

УДК 624.139

А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АРМИРОВАННЫХ СЕЗОННОПРОМЕРЗАЮЩИХ ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТОВ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

Проведен анализ свойств сезоннопромерзающих пучинистых грунтов, исследованы взаимодействие таких грунтов с фундаментами и мероприятия по борьбе с пучением грунтов. Рассмотрены существующие виды армирования оснований и возможности применения геосинтетических материалов.

Ключевые слова: сезоннопромерзающие грунты, морозное пучение, мелкозаглубленные фундаменты, армирование, геосинтетические материалы.

В Пермском крае широко распространены водонасыщенные глинистые грунты, вызывающие трудности при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений, в которых под воздействием внешних факторов возникают значительные вертикальные деформации. Грунты Пермского края также подвержены сезонному промерзанию. Подвергаемый сезонному оттаиванию и промерзанию слой достигает по глубине 1,9–2,1 м. Фундаменты, установленные на такие грунты, подвергаются неравномерным деформациям, вызванным морозным пучением и увеличением объема грунта при промерзании. Промерзание пучинистого грунта в основании способно вызвать вертикальные перемещения фундаментов малонагруженных сооружений, как правило, зданий малой этажности. Деформации пучения грунта имеют нелинейный и остаточный характер, поэтому происходит неравномерный подъем фундаментов, который со временем накапливается, в результате чего конструкции зданий претерпевают недопустимые деформации и разрушаются. В настоящее время накоплен значительный экспериментальный опыт строительства малоэтажных зданий на мелкозаглубленных фундаментах в различных регионах России, в основном для европейской части. Несмотря на имеющуюся положительный опыт строительства малоэтажных зданий на сезоннопромерзающих грунтах, в настоящее время нельзя сказать, что этот способ возведения фундаментов достаточно обоснован и регламентирован.

Известно, что методы улучшения свойств грунтов позволяют снизить стоимость возведения традиционных фундаментов. В настоящее время значительное распространение в геотехнической практике строительства получили методы улучшения грунтов с помощью геосинтетических материалов, которые используются для различных случаев армирования грунтовых массивов. Работа армированных оснований при деформациях грунтовых массивов, характерных для территории Пермского края, в том числе и сезоннопромерзающих, в настоящее время изучена еще недостаточно хорошо. Поэтому исследование и разработка методов расчета таких оснований является актуальной задачей.

Проблема строительства малоэтажных зданий и сооружений на пучинистых грунтах с малыми нагрузками на фундаменты приобретает актуальное значение. Мероприятие по заглублению малонагруженных фундаментов на расчетную глубину промерзания грунтов не всегда обеспечивает их устойчивость и не страхует здания от деформаций вследствие их накапливания под действием сил морозного пучения. Следовательно, встает вопрос об использовании сезоннопромерзающего слоя грунта в качестве естественного основания под малонагруженные фундаменты мелкого заложения, чтобы избежать накопления остаточных деформаций от морозного пучения фундаментов и деформаций зданий и сооружений.

Сезонное промерзание грунтов наблюдается на территории, занимающей 40 % всей площади России. Среднегодовая температура грунта и мощность слоя сезонного промерзания-протаивания являются результирующими характеристиками теплообмена в грунтах и определяют принцип строительства и конструктивные особенности фундаментов сооружений в районах распространения сезоннопромерзающих грунтов. Значительная динамичность этих характеристик в естественных условиях и при их нарушении во многом определяет развитие ряда мерзлотных процессов и явлений, последствия которых негативно сказываются на устойчивости сооружений и природном равновесии окружающей среды.

Основными природными факторами, определяющими процессы промерзания-протаивания грунта и его тепловое состояние, являются температура приземного слоя воздуха, соотношение составляющих радиационно-теплового баланса поверхности, продолжительность периодов с положительными и отрицательными температурами на по-

верхности, термическое сопротивление напочвенных или искусственных покровов, состав грунта, его влажность и теплофизические свойства, термический режим грунтов, находящихся ниже слоя сезонного промерзания-протаивания.

Температурный режим верхних горизонтов земной коры в первую очередь определяется состоянием атмосферы. В частности, глубина сезонного промерзания зависит от температуры воздуха и продолжительности зимы.

В инженерной практике существует понятие индекса промерзания. Он вычисляется как сумма произведений абсолютных значений отрицательной температуры на время:

$$F = \sum(|T_i| + \Delta t_i).$$

Измеряется F обычно в градусочасах ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{ч}$) или градусосутках ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$).

Годичный индекс промерзания обычно находят, используя среднемесячные значения температуры воздуха. Город Пермь расположен в умеренном климатическом поясе. Метеорологические условия характеризуются довольно низкой среднегодовой температурой ($2,3^{\circ}\text{C}$), низкой средней температурой зимы (средний минимум $-1,7^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум $-47,1^{\circ}\text{C}$), весьма высокой летней температурой (средний максимум $+6,8^{\circ}\text{C}$, абсолютный максимум $+37,2^{\circ}\text{C}$).

Среднемесячные отрицательные температуры регистрируются с ноября по март. Однако для апреля и октября средние температуры держатся на уровне $1,5\text{--}3,0^{\circ}\text{C}$. Средний годичный индекс промерзания F по многолетним данным составляет $1369,9^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ (табл. 1) [1]. Средняя продолжительность периода с отрицательной температурой, т.е. продолжительность зимы $t_w = 151$ сут, среднезимняя температура $T_w = -F/t_w = 1369,9 : 151 = -9^{\circ}\text{C}$.

По аналогии с величиной F находят индекс оттаивания U . Он равен сумме произведений положительной температуры на время. В Перми среднее значение U составляет $2366,4^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ (табл. 2).

Первые исследования физического процесса промерзания и пучения грунтов начались еще в 1885 году и принадлежат русскому инженеру В. Штукенбергу [2].

Тепловой режим толщи грунтов оказывает большое влияние на такие природные процессы, как выветривание и почвообразование, а также на устойчивость инженерных сооружений. Теплофизические

свойства определяют особенности процесса теплообмена в грунтах. Их знание необходимо для прогноза глубины промерзания и оттаивания оснований.

Т а б л и ц а 1

Среднемесячные отрицательные температуры с ноября по март

Месяц	Дней	Средняя температура, °С	F_i , °С·сут
Ноябрь	30	-5,8	174,0
Декабрь	31	-11,1	344,1
Январь	31	-12,8	396,8
Февраль	28	-11,6	324,8
Март	31	-4,2	130,2
Итого	–	–	1369,9

Т а б л и ц а 2

Среднемесячные положительные температуры с апреля по октябрь

Месяц	Дней	Средняя температура, °С	F_i , °С·сут
Апрель	30	3,6	108,0
Май	31	10,4	322,4
Июнь	30	16,5	495,0
Июль	31	18,7	579,7
Август	31	15,3	474,3
Сентябрь	30	9,8	294,0
Октябрь	31	3,0	93,0
Итого	–	–	2366,4

При характеристике теплового режима пород необходимо знание таких теплофизических характеристик, как теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность грунтов [3]. Кроме того, используются показатели, характеризующие термические линейное и объемное расширения и морозостойкость грунтов.

Экспериментально показано, что увеличение объемного веса скелета осадочных пород на 15–20 % обуславливает возрастание теплопроводности примерно в два раза. Такое явление наблюдается и в грунтах в интервале изменения объемного веса скелета от 0,6 до 2 г/см³ [4].

Механические свойства определяют особенности поведения грунтов под нагрузкой. Их знание необходимо, в частности, для расчета размеров фундаментов и прогноза осадки основания. Показателем прочности является предельное сопротивление сдвигу, его значение

в соответствии с законом Кулона находят по двум параметрам – удельному сцеплению c и углу внутреннего трения φ . Показателем сжимаемости грунтов служит модуль деформации E [2].

Из механических характеристик мерзлых грунтов в настоящее время более полно изучены их прочностные свойства на сжатие и на сдвиг (применительно к проектированию фундаментов на вечномерзлых грунтах, а также при искусственном замораживании грунтов) и значительно меньше на осевое растяжение, а на растяжение при изгибе совсем отсутствуют (применительно к фундаментостроению) [5], так как принято считать, что грунт не работает на растягивающие нагрузки.

Российскими и зарубежными учеными были исследованы многие свойства грунтов, такие как прочностные и деформационные характеристики сезоннопромерзающих грунтов с учетом длительности прилагаемых нагрузок, влияние внешней нагрузки на величину пучения. Кроме того, рассматривались проблемы моделирования морозного пучения грунта в лабораторных условиях, оборудование и приборы для определения пучения, развитие теоретических основ силового взаимодействия малозаглубленных фундаментов и подземных сооружений на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах, проблемы теплофизики промерзающих и оттаивающих грунтов [5].

Сопротивление мерзлых грунтов сжатию (при мгновенном нагружении и длительном действии нагрузки) имеет первостепенное практическое значение для оценки прочности мерзлых грунтов при кратковременных нагрузках, а также для расчетов на прочность стенок из мерзлых грунтов при проходке шахт и котлованов методом искусственного замораживания.

Многочисленные испытания на простое растяжение и на растяжение при изгибе образцов глинистых грунтов были проведены под руководством Н.А. Зеленина, однако результатами этих исследований невозможно воспользоваться на практике, так как они проведены при кратковременных нагрузках. Тем не менее сравнение значений временного сопротивления мерзлых глинистых грунтов на растяжение и на растяжение при изгибе показывает, что при изгибе предельные значения растягивающих напряжений при одной и той же температуре и влажности составили для суглинка около 2 МПа, а на осевое растяжение – 0,6 кПа, то же для глины – 1,1 и 0,5 МПа, для супеси – 1,8 и 0,9 МПа соответственно. При полной влагоемкости наибольшее сопротивление сдвигу оказывает супесь, затем суглинок и наименьшее – глина [6].

Среди инженеров распространено мнение, что мерзлые грунты при отрицательной их температуре и давлениях, имеющих место в основаниях сооружений, следует рассматривать как тела практически несжимаемые. Однако это положение приближенно соответствует лишь низкотемпературным мерзлым грунтам. Для грунтов же высокотемпературных (при температуре их, близкой к 0 °С и не ниже границы значительных фазовых превращений воды в лед) оно будет неверно. Как показали еще в 1953 году опыты С.С. Вялова и (независимо) опыты Н.А. Цытовича, высокотемпературные мерзлые грунты обладают довольно значительной сжимаемостью (уплотняемостью) под нагрузкой [2].

Согласно новейшим данным, уплотнение (изменение пористости) высокотемпературных мерзлых грунтов является весьма сложным физико-механическим процессом, обусловленным деформируемостью и перемещениями всех компонентов: газообразных, жидких (незамерзшей воды), пластично-вязких (льда) и твердых (минеральных частиц) [7].

Изучению влияния цикла промерзания и оттаивания на свойства грунтов был посвящен ряд работ М.Н. Гольдштейна, Х.Ф. Винтеркорна и др. [8]. Сжимаемость грунтов, подвергнутых замораживанию и последующему оттаиванию, имеет наибольшее практическое значение при прогнозе осадок мерзлых грунтов при оттаивании.

При промерзании влажных грунтов происходят весьма существенные изменения их текстуры и структуры и формирование новой сложнейшей криогенной текстуры, что связано с миграцией воды и дисперсных минеральных частиц в процессе промерзания грунта и последующего замерзания воды с увеличением ее объема, с обжатием минеральных агрегатов и отдельных слоев грунта кристаллами льда и пр. [5].

В специальных опытах Н.А. Цытовича, основанных на исследовании изменений сжимаемости грунтов при промерзании и последующем оттаивании, во всех случаях наблюдалось увеличение коэффициента пористости грунтов при их замерзании и значительное увеличение их сжимаемости при оттаивании по сравнению с сжимаемостью тех же грунтов при той же величине уплотняющей нагрузки.

Под морозным (криогенным) пучением понимается внутриобъемное деформирование промерзающих влажных почв, нескальных горных пород и грунтов, приводящее к увеличению их объема вследствие кристаллизации в них воды и разуплотнения минеральной составляю-

щей при образовании ледяных включений в виде прослоек, линз, поликристаллов и т.д. К пучинистым относятся глинистые грунты, пески пылеватые и мелкие, а также крупнообломочные грунты с содержанием глинистого заполнителя более 15 % общей массы, имеющие к началу промерзания влажность, которая превышает уровни. Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средние, не содержащие глинистых фракций, считаются непучинистыми грунтами при любом уровне безнапорных подземных вод.

Количественным показателем пучинистости грунта является относительная деформация морозного пучения ε_{fn} , равная отношению подъема ненагруженной поверхности грунта к толщине промерзающего слоя.

По относительной деформации морозного пучения ε_{fn} грунты подразделяются согласно табл. 3 [9].

Т а б л и ц а 3

Разновидности грунтов в зависимости
от относительной деформации морозного пучения

№ п/п	Относительная деформация морозного пучения грунта ε_{fn} , доли ед.	Разновидность грунта
1	< 0,01	Практически непучинистый
2	0,01–0,035	Слабопучинистый
3	0,035–0,07	Среднепучинистый
4	> 0,07	Сильнопучинистый и чрезмерно пучинистый

Теоретические предпосылки возникновения объемных деформаций при промерзании и пучении грунтов опубликованы в трудах М.И. Сумгина, Н.А. Цытовича, Н.А. Пузакова, Б.И. Далматова, В.О. Орлова, М.Н. Гольдштейна и других исследователей [5].

Результаты экспериментальных исследований по вопросам деформации морозного пучения промерзающих грунтов в лабораторных и природных условиях содержатся во многих работах. Большинство из них посвящены изучению влияния отдельных факторов на эффект деформации морозного пучения грунтов [4].

Особое значение имеют силы морозного пучения, влияющие на фундамент. Опыт эксплуатации искусственных сооружений и фундаментов зданий свидетельствует о том, что эти здания и сооружения деформируются под действием сил, возникающих при промерзании грунта ниже подошвы фундаментов, но при глубине заложения фун-

даментов более глубины промерзания деформации зданий не исключались деформации за счет воздействия сил морозного пучения через смерзание грунта с боковой поверхностью фундаментов.

По результатам экспериментальных исследований касательных сил морозного пучения в лабораторных и природных условиях опубликовано много работ. Изучению нормальных сил уделялось меньшее внимание, поскольку против влияния нормальных сил применяли конструктивное мероприятие; глубина заложения фундаментов принималась не менее глубины промерзания грунтов. Но при заложении фундаментов в слое сезонного промерзания грунтов фундаменты подвергаются, кроме воздействия касательных, воздействию нормальных сил.

При определении физических процессов явления морозного пучения было установлено, что максимально увлажненный грунт, промерзая в замкнутом объеме, может создавать нормальное давление более 211,5 МПа. При изучении промерзающего грунта М.И. Евдокимов-Рокотовский расчетным путем определил нормальное давление замерзающей воды в порах грунта при температуре $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ равным 6,7 МПа, при температуре $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 41,9 МПа, а при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 72 МПа. При этом он подчеркивал, что в строительной практике известны многочисленные примеры поднятия сооружений огромной массы силами пучения и что в процессе промерзания грунта под фундаментом силы пучения будут неизмеримо больше массы сооружения [6].

Теоретические исследования действия нормальных сил морозного пучения грунтов на подошве жесткой твердомерзлой полосы с ограниченной податливостью опубликованы В.И. Пусковым. Принятый им подход к решению задачи о величине нормальных сил морозного пучения грунта не является принципиально новым. Влияние сжимаемости нижележащего грунта на величину нормальных сил пучения подтверждено опытами Н.Н. Морарескула и неоднократно отмечалось Н.А. Цытовичем. Ю.Г. Куликов и Н.А. Перетрухин при вычислении величины нормальных сил морозного пучения учитывали осадку однородного талого основания, находящегося в напряженном состоянии под слоем мерзлого грунта бесконечной протяженности. В более общем виде эта задача решена Ю.К. Зарецким применительно к круглому фундаменту с фиксированной податливостью на двухслойном основании. Однако следует заметить, что авторы упомянутых теорети-

ческих работ умалчивают о возможности практического применения полученных ими решения и о степени точности предлагаемых расчетных формул.

Наряду с нагрузками от сооружения, деформационно-прочностными свойствами грунтов основания и гидрогеологическими условиями местности сезонное промерзание является одним из основных факторов, принимаемых во внимание при проектировании фундаментов. Для исключения недопустимых деформаций зданий на пучинистых грунтах чаще всего используют заложение подошвы фундаментов ниже глубины сезонного промерзания [10]. За последние годы в России накоплен опыт возведения экономичных малозаглубленных фундаментов при соотношении $d < d_f$. Расчет оснований, сложенных пучинистыми грунтами, должен выполняться с учетом сил морозного пучения. При заложении фундаментов ниже расчетной глубины промерзания должен выполняться расчет устойчивости фундаментов на действие касательных сил морозного пучения [4].

При заложении фундаментов выше расчетной глубины промерзания (малозаглубленные фундаменты) необходимо производить расчет деформаций морозного пучения грунтов основания с учетом касательных и нормальных сил морозного пучения. Малозаглубленные фундаменты допустимо применять для сооружений III класса, а также для одно- и двухэтажных зданий сельскохозяйственного назначения при нормативной глубине промерзания не более 1,7 м.

Расчетные деформации морозного пучения грунтов основания, определяемые с учетом нагрузки от сооружения, не должны превышать предельных значений для набухающих грунтов. Если расчетные деформации морозного пучения основания малозаглубленных фундаментов больше предельных или устойчивость фундаментов на действие сил морозного пучения недостаточна, кроме возможности изменения глубины заложения фундаментов следует рассмотреть необходимость применения мероприятий, уменьшающих силы и деформации морозного пучения, а также глубину промерзания [11].

Основной недостаток большинства исследований взаимодействия пучинистых грунтов с малозаглубленными фундаментами в полевых условиях – отсутствие упоминания о прочностных характеристиках грунтов сезонного происхождения и попытка косвенным путем оценить их влияние на перераспределение давления от фундамента на промерзающий грунт.

Существуют расчетные схемы взаимодействия малозаглубленных фундаментов, а также свайных фундаментов, с пучинистыми грунтовыми основаниями предложены В.М. Кисилевым, Н.А. Петрухиным, В.Б. Швец и В.Н. Мельниковым. Эти расчетные схемы не учитывают влияния фактических прочностных характеристик мерзлых грунтов на распределение давления от фундаментов на пучащийся слой грунта. Также по этим схемам распределение давления пучения по ширине фундаментов принимается равномерно распределенным без учета напряженного состояния грунта, исключается перемещение фундаментов касательными силами морозного пучения, значения нормальных сил морозного пучения не увязываются с нагрузками от зданий и сооружений и собственного веса грунта. Эти расчетные схемы не могут объяснить причины поворота фундаментов, выявленные при натурных исследованиях [5].

Использование удельных сил морозного пучения для определения величины морозного пучения грунта под фундаментами некорректно из-за нарушения закона равновесия, так как давление пучения не может быть больше давления от здания для рассматриваемого грунта [6].

Существующие расчетные схемы взаимодействия пучинистых грунтов с подошвой и боковой поверхностью малозаглубленных фундаментов не учитывают напряженно-деформированное состояние твердомерзлого грунта с учетом длительной прочности его на растяжение при изгибе в процессе промерзания и пучения грунта и распределение напряжения морозного пучения по ширине и длине фундамента по глубине промерзания, поэтому они не могут определить величину пучения грунта по боковой поверхности малозаглубленных фундаментов, свай и свайных ростверков и самих фундаментов и усилий в них, значение крутящих и изгибающих моментов, действующих, соответственно, в поперечном и продольном направлениях на фундаменты, вызванных неравномерным промерзанием и пучением грунта по их ширине для отапливаемых и неотапливаемых зданий и неравномерном распределении напряжений в грунте от сооружений в продольном направлении, причину поворота стен, разрушения стен, простенков колонн, иногда возникающих в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений, построенных на морозноопасных грунтах [5].

На основании теоретических и экспериментальных исследований деформаций и сил морозного пучения грунтов, имеющегося опыта

строительства и эксплуатации зданий и сооружений на пучинистых грунтах М.Ф. Киселевым были предложены различные (большей частью конструктивные) мероприятия против повреждений зданий и сооружений при промерзании грунтов [6].

К конструктивным мероприятиям, направленным на снижение и преодоление касательных сил морозного пучения фундаментов, относятся применение столбчатых фундаментов, уменьшение площади боковой поверхности фундамента в слое сезонного промерзания, повышение нагрузок на фундаменты, применение конструкций фундаментов анкерного типа, замена пучинистого слоя грунта непучинистым при засыпке пазух у фундаментов, снижение глубины промерзания грунтов, снижение прочности смерзания грунта с плоскостями фундаментов и др. [6].

Мероприятия по исключению жесткого сцепления мерзлого грунта с фундаментами применяются в практике фундаментостроения уже давно, к ним относятся: засоление грунта, засыпки пазух, обмазка поверхностей фундаментов непрочносмерзающимися материалами (битумные обмазки, засыпки гидрофобным грунтом, эпоксидные смазки и др.), обертка столбчатых фундаментов бризолом или рубероидом.

Более успешно применяются способы борьбы с силами и деформациями морозного пучения фундаментов посредством использования физико-химической обработки поверхности фундаментов различными реагентами и материалами. Как наиболее стойкие из покрытий поверхности фундаментов, рекомендуется применять кремнийорганические эмали, предназначенные для декоративной отделки изделий из бетона, цемента, стекла, дерева, асбошифера и некоторых видов пластмасс.

В настоящее время значительное распространение в геотехнической практике строительства получили методы улучшения грунтов с помощью геосинтетических материалов, которые используются для различных способов армирования грунтовых массивов. Это связано с тем, что местный грунт является одним из самых дешевых и легкодоступных материалов на строительной площадке.

Наиболее широко армирование грунтовых оснований применяется для усиления оснований зданий и сооружений, в транспортном строительстве, а также при сооружении хранилищ различных отходов.

Армирование геосинтетическими материалами оснований, подверженных деформациям грунтовых массивов, является одним из способов

улучшения прочностных и деформативных свойств грунтов и при этом позволяет снизить затраты на устройство нулевого цикла [12].

Основными преимуществами армированного грунта являются возможность использования местного грунта в качестве основного строительного материала; невысокая стоимость при быстроте и простоте возведения.

Существует большое разнообразие способов армирования грунтовых массивов. Наиболее полная их классификация приведена в работе Л.М. Тимофеевой [13]. В ней армированные грунты классифицируются по следующим признакам:

- расчетная модель;
- расположение включений;
- вид армирования;
- тип армирующих элементов;
- ориентация армирующих элементов.

В качестве армирующих применяется большое число различных материалов. В начале применения в строительной практике армированного грунта использовалась преимущественно металлическая арматура в виде полос или сеток. Однако использование металлической арматуры часто требует проведения дорогостоящих антикоррозионных мероприятий, особенно в пылевато-глинистых грунтах, поэтому в последнее время металлическую арматуру практически повсеместно вытеснили синтетические материалы [12].

В настоящее время синтетические материалы (геосинтетика) – быстроразвивающееся семейство материалов, используемых в геотехническом строительстве.

На мировом рынке выпускается большое разнообразие видов и типов геосинтетических материалов. Они почти исключительно изготавливаются из полимеров. Наиболее часто применяются геосинтетики из полиэфира, полипропилена и полиамида, но в специальных случаях могут применяться полиэтилен и полиарамид. В основные полимеры обычно вводят стабилизирующие добавки.

Основные типы геосинтетических материалов:

- геотекстильные материалы;
- георешетки;
- геосетки;
- геомембраны;
- геокомпозиты.

Наиболее широко на мировом рынке производятся и используются геотекстильные материалы. Они подразделяются на две большие группы – тканые (рис. 1) и нетканые (рис. 2) материалы, каждая из которых имеет свою область применения. Тканые материалы изготавливаются из мононитей или полинитей (пряжи) по технологии, аналогичной производству обычных тканей. Нетканые геотекстили представляют собой спутанно-волоконистую беспорядочную структуру, состоящую из отдельных волокон и упрочненную механическим или термическим способом. Наиболее универсальны геотекстильные материалы. Они могут одновременно выполнять несколько функций [14].



Рис. 1. Тканый геотекстиль



Рис. 2. Нетканый геотекстиль



Рис. 3. Георешетка



Рис. 4. Геосетка



Рис. 5. Геомембрана

Менее распространены и имеют более узкие области применения георешетки (рис. 3) и геосетки (рис. 4) – объемные или плоские решетчатые полимерные материалы и геомембраны (рис. 5) – герметичные полимерные пленки. В настоящее время уже накоплен большой опыт применения армированных оснований, который выявил высокую эффективность использования таких конструкций. В основном применяются четыре вида армированных оснований, каждое из которых имеет свою область применения:

- с однослойным армированием горизонтальной прослойкой верхнего контактного слоя;
- с многоярдным армированием горизонтальными прослойками;
- с армированием вертикальными и наклонными сваями;
- со смешанным армированием трехмерными, двухмерными и одномерными элементами различной ориентации.

Изучению оснований с армированием вертикальными и наклонными свайными элементами посвящены работы А.Л. Готмана, Н.В. Нуждина, А.Б. Пономарева.

При возведении фундаментов малонагруженных зданий и сооружений, оснований дорожной одежды и земляного полотна на слабых грунтах обычно применяют однослойное армирование горизонтальными прослойками. В данных условиях этот вид армирования оказывается наиболее эффективным.

Исследования конструкций из армированного грунта и опыт их применения показали ряд преимуществ их по сравнению с традиционными конструкциями: возможность использования местного грунта в качестве основного строительного материала; возможность строительства в любых грунтовых условиях; невысокая стоимость при быстрой и простоте возведения.

Анализ приведенного обзора литературных материалов по исследованию сезоннопромерзающих грунтов и состояния проблемы взаимодействия фундаментов с сезоннопромерзающими пучинистыми грунтами позволяет сделать следующие выводы:

- актуально и целесообразно дальнейшее развитие теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия фундаментов с пучинистым грунтом в целях определения напряженно-деформированного состояния пучинистого грунта в активной зоне фундаментов малозаглубленных сооружений;

– необходима разработка научно обоснованного метода определения величины деформаций пучения, а также совершенствование оборудования и способа определения относительной деформации пучения грунта от давления в лабораторных условиях и методов расчета зданий и сооружений на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах;

– необходима разработка мероприятий против деформации зданий и сооружений от морозного пучения грунтов в направлении усовершенствования конструктивных решений фундаментов, подготовки грунтов в основании, приспособления зданий и сооружений к деформациям морозного пучения грунтов.

– целесообразно применение синтетических армирующих материалов в сезоннопромерзающих грунтах, так как эти материалы позволяют реально увеличить несущую способность и жесткость грунтовых оснований, а также снизить деформируемость пучинистых грунтов.

Библиографический список

1. СНиП 23.01–99*. Строительная климатология / Госстрой России. – М., 1999.

2. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высшая школа, 1973.

3. ГОСТ 26263–84. Грунты. Метод лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов. – М.: Госстандарт, 1985.

4. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2000.

5. Абжалимов Р.Ш. Деформирование сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в основаниях малоэтажных зданий и подземных сооружений: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2007.

6. Киселев М.Ф. Морозное пучение и мероприятия по уменьшению деформаций фундаментов на пучинистых грунтах // Тр. НИИОСП. – Вып. 52. – М.: Госстройиздат, 1963.

7. Абжалимов Р.Ш. Закономерности взаимодействия пучинистого грунтового основания с фундаментами малоэтажных зданий и подземными сооружениями и методы их расчета: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2011.

8. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. – М.: Стройиздат, 1973.

9. ГОСТ 28622–90. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – М., 2002.

10. Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП. – М., 1985.

11. СНиП 2.02.01–83*. Основание зданий и сооружений / Госстрой России. – М., 2000.

12. Клевко В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2002.

13. Тимофеева Л.М. Армирование грунтов (теория и практика применения) / Перм. политехн. ин-т. – Пермь, 1991.

14. Методы строительства армогрунтовых конструкций: учеб.-метод. пособие / В.Г. Офрихтер, А.Б. Пономарев, В.И. Клевко, К.В. Решетникова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010.

Получено 2.10.2012

A.V. Mashchenko, A.B. Ponomaryov

THE QUESTION OF THE USE OF REINFORCED SEASONAL FREEZING HEAVING SOILS AS BASES FOUNDATIONS

The article represents an analysis of the studies of seasonal freezing heaving soils properties. In the article the interaction seasonal freezing soils with foundations and measures to combat heaving of soils is reviewed. The authors review the existing types of reinforcement bases and geosynthetics applications.

Keywords: seasonal freezing, frost heave, foundations placed in the seasonal frost zone, reinforcement, geosynthetics.

Об авторах

Машченко Александра Витальевна (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

About the authors

Mashchenko Aleksandra Vitalievna (Perm, Russia) – assistant lecturer, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Ponomarev Andrey Budimirovich (Perm, Russia) – Doctor of Technics, Professor, Head of Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).