

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

Введение

Все ускоряющиеся процессы урбанизации ведут к стремительному увеличению населения городов и расширению их площадей. Так, только за 50 лет прошлого столетия территория Москвы увеличилась в три раза. В связи с ростом стоимости земли современные города не только растут вверх, но и «уходят под землю», занимая подземное пространство, которое используется для различных целей и, в первую очередь, для переноса с поверхностей транспортных коммуникаций.

Это объясняется как градостроительными соображениями, так и их относительно меньшей ресурсоемкостью. Речь идет о тоннелях различного назначения. Решением этой проблемы может быть лишь применение современных технологий конструирования тоннелей и высокоскоростных механизированных комплексов [1].

Существующие способы закрепления и упрочнения дисперсных пород (силикатизация, электрохимическое закрепление, метод напорных струй) используются, как правило, при строительстве или для обеспечения строительства (сооружение грунтовых подпорных стен, укрепление откосов, упрочнение оснований и т.д.) и не связаны с ликвидацией локальных аномальных структур в массиве, который вмещает уже эксплуатирующиеся инженерные объекты. Предложен новый способ ликвидации аномальных зон в дисперсных грунтах вязкопластичными растворами. Сущность способа заключается в поинтервальном инъецировании в аномальную зону вязкопластичного глиноцементного раствора. При этом в ее наиболее ослабленных местах происходит гидроразрыв с образованием системы фильтрационных каналов. Под действием перепада давления тампонажного раствора, заполнившего каналы течения, происходит фильтрационное уплотнение пород аномальной зоны и ее переход из деконсолидированного в консолидированное состояние.

Строительство современного надежного и герметичного тоннеля с высокой скоростью и качеством возможно лишь при правильной увязке вышеперечисленных компонентов: соответствующей грунтовым условиям машины, высокоточной и правильно рассчитанной обделки и организации труда на строительной площадке.

В настоящее время для проходки тоннеля низкого заложения в сложных инженерно-геологических условиях, в неустойчивых нескальных, в том числе водонасыщенных, грунтах под сжатым воздухом, а в ряде зарубежных стран (Франция, Япония, Англия) широко используются проходческие щиты с пеногрузовым пригрузом.

Щитовой способ проходки тоннелей относится к прогрессивным и универсальным, так как позволяет осуществлять строительство с высокой скоростью в различных геологических условиях. Сущность этого способа заключается в том, что в призабойную камеру щита, снабженного роторным органом, под давлением подается структурированная пена. Материалами для инъецирования в заобделочное пространство обычно служат бентонит, гидравлическая известь и др., которые должны быть достаточно эффективны в различных горно-геологических условиях, на разных глубинах, при разных диаметрах щитов и иметь широкий спектр действия: обеспечивать экономический и технологический эффект и обладать повышенными гидроизоляционными свойствами. Для предотвращения обрушения грунтов в забое грунтовую воду вытесняют пеной. Нагнетаемая пена представляет собой смесь пенообразующего вещества и сжатого воздуха, которая превращает разрушенный грунт во вспененную систему. Такая система обладает текучестью и благодаря этому способна удерживать и обеспечивать устойчивость забоя, устраняя при этом возможность налипания грунта на лобовые плиты, элементы рабочего органа и внутреннюю поверхность призабойной камеры. Это обеспечивает плавную, бесперебойную проходку в самых сложных гидрогеологических условиях. При использовании пеногрузового пригруза крутящийся момент на рабочем органе и шнековом конвейере изменяется на 30—35 %, что облегчает удаление грунта из забоя и предотвращает износ резцов и лобовых плит.

В последнее время в России для проходки тоннеля низкого заложения используются микрощиты. Для непрерывной работы этого оборудования необходимо большое количество концентрата пены, который закупается за границей, что приводит к большим затратам.

Поэтому актуальной является разработка рецептуры пен на основе отечественного сырья, которая не должна уступать по технологическим показателям зарубежным составам и обеспечивать экономический и технологический эффект по сравнению с традиционными составами. Кроме того, она должна обладать повышенными прочностными свойствами, способностью к проникновению в мельчайшие поры массива, высокой водонепроницаемостью после затвердения, большой долговечностью и относительно малой стоимостью.

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 азрированный 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 Содбери, 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 м^3 раствора составлял от 450 до 1100 кг при плотности раствора $1,3\text{—}1,75 \text{ т/м}^3$.

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 азрированной 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.

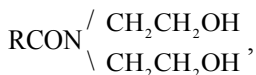
В Японии специалисты фирмы «Тони Боринг К° ЛТД» применяют пеноцементные растворы (цемент + песок + бентонит или зольная пыль + вода + ПАВ + алюминиевая пудра) для тампонирувания пустот. Из воздухововлекающих добавок широкое применение нашла добавка «Позолис», повышающая пластичность, морозостойкость 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 строения.

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; меласная упаренная последрожжевая 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, известняка, 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 C_{10} - C_{13} — 10—30; высшие жирные спирты фракции C_{12} - C_{16} — 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 азированием в турбулентном смесителе с последовательным дозированием воды, молотого песка, цемента, известняка 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 гидроокиси 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 (католит 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 м³ бетона используется до 0,5—5 м³ пены. Размер пор в пенобетоне составляет 5—25 мкм.

При получении прочного пенобетона предлагается (заявка 1298083 Япония, 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 пенообразователе рекомендуется вводить алкиленгликоль, анионоактивные ПАВ и другие добавки, интенсифицирующие и стабилизирующие пенообразование. В другом варианте (заявка 1298081 Япония, СО4В 38/10, опубл. 01.12.1989) в пенообразователь добавляют небольшое количество кремнийорганического соединения, например диметилгидроксисилана.

В способе изготовления легкого ячеистого бетона (заявка 26376 Япония, 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 Япония, СО4В 38/10, опубл. 10.01.1990) в бетонную смесь вводят жидкое стекло в количестве 3—15 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 кг/м³, а затем снижают подсос воздуха на 50—90 % и продолжают циркуляцию пены в течение 20—60 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 алкиламидобетаинов и алкилсульфосукцинатов натрия с радикалом C_4 — C_{18} ;
- алкилсульфоэфир с радикалом C_4 — C_{18} на основе лаурилового спирта или сульфонов;
- алефиносурьфонаты или алкилполигликофиды с общей формулой:



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

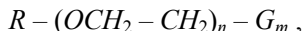
G — восстановленный сахар, например, глюкоза, галактоза или фруктоза, где

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, алкиламидов или четвертичных N -окисей [2].

Пенорастворы на основе минеральных вяжущих начали разрабатываться и исследоваться с 1963 г. в ЦНИИСе, ЛИИЖТе при участии «Главтоннельмостростроя» 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.

Быстросхватывающийся пенораствор (цемент + песок + ПАВ + вода) был разработан в ЛИИЖТе и применен в качестве жесткой торкретной гидроизоляции конструкций трех шахт «Ленмостростроя» 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 «Гблтоннельстроем» 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 portalу 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 высокоразвитой промышленностью стремится осуществлять создание тоннелепроходческих машин собственными силами и на собственной территории, в том числе в целях обеспечения своей обороноспособности и безопасности. Все

крупные государства в настоящее время имеют достаточно мощные производства для изготовления щитовой техники: в Америке — это «Джеймс Роббинс» и «Ярва», в Канаде — «Ловат»; в Англии — «Доско и Джеймс Хауден», в Германии — «Херренкнехт», «Вестфалия Люнен», «Ноэль и группа «Вирт»; в Японии — «Мицубиси», «Комацу», «Хитачи» и др.

Герметические щиты с так называемым активным пригрузом забоя, оснащаемые, как правило, роторным рабочим органом, созданы в 1980-х годах в Японии, Англии, Германии и Канаде. Строго дозированная выдача разработанного грунта в щитах с грунтовым или пеногрунтовым пригрузом, обеспечивающая минимальность или полное отсутствие осадков грунта при проходке в сложнейших гидрогеологических условиях, осуществляется с помощью шнекового конвейера, а глинизованной пульпы в щитах с суспензионным (бентонитовым) пригрузом — с помощью отсасывающих трубопроводов. Для разрушения прослоек полускальных грунтов и валунов режущая головка рабочего органа щитовой машины оснащается специальными дисковыми резаками.

Конструкция герметических щитов, являющихся наукоемкой продукцией, постоянно совершенствуется. Одновременно ведется большая работа по оснащению щитов все более современной аппаратурой для обеспечения точного ведения щитовой машины по трассе строящегося тоннеля, а также для контроля за точностью монтажа сборной тоннельной обделки, работой всех механизмов и обустройств щита и силового оборудования, размещающегося на тележках.

В 1988—1992 годах сооружено 1600 пог. м перегонных тоннелей на Люблинской линии метрополитена с помощью щита фирмы «Херренкнехт» диаметром 6,3 м с суспензионным пригрузом.

В водонасыщенных грунтах без использования водопонижения или другого способа стабилизации грунтов экскаваторные щиты не могут вести проходку. Поэтому при экспериментальном строительстве «Тоннеля Ново-Черемушкинского коллектора» использовали роторный щит диаметром 2,7 м фирмы «Мицубиси», который обеспечивал организацию в забое грунтово-глинистого пригруза путем его нагнетания, с использованием пены с заранее подобранным составом.

В 1995 г. в Японии был применен первый образец щитовой машины с глинисто-грунтовым пригрузом, который применили в г. Нарашино при проходке в суглинках и мелких песках двух сточных тоннелей горизонтально-овального сечения шириной 4200 мм и высотой 3800 мм при общей длине их, равной 809,64 м. Заглубление верха этих тоннелей составляло от 2,37 м до 3,0 м. Уровень грунтовой воды находился на глубине от 1,7 до 3,0 м. Тоннели на значительной части трассы прохо-

дили на расстоянии между ними всего 0,6 м. Радиус кривизны одного из тоннелей на начальном участке составлял всего 50 м. Над тоннелями располагались трубопровод диаметром 600 мм для транспортировки воды и несколько кабельных линий.

Кроме того, процесс нашел применение при прокладке тоннелей в сложных гидрогеологических условиях при строительстве Митинско-Строгинской линии. На этой линии при использовании ТПМК «Херренкнехт» построены два Серебряноборских метро-автодорожных тоннеля диаметром 14,2 м и сервисный тоннель между ними, длина каждого — 1500 м. При строительстве сервисного тоннеля использовался бентонитовый пригруз. Аналогичное применение в других городах России было при строительстве тоннелей. Летом 2008 года был смонтирован и осуществил проходку эскалаторного тоннеля станции «Марьяна роща» Люблинско-Дмитровской линии метрополитена ТПМК «Ловат». ТПМК с гидропригрузом фирмы «Херренкнехт» диаметром 6 м также использовался при проходке тоннеля под Босфором.

На строительном рынке Беларуси с 2007 года действует ООО «Витинжстрой», который располагает проходческими машинами следующих диаметров: Ø500 мм, Ø600 мм, Ø800 мм, Ø1000 мм, совместимых с тоннелепроходческим комплексом «ХЕРПЕНКНЕХТ АВН 600». Проводимые работы по устройству тоннелей тоннелепроходческим комплексом «ХЕРПЕНКНЕХТ АВН 600», представляющим комплекс подземного, шахтного и поверхностного оборудования, обеспечивающего механизированное и дистанционное управляемое выполнение следующих операций: наращиванием ствола труб отдельными трубами производится монтаж трубопровода, т.е. осуществляется проходка до выхода щита в приемный котлован. Для транспортировки разработанного грунта, закрепления груди забоя, смазывания наружной поверхности проходческой машины и тоннельных рабочих труб в целях уменьшения трения наружных поверхностей о грунт, предотвращения налипания грунта на наружную поверхность прокладываемых рабочих труб используется бентонитовая суспензия. Она представляет собой смесь воды, натриевого бентонита и различного вида добавок, служащих для структурообразования, увеличения вязкости, уменьшения фильтрации, стабилизации стенок скважины, улучшения, и позволяет в короткие сроки возводить крупные объекты.

Строительство тоннеля под Серебряным бором позволило в короткие сроки (с 2003 г. по 2007-й) с помощью тоннелепроходческого комплекса фирмы «Херрекнехт» ввести в эксплуатацию отрезок метро. При сооружении тоннеля под Серебряным бором использовался проходческий комплекс с гидропригрузом Slurry Shield.

В 2010 г. ОАО «СУПР» осуществило строительство шестого этапа объекта «Реконструкция магистрали по Ростокинскому проезду от ул. Космонавтов до ул. Богатырский мост», возведение Восточного полукольца, в состав которого входит переключение «Копытовских» канализационных коллекторов в северо-восточном округе города Москвы. Длина трассы, которая пройдена щитовым комплексом французской фирмы «Бессак» на глубине 12 м, составляет 1,2 км. Преимуществами технологии микротоннелирования являются: полная автономность системы, достигающаяся за счет использования передвижной электростанции; отсутствие необходимости в использовании водопонижения и других специальных способов работ по всей длине проходки; отсутствие необходимости нахождения человека в забое и, конечно же, за счет гидропригруза и нагнетания в затрубное пространство бентонита.

Проектом строительства канализационных дюкеров через Москву-реку предусматривалось сооружение тоннеля протяженностью 828 м тоннелепроходческим комплексом «Ловат» диаметром 4,0 м, а также устройство монтажной камеры на территории Курьяновской станции аэрации длиной 18 м и глубиной 45 м, наклонного ствола диаметром 5,5 м с использованием специальных способов производства работ. Выполнение проходческих работ с использованием ТПК «Ловат» по скорректированной трассе потребовало совершенствования отдельных элементов технологической схемы.

В последние годы разработкой пенорастворов и применением их в строительстве занимался НИИ оснований и подземных сооружений. На основе минеральных вяжущих (цемент, песок, зола-унос, глина, силикат) был разработан ряд рецептур пенорастворов, некоторые из них были использованы для уплотнения закарстованных пород.

В НИИ оснований разработана также технология подводного устройства днищ подземных сооружений с применением пенорастворов. Вспененные путем перемешивания с технической пеной растворы не расслаиваются и не размываются водой при свободном падении, подача в зону подводного бетонирования растворов происходит по трубам, при этом не требуется обязательного заглубления раствороподающей магистрали в ранее уложенный слой раствора.

1.2. Факторы, влияющие на устойчивость пен

1.2.1. Структура пен (структура, образование, геометрия пен, кратность, устойчивость, синергизм)

Пены относятся к дисперсным системам, в которых дисперсионной средой является жидкость, а дисперсной фазой — газ [3, 4].

Ячейки пены могут иметь сферическую или многогранную форму [5]. Например, ячейки пены образуют форму, близкую к сферической, если газовая фаза превышает не более чем в 10—20 раз объем жидкости. Если соотношение объемов газовой и жидкой фаз больше 20, то их ячейки имеют форму многогранников. При старении пен шарообразная форма пузырьков превращается в многогранную [6, 7].

Образование пены можно проследить на поведении пузырьков, возникающих в растворе ПАВ. При всплывании на поверхность образуется полусферический купол, состоящий из двух адсорбционных слоев ПАВ и обеспечивающий длительное существование возникающих пленок и внутренней прослойки раствора (рис. 1).

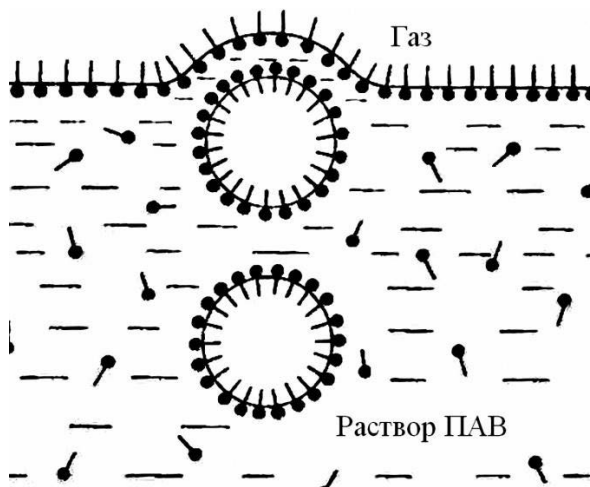


Рис. 1. Образование пенной пленки при всплывании пузырька к поверхности раствора ПАВ

Возрастание количества пузырьков на поверхности раствора приводит к их сближению за счет капиллярного притяжения. В результате между соседними пузырьками возникают тонкие жидкие пленки. При этом сначала образуется монослой пузырьков, а затем образуются последующие слои, и появляется пена.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru