (0,018 л пенного концентрата + 17,82 л воды + воздух).

На второй линии в пенообразующий раствор вводили полимерную добавку, которая снижала проницаемость массы и ликвидировала протекание грунтовых вод в рабочую зону.

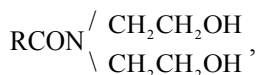
В Японии специалисты фирмы «Тони Боринг К° ЛТД» применяют пеноцементные растворы цемент + песок + бентонит или зольная пыль + + вода + ПАВ + алюминиевая пудра) для тампонирувания пустот. Из воздухововлекающих добавок широкое применение нашла добавка «Позолис», повышающая пластичность, морозостойкость и снижающая водопроницаемость раствора, а также способствующая устойчивому вовлечению воздуха.

Фирма «Кокен Боринг К° ЛТД» успешно использует пеноцементные растворы (цемент + песок + бентонит или зольная пыль + вода + ПАВ) для укрепления грунтов за обделкой тоннеля и щитовых сегментов, а также для препактбетонных работ¹. Для выполнения работ фирма применяет смесительные установки серии КМР, снабженные специальной воздухововлекающей лопастью, и гидравлические насосы. Насосы обеспечивают высокую эффективность при нагнетании вспененных цементных растворов, имеют производительность от 0 до 470 л/мин при давлении нагнетания от 0 до 5 МПа.

Цементный раствор с пеносиликатом или жидким стеклом нагнетался за обделку однопутного перегонного тоннеля на строительстве участка метрополитена в г. Осака. Проходка осуществлялась двумя механизированными щитами 6,93 м с грунтовой пригрузкой забоя, специально оборудованными для синхронного нагнетания раствора за обделку по мере перемещения щита через пять трубок, расположенных снаружи хвостовой оболочки щита в его замковой части и оснащенных системами промывки или прочистки поршнем.

В странах Западной Европы структурированные пены получают на основании различных патентов, в которых учтены свойства различных ПАВ, стабилизированных водорастворимыми синтетическими и природными полимерами.

В качестве вспенивателя в пенобетоне используют (акц. заявка 48-1408 Япония, СО4В 16/00, опубл. 17.01.1973) диэтаноламид жирной кислоты общей формулы:



где группа RCO — насыщенный или ненасыщенный ацил с 8—18 атомами углерода нормального изостроения.

Пенообразователь (а.с. 990722 СССР, СО4В 15/02, опубл. 25.06.1981) содержит следующие компоненты (мас. %): жирные кислоты — 0,25—0,3; едкий натрий — 0,1-0,2; карбонат натрия — 0,05—0,1; кремнефтори-

¹ Сооружение бетонных конструкций путем нагнетания цементного раствора в зазоры в грубом наполнителе, которым предварительно заполняется опалубка.

стый натрий — 10—30; вода — остальное. Смесь предварительно подогревается до 60 °С для равномерного растворения жирных кислот.

Пенообразователь для поризации бетонной смеси (а.с. 992464 СССР, СО4В 15/02, опубл. 30.01.1983) состоит (мас. %): из пасты алкилсульфатов; синтетических жирных спиртов — 0,1—0,15; жидкого стекла — 0,25—0,75; воды.

Пенообразователь для поризации бетонных смесей (а.с. 1152946 СССР, СО4В 28/02, опубл. 30.04.1985) содержит (мас. %): древесный омыленный пек — 3—6; в качестве стабилизатора глиняный порошок — 16—18 и воду — остальное.

Для легких бетонов используют пенообразователь (а.с. 1161498 СССР, СО4В 28/02, опубл. 15.06.1985) из (мас. %): ПАВ — додецилбензолсульфонатов — 7,3—10,6; несulfированные соединения — 0,35—3,0; сульфата натрия — 3—10; оксида фосфора — 7,5—14,9; оксид кремния — 0,45—2,1 и воды.

Для изготовления теплоизоляционного бетона (ТИ), бетона (а.с. 1183481 СССР, СО4В 28/02, опубл. 07.10.1985), в состав которого входят (мас. %): древесный омыленный пек — 3-4; мелассная упаренная последрожевая барда — 0,5—1,5 и вода.

Для поризации бетонных смесей (а.с. 1184835 СССР, СО4В 28/02, опубл. 15.10.1985) используют (мас. %): триэтаноламиновую соль лаурилсульфата (ПАВ) — 0,08—0,32; мездровый клей — 0,2—10 и воду. При этом соль разводят в воде с температурой 30—40 °С, отдельно готовят раствор клея в воде при $t = 50—60$ °С, смешивают оба раствора и осуществляют вспенивание механическим или аэрационным способом.

Для поризации легких бетонов (а.с. 1189844 СССР, СО4В 28/02, опубл. 07.11.1985) применяли пенообразователь из (мас. %): древесной омыленной смолы — 3—5; гидравлической извести — 3—13; мездрового клея — 0,3—1,0; едкого натра — 0,2—0,5 и воды. Раствор готовят при непрерывном перемешивании в воде едкого натра (марки РД-2), смолы древесной (марки СДО) и клея, а затем в него добавляют гидравлическую известь. В смесителе при числе оборотов мешалки 3000 об/мин из пенообразователя получают пену в течение 15—20 с.

Для поризации гипсобетонных смесей применяют пенообразователь (а.с. 1252321 СССР, СО4В 38/10, опубл. 23.08.1986), в состав которого входят (мас. %): алкилароматические сульфонаты — 75—95 и сульфат оксида железа — 5—25.

Пенообразователь (а.с. 1268552 СССР, СО4В 38/10, опубл. 07.11.1986) содержит (мас. %): мездровый клей в качестве связующего — 1—6; сульфонол — 6—20; алюмоаммониевые квасцы — 0,1—1,0; воду — остальное. Квасцы химически взаимодействуют со сложными функ-

циональными группами мыла и животного клея и создают прочные межмолекулярные мостики, что резко снижает набухание мыльной пленки и повышает ее прочность.

Пенообразователь (а.с. 1271855 СССР, СО4В 38/10, опубл. 23.11.1986) содержит (мас. %): лигносульфатное связующее — 1,0—10,0; сульфат марганца (меди или цинка) — 0,25—2,5; гидроксид натрия — 0,055—0,55; воду — остальное. Пенообразователь используют для изготовления поризованных изделий на основе цемента, глины, извести, гипса и других материалов. В качестве лигносульфатного связующего используют концентраты сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) — жидкие (КБЖ) и твердые (КБТ).

Пенообразователь для поризации бетонной смеси (а.с. 1291585 СССР, СО4В 38/10, опубл. 23.02.1987) содержит (мас. %): алкилсульфаты фракции C₁₀-C₁₃ — 10—30; высшие жирные спирты фракции C₁₂-C₁₆ — 0,5—5,0; мочевины — 3—10; бутанол — 5—15 и воду. Содержание мочевины способствует взаимной растворимости компонентов и их растворимости в воде, а бутанол увеличивает срок хранения пенообразователя, предотвращает выпадение из него сульфата натрия, а также улучшает твердую форму пенообразователя.

Для поризации дисперсной смеси используют композицию (а.с. 1303595 СССР, СО4В 38/10, опубл. 15.04.1987), состоящую из (мас. %): натрийалкилсульфат — 20—70; триэтаноламиналкилсульфат — 15—45; моноэтаноламид — 5—10; жидкое стекло — остальное. Пенообразователь готовят в следующей последовательности: смешивают натриевые и ТЭА алкилсульфаты, моноэтаноламиды, жидкое стекло. Товарная концентрация пенообразователя в водном растворе — 40—50 %. Вспенивание производится аэрированием в турбулентном смесителе с последовательным дозированием воды, молотого песка, цемента, извести и смешивании в течение 45—60 с, затем вводится пенообразователь и перемешивается смесь 150—180 с. Поризованную смесь разливают в формы, выдерживают до приобретения прочности 0,3 МПа, после чего автоклавируют при избыточном давлении пара 1,0 МПа.

Для повышения устойчивости пены и повышения прочности пенобетона используют пенообразователь (а.с. 1308601 СССР, СО4В 38/10, опубл. 07.05.1987), из (мас. %): натриевой соли продуктов гидролиза нерастворимых белков — 1,5—3; сульфанола — 3—8 и воды. В состав раствора натриевой соли продуктов гидролиза нерастворимых белков входят (мас. %): натриевая соль пентоидов — 40—50; хлорид натрия — 0,1—0,4; ацетат натрия — 1,5—2,5; вода — 48—58; соль имеет рН 8,0—8,2; плотность — 1,1—1,18 г/см³.

Для улучшения пенообразующей способности и повышения устойчивости пены в пенообразователь (а.с. 1337373 СССР, СО4В 38/10, опубл. 15.09.1987), состоящий из органического сульфоната, для сульфат закиси железа в воду добавляют гипохлорит натрия или кальция при следующем соотношении компонентов (мас. %): сульфонат (вторичные алкилсульфаты, например «Прогресс», алкилароматические сульфонаты, например, контакт черный нейтрализованный рафинированный, или КЧНР; алкиларилсульфонат ДС-РАС, лигносульфонаты) — 0,1—2,5; сульфат закиси железа — 0,1—5; гипохлорит натрия или кальция (хлорная известь) — 0,1—1,0 и воду. Сульфонаты в растворах образуют отрицательно заряженные частицы, которые взаимодействуют с положительно заряженными частицами гидроксида железа из модифицированного гипохлоритом сульфата. Это приводит к увеличению вязкости жидкости в пленках пены, повышению их сорбционной емкости по отношению к воде, в результате чего происходит упрочнение пленок и замедленное истечение из них воды, что приводит к повышению устойчивости пены, ее кратности и скорости вспенивания.

Для поризации бетонной смеси в пенообразователь могут включать (мас. %):

- сульфонол — 1; тринатрийфосфат — 0,4—1,0; жидкое стекло — 0,8—3,0; воду (а.с. 1368305 СССР, СО4В 38/10, опубл. 23.01.1988);

- древесный омыленный пек — 3—5; портландцемент — 2—7; воду (а.с. 1399295 СССР, СО4В 38/10, опубл. 30.05.1988);

- смолу древесную омыленную (СДО) — 3—5; гидравлическую известь — 1,0—2,5 и электрохимически активированную щелочную водку (катодит с pH = 9-10) — (а.с. 1413097 СССР, СО4В 38/10, опубл. 30.07.1988);

- трехатомный спирт — 0,3—0,5; натриевую соль карбоновой кислоты — 1—1,5 и воду; рабочий раствор пенообразователя готовят концентрацией 1:60. На приготовление 1 л пены расходуется 40 см³ пенообразователя (а.с. 1502543 СССР, СО4В 38/08, опубл. 23.08.1989);

- омыленные таловые отходы — 2,5—4,5; мездровый или костный клей — 4,5—7,5 и воду (а.с. 1528768 СССР, СО4В 38/10, опубл. 15.12.1989);

- СДО — 4—6; строительный гипс — 20—24 и воду (а.с. 1546452 СССР, СО4В 38/10, опубл. 28.02.1990);

- окись алкилдиметиламина — 0,02—0,29; цемент — 60—67 и воду (а.с. 1599350 СССР, СО4В 38/10, опубл. 15.10.1990);

- триэтаноламиновые соли алкилсульфатов фракции C₇-C₁₄ — 30—44; высшие жирные спирты фракции C₁₀-C₁₃ — 0,4—6,0; триэтаноламин — 0,5—3,0 и воду (а.с. 1643508 СССР, СО4В 38/10, опубл. 23.04.1991);

– СДО — 3—4; карбидный ил — 2—5; шлам — отход флотации золы уноса — 3—8 и воду (а.с. 1669901 СССР, СО4В 38/10, опубл. 15.08.1991);

– СДО — 3—5; красный бокситовый шлам — 12—16 и воду (а.с. 1669902 СССР, СО4В 38/10, опубл. 15.08.1991);

– цемент (ПЦ-400) — 10—15; канифольное мыло (из омыленной натриевой щелочью канифоли) — 0,8—1,0; карбамидную смолу (марки КФЖ) — 1,9—2,1 и воду (а.с. 1680676 СССР, СО4В 38/10, опубл. 30.09.1991).

При получении легкого бетона используют пенообразователь (пат. 2086519 Россия, СО4В 38/10, опубл. 06. 05. 1995) из таллового лигнина, омыленный до полного смешивания с водой при 80—90 °С водным раствором едкого натра с концентрацией 4-5 % при следующих соотношениях компонентов (мас. %): талловый лигнин омыленный — 5—15; клей костный или мездровый — 2,5—7,5; вода — остальное.

Фторсодержащие стабилизаторы пены (пат. 6153005 США СО4В 24/15, опубл. 16.04.1999) используют в сочетании с ПАВ для получения пены при производстве пенобетона.

Для производства пеногипсовых материалов и изделий используют следующие пенообразователи (с компонентами в вес. %):

– «Каскад» — алкилсульфаты — 15—25; высшие жирные спирты фракции C₁₂-C₁₆ — 1—3; мочевины — 10—20; бутанол — 8—12; вода — остальное (а.с. 967996 СССР, СО4В 15/02, опубл. 27.05.1981);

– ТЭАС — триэтаноламиновые соли алкилсульфатов первичных жирных спиртов с длиной углеродных атомов C₇-C₁₅ — 29—60; вода — 40—80 (а.с. 1114644 СССР, СО4В 15/02, опубл. 11.03.1983);

– «Поток» — моноалкиловые эфиры серной кислоты с длиной алкильной цепи от C₅ до C₁₅, нейтрализованные натриевой щелочью, — 20—40; сульфат натрия — 1—2; добавки — хлорид натрия — 2—4; высшие жирные спирты — 1—6; вода — остальное (а.с. 1252322 СССР, СО4В 38/10, опубл. 26.03.1985);

– алкилароматические сульфонаты — 75—95; сульфат окисного железа — 5—25 (а.с. 1252321 СССР, СО4В 38/10, 24/20, опубл. 19.03.1985).

При приготовлении пены и пенобетона (пат. 4872913 США, СО4В 24/14, опубл. 10.10.1989) перемешивают отдозированный пенообразователь с водой для получения пены при подаче в раствор воздуха под давлением и введения пены в бетоносмеситель с добавлением метилцеллюлоз. Образование пены происходит, когда сжатый воздух и пенообразователь попадают в камеру установки, где давление падает. Для получения пены с равномерной мелкой пористостью ее пропускают

через сито, на 1 м^3 бетона используется до $0,5—5 \text{ м}^3$ пены. Размер пор в пенобетоне составляет $5—25 \text{ мкм}$.

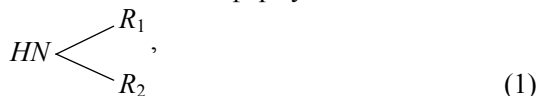
При получении прочного пенобетона предлагается (заявка 1298083 Японии, СО4В 38/10, опубл. 01.12.1989) композиция, содержащая цемент, где заполнителем является речной песок и вода. В состав композиции входит пенообразователь на основе поливалентной карбоновой кислоты (малеиновой или фумаровой). При этом кислоту растворяют в воде и заливают в пенообразующее устройство со сжатым воздухом. Пену инжектируют в цементное тесто или раствор, перемешивают и полученную смесь укладывают в форму и выдерживают. В пенообразователь рекомендуется вводить алкиленгликоль, анионоактивные ПАВ и другие добавки, интенсифицирующие и стабилизирующие пенообразование. В другом варианте (заявка 1298081 Японии, СО4В 38/10, опубл. 01.12.1989) в пенообразователь добавляют небольшое количество кремнийорганического соединения, например диметилгидроксисилана.

В способе изготовления легкого ячеистого бетона (заявка 26376 Японии, СО4В 38/10, опубл. 10.01.1990) быстро набирающего прочность, портландцемент смешивают с водой и заполнителем (кварцевым песком) и в полученную смесь вводят пенообразователь, вспучивающую добавку и карбонат натрия. Полученную массу тщательно усредняют и формируют традиционным способом. Карбонат натрия вводят в виде тонкого порошка или концентрированного водного раствора. В другом варианте (заявка 26377 Японии, СО4В 38/10, опубл. 10.01.1990) в бетонную смесь вводят жидкое стекло в количестве $3—15 \text{ мас. ч.}$ на 100 ч. вяжущего. Для создания в полученной смеси пузырьков в процессе перемешивания в нее вводят вспенивающую добавку. Полученную композицию формируют, и она твердеет в нормальных условиях. Добавка жидкого стекла обеспечивает повышение интенсивности твердения пенобетона.

Техническую пену готовят (а.с. 1648937 СССР, СО4В 38/02, 40/00, опубл. 15.05.1991, МИСИ) взбиванием циркуляцией раствора пенообразователя, содержащего древесную омыленную смолу и стабилизатор, до получения пены заданной средней плотности. Для повышения стойкости пены в цементном тесте и бетонной смеси раствор пенообразователя взбивают до получения пены средней плотности $310—360 \text{ кг/м}^3$, а затем снижают подсос воздуха на $50—90 \%$ и продолжают циркуляцию пены в течение $20—60 \text{ с}$. Используют $8—10 \%$ -ный раствор смолы древесной омыленной и известкового молока $8—10 \%$ -ной концентрации, которые перемешивают в соотношении $1:1$ по объему. Полученный раствор пенообразователя подают в пневматический пеногенератор и взбивают принудительной циркуляцией по замкнутому циклу до дос-

тижения средней плотности пены 310—360 кг/м³, затем снижают подсос воздуха через имеющийся в пеногенераторе всасывающий патрубок на 50—90 % путем уменьшения сечения трубки с помощью вентиля.

Пену также получают из раствора, содержащего поверхностно-активного вещества (ПАВ) и вспомогательного вещества, состоящего из смеси аминов или жирных аминов с общей формулой:



где R_1, R_2 — радикалы от C_4 до C_{18} .

В качестве ПАВ используются:

- алкилсульфаты аммония на основе лаурилового спирта алкилсульфатов моноизопропиламина и бетаинов;
- смеси алкаламидобетаинов и алкилсульфосукцинатов натрия с радикалом C_4 — C_{18} ;
- алкилсульфоэфиры с радикалом C_4 — C_{18} на основе лаурилового спирта или сульфонатов;
- алефиносulfонаты или алкилполигликофиды с общей формулой:



где R — линейный или разветвленный насыщенный углеводородный радикал, или ненасыщенный от C_8 до C_{24} ,

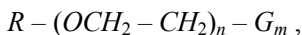
G — восстановленный сахар, например, глюкоза, галактоза или фруктоза, где

n — число от 0 до 20,

m — число от 1 до 10.

Соотношение вспомогательного средства и ПАВ по массе должно находиться в пределах от 2 до 15 %, а концентрация пенообразователя — от 1 до 2,5 %. Вспомогательное соединение состоит из одного или нескольких натуральных или синтетических полимеров. К ним относится поливиниловый спирт, полисахариды, белок, полимер или сополимер акрилового, метакрилового, акриламидного и винильного ряда.

Наилучшими свойствами обладает пенообразователь алкилполигликозид общей формулы:



где R — алкильный радикал, C_8 — C_{14} ,

G — глюкоза или фруктоза,

$n = 0$,

m имеет значения от 1 до 5.

Кроме того, пенообразователь имеет одно вспомогательное средство, состоящее из группы аминов, алкаламидов или четвертичных N -окисей [2].

Пенорастворы на основе минеральных вяжущих начали разрабатываться и исследоваться с 1963 г. в ЦНИИСе, ЛИИЖТе при участии «Главтоннельмостроя» с целью заполнения швов и нанесения растворов за ж. б. обделку. Были проведены работы по освоению оборудования фирмы «Аэроцем» (Англия) и способа приготовления вспененного раствора с использованием добавки «Типол», а также изыскания отечественной добавки, заменяющей «Типол». Были разработаны составы пенорастворов с отечественными ПАВ и добавками, изготовлены смесители и пневмонагнетатели и проведены опытные работы по гидроизоляции швов обделки.

Быстрохватывающийся пенораствор (цемент + песок + ПАВ + вода) был разработан в ЛИИЖТе и применен в качестве жесткой торкретной гидроизоляции конструкций трех шахт «Ленмостроя» без предварительного осушения их ж. б. обделки. В неблагоприятных гидрогеологических условиях при давлении воды в нижней части шахтных сооружений до пяти атм., вызвавших активные течи через швы и стенки ж. б. тубингов, удалось устранить имеющиеся течи. В качестве пенообразующего вещества использован «Типол» (Англия), «Прогресс» сульфатол НП-1.

Опытные работы по укреплению откосов выемок из скально-выветривающихся пластов были проведены «Тбилтоннельстроем» на одном из участков Северо-Кавказской железной дороги. В работе использовались цементно-песчаные растворы с добавкой «Прогресса».

В 1977 г. «Бамтоннельстроем» совместно с ЦНИИС были проведены работы по защите от выветривания и разрушения аэрированными цементно-песчаными растворами откосов припортальной скальной выемки у подхода к северному порталу Нагорного тоннеля (по металлической сетке, навешенной на несущие анкеры). Откосы на площади 500 м² были укреплены аэрированным цементно-песчаным раствором, при этом наряду с уменьшением стоимости работ снизилась и их продолжительность.

В последнее время строительство тоннелей глубокого заложения ведется при помощи тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК). Современные щитовые комплексы обеспечивают выполнение процессов по разработке и креплению лба забоя, погрузке и удалению грунта за пределы комплекса, возведению тоннельных обделок, нагнетанию раствора в заобделочное пространство и т.д.

Мировой опыт показывает, что любая страна с высоко развитой промышленностью стремится осуществлять создание тоннелепроходческих машин собственными силами и на собственной территории, в том числе в целях обеспечения своей обороноспособности и безопасности. Все

Научное издание

Панфилова Марина Ивановна,
Зубрев Николай Иванович,
Фомина Марина Васильевна

**ВСПЕНЕННЫЕ ИНЪЕКЦИОННЫЕ
РАСТВОРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Редактор, корректор *Е.Б. Левенкова*
Компьютерная верстка *О.В. Суховой*
Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 12.03.2015 г. И-214. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. 8,36. Усл.-печ. л. 7,44. Тираж 100 экз. Заказ 459

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

Е-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44