DOI: 10.15593/24111678/2018.01.05

УДК 624.142

Р.И. Зубаиров, Т.М. Бочкарева

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДУЕМОГО ВОПРОСА О ВОЗМОЖНОМ ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ВИДОВ УТЕПЛИТЕЛЯ В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПОДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ ЗДАНИЙ

Водонасыщенные глинистые грунты, широко распространенные в Пермском крае, влияют на удорожание строительства за счет необходимости устройства фундаментов соответствующих параметров, обеспечивающих их бездеформационную работу. Данные грунты являются обоснованием дополнительных трудозатрат при строительстве зданий и сооружений и увеличивают риск деформаций конструкций подземной части здания по причине воздействия на них сил морозного пучения. Строительство на грунтах, которые подвергаются сезонному промерзанию и оттаиванию, при неосуществлении должных мероприятий по снижению влияния морозного пучения грунта на фундамент может привести к серьезным последствиям: образуются трещины в фундаментах, возникают перекосы конструкций здания, а со временем возможно и разрушение самого сооружения.

В ходе исследования данной проблемы, на основании выявления и анализа основных причин возникновения трещин и разрушений фундаментов, авторами разработана классификация способов снижения морозного пучения грунта. Исходя из разработанной классификации определен оптимальный способ – устройство теплоизоляционных систем фундаментов.

Представлен анализ способов устройства теплоизоляционных систем в подземной части здания и основных материалов каждой группы разработанной классификации. На основе обзора характеристик современных теплоизоляционных материалов авторы пришли к заключению о возможной применимости большинства из них в качестве теплоизоляции подземной части здания или сооружения при условии разработки совершенных конструктивных тепло-технических систем и необходимости проведения дальнейшего исследования в области создания конструктивного решения бесшовной теплоизоляции конструкций подземной части зданий.

Ключевые слова: морозное пучение, пучинистый грунт, теплоизоляция, утеплитель, фундамент.

R.I. Zubairov, T.M. Bochkaryova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF THE STATUS OF THE RESEARCHED QUESTION ABOUT POSSIBLE USING OF MODERN TYPES OF HEAT INSULATION IN HEAT INSULATION SYSTEMS OF THE UNDERGROUND PARTS OF BUILDINGS

Water-saturated clay soils, which are widespread in Perm region, affect the rise in price of constructing due to the need of foundations arrangement, relevant parameters in order to create a deformation-free operation in these conditions. These soils cause additional labor costs in the constructing of buildings and structures and increase the risk of deformations in structures of the underground part of the building due to the impact of the frost heaving forces. Constructing on these soils, which are exposed to the seasonal freezing and thawing, during the failure of tribute events to reduce the frost heaving of soil influence, may lead to serious consequences: forming cracks in foundation, arising distortions of building designs, and over the time is possible the destruction of whole construction.

During the research of this problem, basing on the identified major causes of the cracks and foundations destruction emergency, authors developed the classification of methods to reduce the frost heaving of soil. According to the developed classification, determined the optimal method: arrangement of the heat insulation systems for heat insulation of the foundations.

The aim of this research is the analysis of existing methods of heat insulation arrangement in the underground part of the building and detecting of effective types of advanced materials, which may be used for the heat insulation of such designs as foundation, socle and blind area.

Authors of the article provide basic methods of the heat insulation systems arrangement in the underground part of the building and consider basic materials of each group of developed heaters classification. Based on a review of characteristics of the modern heat insulation materials, the authors made a conclusion about possible applicability most of them as the heat insulation of the underground part of the building or structure, subject to the development of the perfect constructive heat insulation systems and the need for further research in the development of constructive solution of seamless heat insulation of structures of the underground parts of the buildings.

Keywords: frost heave, heaving soils, heat insulation, heater, foundation.

В Пермском крае преобладают водонасыщенные глинистые грунты, при строительстве на которых могут возникать проблемы, связанные с появлением в них значительных напряжений и деформаций; данные грунты подвергаются сезонному промерзанию и оттаиванию до глубины 1,9–2,1 м [1]. Фундаменты, запроектированные на водонасыщенных глинистых грунтах, испытывают неравномерные деформации, которые вызваны морозным пучением и увеличением объема грунта при промерзании.

Рис. 1. Трещины на здании, появившиеся в результате действия сил морозного пучения грунта

Влияние морозного пучения грунта на фундамент является достаточно серьезным: сила, возникающая при пучении, приводит к сдвигу фундамента, а это, в свою очередь, влечет за собой появление трещин в стенах и, следовательно, разрушение самого здания или сооружения (рис. 1). Чрезвычайно важно качественно снизить влияние морозного пучения на конструкции подземной части здания оптимальными методами.

Основными факторами распространенных случаев возникновения трещин и разрушений конструкций подземной части здания являются:

1) состав грунта в зонах промерзания и оттаивания;

- 2) влажность грунтов;
- 3) скорость и глубина промерзания грунтов;
- 4) конструктивная особенность фундамента;
- 5) степень теплового влияния отапливаемых зданий на глубину сезонного промерзания;
- 6) эффективность мероприятий, проводимых против воздействия сил морозного выпучивания фундаментов;
- 7) условия эксплуатационного содержания зданий и сооружений.

С учетом множества возможных факторов, разрушающих здания при возведении на сезоннопромерзаемых пучинистых грунтах, их строительство следует производить только с осуществлением мероприятий по снижению морозного пучения грунта [2–5].

Авторами статьи разработана классификация способов снижения морозного пучения грунта в области фундаментов, которые можно разделить на два основных вида: инженерно-мелиоративные – направленные на снижение величины деформации выпучивания (рис. 2) и конструктивно-конструктивные – направленные на снижение или предотвращение повреждений зданий и сооружений от действия сил морозного пучения (рис. 3).

Наиболее эффективным способом уменьшения влияния пучения грунтов на подземные конструкции зданий является устройство теплоизоляционных систем, в частности теплоизоляция фундаментов. Устройство теплоизоляции в подземной части здания, кроме цели уменьшения влияния пучения, относится к энергосберегающим технологиям строительства, способствующим снижению расхода энергии на отопление здания [6, 7].

Цель настоящей работы заключается в анализе существующих способов устройства теплоизоляции в подземной части здания; выявлении основных видов материалов, которые могут

быть использованы для теплоизоляции фундаментной и цокольной частей здания; определении свойств, которыми обладают те или иные виды утеплителей, обуславливающих возможность их применения в подземной части здания или сооружения.

Рис. 2. Классификация инженерно-мелиоративных мероприятий по снижению морозного пучения грунтов

Рис. 3. Классификация строительно-конструктивных мероприятий снижения морозного пучения фундаментов

Широкое применение рассматриваемого метода снижения морозного пучения сдерживается отсутствием нормативной базы, а также методик расчета фундаментов, обустроенных теплоизоляцией и с учетом деформационных свойств грунта. Существуют несколько основных способов устройства теплоизоляции в подземной части здания (рис. 4) [8]:

- вертикальная теплоизоляция наружной стороны фундамента;
- горизонтальная теплоизоляция отмостки;
- система теплоизоляции: наружной стороны фундамента, отмостки и цокольной части здания;
- ступенчатая заглубленная теплоизоляция;
- комбинация вышеперечисленных способов.

Применение той или иной системы утепления зависит от глубины промерзания грунта и материала теплоизоляции.

Рис. 4. Способы устройства теплоизоляции подземной части здания: *а* – теплоизоляция наружной стороны фундамента; *б* – горизонтальная теплоизоляция отмостки; *в* – теплоизоляция наружной стороны фундамента, отмостки и цокольной части; *2* – ступенчатая заглубленная теплоизоляция

Оптимальным способом является устройство вертикальной теплоизоляции наружной стороны фундамента: кроме достижения основной цели, теплоизоляционное покрытие защищает гидроизоляцию фундамента от механических или химических повреждений.

Выполнение горизонтальной теплоизоляции отмостки должным образом не снизит влияние пучения грунта, данный способ необходимо комбинировать с вертикальной теплоизоляцией фундамента.

Система теплоизоляции, включающая утепление наружной стороны фундамента, отмостки и цокольной части, является эффективным способом, но наиболее затратным: необходимо дополнительно предусмотреть защиту теплоизоляции цокольной части здания от влаги, прямых солнечных лучей и устройство антивандальной защиты от всевозможных вредителей.

Ступенчатая заглубленная теплоизоляция также имеет недостатки, выявляемые при выполнении обратной засыпки: теплоизоляция может подвергнуться механическим повреждениям и тем самым потерять свои эксплуатационные свойства. Необходимо отметить, что данный метод является дорогостоящим.

При устройстве теплоизоляции подземной части здания необходимо учитывать, что угловые зоны строения требуют «усиленной» теплоизоляции: например, длина горизонтальной теплоизоляции в условиях строительства Пермской области должна быть не менее 1,5 м. от угла здания. Из этого следует, что при выполнении земляных работ необходимо устраивать котлован (траншею) значительно шире по сравнению с их размерами при выполнении вертикальной изоляции наружной поверхности фундамента, что подразумевает дополнительные затраты.

Наиболее распространенным способом утепления подземной части здания в настоящее время является применение плитных утеплителей. Данное утепление является эффективным, но вместе с тем создает больше проблем по сравнению с применением бесшовных систем утепления. Существенным недостатком современных систем утепления является деформация утеплителя мерзлым грунтом, что приводит к увеличению зазора между стыками плит и, как следствие, образованию мостиков холода. Также недостатками являются образование конденсата и появление колоний грибов на внутренних поверхностях фундаментов и стен подвала из-за плохих паропропускных свойств плитных утеплителей, наряду с этим имеет место высокая трудоемкость устройства данной теплоизоляции.

На современном строительном рынке представлено большое разнообразие материалов, используемых в качестве теплоизоляций. По виду и материалу утеплители можно классифицировать на группы.

Плитные. Плитные утеплители являются наиболее распространенным методом утепления фундаментов зданий. Основными утеплителями данной группы являются пенопласт, экструдированный пенополистирол. Пенопласт – твердый материал, использующийся для наружного или внутреннего утепления сооружений [9]. Изготавливается утеплитель путем термической обработки гранул из пенополистирола. Плиты из пенопласта состоят из 97 % воздуха, что является уникальным. Пенопласт имеет низкую теплопроводность ($\lambda_0 = 0,037 \dots 0,049 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$), высокую прочность к механическим нагрузкам, является влагостойким материалом. Он практически не впитывает воду, что дает возможность использовать его в качестве теплоизоляции фундамента здания при прямом контакте с грунтом.

Экструдированный пенополистирол отличается от пенопласта технологией изготовления и, соответственно, имеет другие эксплуатационные показатели. При изготовлении применяется метод экструзии, который заключается в нагнетании расплавленного вещества в формы под давлением. Благодаря своей структуре экструдированный пенополистирол является более прочным в отличие от пенопласта, что гарантирует использование плит под механическими нагрузками. Прочность материала обеспечивает удобство монтажа и обработки. Также утеплитель имеет низкий уровень водопоглощения, высокую стойкость к воздействию кислот, щелочей. Коэффициент теплопроводности равен $0,030 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, что, несомненно, говорит о низкой теплопроводности. Из недостатков нужно отметить выделение при его горении токсичных соединений и изменение структуры под действием ультрафиолетового излучения. При использовании данного утеплителя необходима его изоляция от прямых солнечных лучей.

Ватные. Основными изделиями данной группы выступают стеклянная вата, каменная вата. Стеклянная вата может выпускаться в форме плит или рулонных матов. Сырьем для изготовления стеклянной ваты является расплавленное стекло. Связующим элементом для стеклянного волокна являются переработанные безопасные формальдегидные смолы. Характеризуется высокой прочностью и упругостью, имеет низкую теплопроводность, высокую гигроскопичность. Материал является достаточно пластичным, при укладке может сжиматься до 4 раз. При эксплуатации стекловаты возможны проседания и изменение первоначальной формы. Свойство намокания влаги может привести к необходимости покрытия утеплителя водонепроницаемой

пленкой. Также стекловата обладает химической и биологической стойкостью и является отличным звукоизолирующим материалом. Данный материал должен применяться в тех конструктивных решениях здания, где не будет подвержен механическим нагрузкам и контакту с водой.

Каменная вата также является волокнистым материалом с низким уровнем теплопроводности ($\lambda_0 = 0,035...0,042 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$). При производстве материала происходит плавление производственных шлаков, либо различных видов горных пород [10]. Наиболее распространенным сырьем являются габбро-базальтовые горные породы. Каменная вата является негорючим материалом и может работать в условиях повышенной температуры. Прочность утеплителя на сжатие варьируется в пределах 5–80 кПа, даже несмотря на то, что каменная вата является довольно мягким утеплителем. Структурная устойчивость ваты определена вертикальным и хаотичным расположением волокон.

Каменная вата обладает антикоррозийными свойствами, при контакте с металлическим, бетонным поверхностями не возникают химические реакции. Также материал не восприимчив к воздействию грибков, плесени, насекомых и грызунов, что характеризует его биологическую стойкость. Несмотря на высокие теплоизоляционные показатели, из-за сминаемости плит каменной ваты и высоких показателей влагопоглощения нецелесообразно использовать данный утеплитель в теплоизоляции фундаментной части здания.

Пенные. Пена является одно- или двухкомпонентной пластической массой, которая, взаимодействуя с воздухом, вспенивается и образует бесшовное покрытие. Основными видами данной группы являются пенополиуретан и пеноизол.

Пенополиуретан (ППУ) получают при модифицировании уретанового полимера, он является мелкоячеистым и обладает закрытой структурой [11]. Застывает утеплитель в течение суток. Благодаря химической реакции увеличивается в объеме в 40 раз. Наносится ППУ методом напыления, он заполняет все полости и щели поверхности, тем самым образуя монолитную, бесшовную теплоизоляцию. Преимуществами ППУ являются хорошее сцепление с различными материалами (бетон, камень, кирпич и т.д.), низкая паропроницаемость, биостойкость и малый вес. Коэффициент теплопроводности равен $0,03 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Материал обладает высокими гидроизолирующими свойствами – до 90 % – закрытых пор, водопоглощение не превосходит 2 % от собственного объема. Из недостатков необходимо отметить изменение структуры при прямом контакте с солнечными лучами и трудоемкость напыления. Благодаря своей гидрофобности, монолитной структуре и химической, биологической стойкости ППУ является довольно часто применяемым утеплителем в грунтах.

Пеноизол является пористым карбамидным полимером, по структуре имеет сходство с пенопластом [12]. Может выпускаться в виде пластин, гранул или вспениваемой массы. Пеноизол имеет низкую плотность (до 28 кг/м^3), коэффициент теплопроводности – $0,047 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Утеплитель также обладает низкой паропроницаемостью, высокой биологической и химической стойкостью и хорошей адгезией. Несмотря на хорошие показатели, пеноизол имеет свои недостатки. Он, как и пенополиуретан, изменяет структуру при прямом контакте с солнечными лучами. При длительном контакте с водой ухудшаются теплоизоляционные свойства утеплителя. Также пеноизол выделяет вредные вещества, как формальдегид и фенол, что говорит о невысоких экологических качествах. Анализ свойств данного утеплителя позволяет сделать вывод о том, что данный материал нельзя рассматривать как надежную теплоизоляцию подземной части здания.

Сыпучие. К этой группе относятся керамзит, перлитовый песок, пеностекло и другие материалы, которые имеют вид гранул или порошка. Они обладают высокими характеристиками теплопроводности, но меньшими, чем у каменной ваты или пенополистирола. Преимущество у данных материалов заключается в том, что они удобны в использовании – ими легко заполнять объемы любой сложности.

Керамзит представляет собой небольшие гранулы глины, которые получают методом обжига. Утеплитель является экологичным природным материалом с хорошими эксплуатационными показателями [13]. Плотность материала колеблется в пределах $250\text{--}800 \text{ кг/м}^3$. Коэффици-

ент теплопроводности варьируется от 0,07 до 0,16 Вт/(м·°C). Керамзит имеет высокую прочность, устойчив к воздействию агрессивных сред. Материал является погодоустойчивым, т.е. подходит для различных климатов, имеет долгий срок службы и не подвержен гниению. Процесс поглощения воды происходит очень медленно, но пропитанный водой керамзит теряет свои теплоизолирующие свойства. Исходя из вышеизложенного, при использовании керамзита в теплоизоляции подземной части здания его необходимо изолировать от грунтовых вод.

Перлитовый песок – материал, полученный при термической обработке перлитовой алюмосиликатной породы вулканического происхождения. Утеплитель обладает низкой теплопроводностью – 0,05 Вт/(м·°C), имеет высокие звукоизоляционные показатели и является огнестойким материалом [14]. Не подвергается разложению и гниению под действием микроорганизмов, не является благоприятной средой для насекомых и грызунов. Также является нейтральным к действию щелочей и слабых кислот. Перлит является экологически чистым и стерильным материалом. Перлитовый песок – влагоемкий материал, он способен впитывать влагу до 400 % от собственного веса. Иными словами, данный материал не стоит применять в местах с повышенной влажностью.

Пеностекло – это гранулированный теплоизоляционный материал, который получается из вспененного стекла и углерода. Материал имеет долгий срок службы – около 100 лет [15]. Обладает высокой прочностью на сжатие, в несколько раз выше прочности пенопласта, но при этом проявляет низкий уровень теплопроводности, не деформируется при механическом воздействии, имеет высокую стойкость к химическим, биологическим и погодным воздействиям. Пеностекло является негорючим материалом, при высоких температурах только плавится, не выделяя вредных веществ, обладает высокой влагостойкостью, не пропускает воду ни в каких направлениях.

Благодаря своим эксплуатационным показателям, гранулированное пеностекло оптимально для использования в качестве теплоизоляции подземной части здания, но применению может препятствовать высокая себестоимость его производства.

Легкие бетоны. Бетон является легким, если плотность состава менее 1200 кг/м³. К легким бетонам относятся составы, которые приготовлены путем соединения в нужных пропорциях цемента, песка, пористых заполнителей и воды [16]. В качестве заполнителя могут быть использованы натуральные или искусственные материалы. Натуральными являются природные измельченные пористые материалы: ракушняк, пемза, лава, известняк и т.п. Искусственными заполнителями служат отходы производственных процессов (шлаки) или специально созданные материалы на основе природных компонентов (керамзит, вермикулит, перлит и т.д.). Легкие бетоны, предназначенные для теплоизоляции, имеют плотность не более 800 кг/м³ и теплопроводность не выше 0,29 Вт/(м·°C).

В качестве основных видов легких бетонов можно выделить крупнопористый керамзитобетон и пенобетон.

Крупнопористый керамзитобетон – вид легкого бетона, в состав которого входит крупный заполнитель керамзит, вяжущее вещество – цемент, мелкий заполнитель – пористый песок. Плотность теплоизоляционного керамзитобетона в сухом состоянии составляет от 350 до 600 кг/м³, коэффициент теплопроводности равен 0,11–0,17 Вт/(м·°C), водопроницаемость составляет 50 % от собственного объема.

Пенобетон – ячеистый бетон, который изготавливается путем твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пенообразователя. Пенообразователь служит для увеличения содержания воздуха в смеси. Пенобетоны делятся на несколько групп в зависимости от марки. Пенобетоны марок от D150 до D400 называют теплоизоляционными. Их плотность может варьироваться от 150 до 400 кг/м³, коэффициент теплопроводности – 0,11–0,29 Вт/(м·°C), водопроницаемость – 95 % от собственного объема.

Легкие бетоны являются достаточно хорошими теплоизоляционными материалами, которые обладают высокими прочностными характеристиками: они долговечны, стойки к биологическим воздействиям. Существенным недостатком легких бетонов является высокая гигроскопичность, что приводит к необходимости их тщательного гидроизоляции при использовании.

Сравнительная характеристика свойств теплоизоляционных материалов, полученная на основании выполненного анализа, представлена в таблице.

Свойства теплоизоляционных материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·С)	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Необходимость в парогидроизоляции	Биологическая, химическая стойкость	Стабильность размеров
<i>Плитные</i>						
Пенопласт	0,037–0,049	125	4	не требует	высокая	хорошая
Экструдированный пенополистирол	0,029–0,030	25–45	0,5–6	не требует	высокая	дает усадку
<i>Ватные</i>						
Стеклянная вата	0,03–0,053	130	поглощает воду	обязательно	высокая	удовлетворительная
Каменная вата	0,036–0,038	50–200	поглощает воду	обязательно	высокая	удовлетворительная
<i>Пенные</i>						
Пенополиуретан	0,020–0,041	30–80	2	не требует	высокая	хорошая
Пеноизол	0,047	20	20	обязательно	высокая	дает усадку
<i>Сыпучие</i>						
Керамзит	0,07–0,016	250–800	5–15	обязательно	высокая	–
Перлитовый песок	0,04–0,06	350–400	400	обязательно	высокая	–
Пеностекло	0,04–0,08	200–400	не более 5	не требует	высокая	отличная
<i>Легкие бетоны</i>						
Крупнопористый керамзитобетон	0,11–0,17	350–600	50	обязательно	высокая	отличная
Пенобетон	0,11–0,29	150–400	95	обязательно	высокая	отличная

Наиболее высокие теплоизоляционные, прочностные, гидрофобные характеристики имеют экструдированный пенополистирол, пенополиуретан и пеностекло. Данные материалы проявляют хорошие прочностные качества, не нуждаются в гидроизоляции, имеют высокую биологическую и химическую стойкость.

На основании выполненных исследований и результатов анализа существующих теплоизоляционных систем подземной части здания, изучения характеристик современных теплоизоляционных материалов можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее распространенным и эффективным способом обеспечения стабильности фундаментов зданий и сооружений, возводимых на водонасыщенных глинистых грунтах, является устройство теплоизоляционных систем в подземной части здания.

2. Оптимальным способом устройства теплоизоляции подземной части здания является вертикальная теплоизоляция наружной стороны фундамента, позволяющая защищать гидроизоляцию фундамента от механических или химических повреждений и являющаяся менее трудоемкой при устройстве по сравнению с остальными способами.

3. Большинство из рассмотренных теплоизоляционных материалов могут быть применимы в качестве теплоизоляции подземной части здания благодаря своим высоким теплоизоляционным, прочностным, гидрофобным и другим свойствам, при условии дальнейшего совершенствования конструкции теплотехнической системы.

4. Долговечность и функциональность фундамента на пучинистых основаниях прямым образом зависит от качества и эффективности теплоизоляции в процессе эксплуатации, что не обеспечивается в полной мере основным существующим способом устройства теплоизоляции фундамента, направленным в основном на применение плитных утеплителей.

5. По мнению авторов, необходимо проведение дальнейших исследований с целью создания конструкции и технологии выполнения бесшовной теплоизоляции подземной части зданий, возводимых на водонасыщенных пучинистых грунтах в условиях строительства Пермского края.

Список литературы

1. Машенко А.В., Пономарев А.Б. К вопросу использования армированных сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1. – С. 64–80.
2. Сажин В.С., Шишкин В.Я., Волох А.С. Проектирование и строительство фундаментов сооружений на пучинистых грунтах. – Саратов: Изд-во Сарат. университета, 1988. – 235 с.
3. Куклина О.А., Ли А.В. Проектирование мелкозаглубленных фундаментов в пучинистых грунтах с устройством утепленной отмостки // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 169–174.
4. Нерсесова З.А. Морозное пучение грунтов и способы защиты сооружений от его воздействия. – М.: Транспорт, 1967. – 187 с.
5. Киселев М.Ф. Рекомендации по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972.
6. Al-Homoud M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials // Building and environment. – 2005. – Vol. 40, iss. 3. – P. 353–366.
7. Papadopoulos A.M., Giama E. Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building // Building and Environment. – 2007. – Vol. 42, iss. 5. – P. 2178–2187.
8. Утепление фундаментов мелкого заложения [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.teplonika.ru/penoplex-base.htm> (дата обращения: 26.12.2016).
9. Матыева А.К., Озубекова Р.С. Современные энергосберегающие теплоизоляционные материалы для пассивных домов // Вестник КГУСТА. – 2014. – № 4. – С. 35–40.
10. Jelle B.P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – properties, requirements and possibilities // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43, iss. 10. – P. 2549–2563.
11. Пенополиуретан – современный теплоизоляционный материал / Е.А. Морозова, Д.А. Майдан, Е.А. Кузнец, Д.В. Кутырева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – № 9. – С. 86.
12. Голубчиков О.А. Строительные теплоизоляционные материалы // Наукоемкие технологии. – 2010. – № 4. – С. 72–77.
13. Баженова О.В., Санталова Т.Н. Теплоизоляция фундамента керамзитовым гравием // Научные труды SWorld. – 2012. – № 4. – С. 66–68.
14. Галеев Р.Р., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Вспученный перлитовый песок: особенности модификации поливинилхлоридных композиций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 2(36). – С. 166–171.
15. Пеностекло современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал / Н.И. Минько, О.В. Пучка, Е.И. Евтушенко, В.М. Нарцев, С.В. Сергеев // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6–4. – С. 849–854.
16. Карманов М.Г. Легкие бетоны // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. – 2014. – № 2(5). – С. 49–53.

References

1. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniia armirovannykh sezonopromerzaiushchikh puchinistyykh gruntov v kachestve osnovanii [The question of using reinforced seasonally freeze heaving soils as bases]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, no. 1, pp. 64-80.
2. Sazhin V.S., Shishkin V.Ia., Volokh A.S. Proektirovanie i stroitel'stvo fundamentov sooruzhenii na puchinistyykh gruntakh [Design and building of the structures foundations on heaving soils]. Saratov: Saratovskiy universitet, 1988, 235 p.
3. Kuklina O.A., Li A.V. Proektirovanie melkozaglublennykh fundamentov v puchinistyykh gruntakh s ustroystvom uteplennoi otmostki [Design of finely deepen foundations in heaving soils with arrangement of insulated blind area]. *Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 169-174.
4. Nersesova Z.A. Moroznoe puchenie gruntov i sposoby zashchity sooruzhenii ot ego vozdeistviia [Frost heaving of soils and methods to protect buildings from its influence]. Moscow: Transport, 1967, 187 p.
5. Kiselev M.F. Rekomendatsii po proektirovaniu osnovanii i fundamentov na puchinistyykh gruntakh [Recommendations for design of bases and foundations on heaving soils]. Moscow: Literatura po stroitel'stvu, 1972.
6. Al-Homoud M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 2005, vol. 40, iss. 3, pp. 353-366.
7. Papadopoulos A.M., Giama E. Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building. *Building and Environment*, 2007, vol. 42, iss. 5, pp. 2178-2187.
8. Uteplenie fundamentov melkogo zalozheniia [Insulation of the shallow foundations] [electronic resource]. Available at: <http://www.teplonika.ru/penoplex-base.htm> (accessed 26 December 2016).
9. Matyeva A.K., Ozubekova R.S. Sovremennye energosberegaiushchie teploizoliatsionnye materialy dlia passivnykh domov [Modern energy-saving heat insulation materials for passive houses]. *Vestnik KGUSTA*, 2014, no. 4, pp. 35-40.
10. Jelle B.P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – properties, requirements and possibilities [Polyurethane foam – a modern heat insulation material]. *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43, iss. 10, pp. 2549–2563.
11. Morozova E.A., Maidan D.A., Kuznets E.A., Kutyreva D.V. Penopoliuretan – sovremennyi teploizoliatsionnyi material [Polyurethane foam – a modern heat insulation material]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2010, no. 9, pp. 86.
12. Golubchikov O.A. Stroitel'nye teploizoliatsionnye materialy [Building heat insulation materials]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2010, no. 4, pp. 72-77.
13. Bazhenova O.V., Santalova T.N. Teploizoliatsiia fundamenta keramzitovym graviem [Heat insulation of the foundation with the use of expanded clay gravel]. *Nauchnye trudy SWorld*, 2012, no. 4, pp. 66-68.
14. Galeev R.R., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Vspuchennyi perlitovyi pesok: osobennosti modifikatsii polivinilkhlordnykh kompozitsii [Expanded perlite sand: specifications in modifying the polyvinylchloride compositions]. *Izvestiia Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2016, no. 2(36), pp. 166-171.
15. Min'ko N.I., Puchka O.V., Evtushenko E.I., Nartsev V.M., Sergeev S.V. Penosteklo – sovremennyi effektivnyi neorganicheskii teploizoliatsionnyi material [Foam glass – an effective modern inorganic heat insulation material]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2013, no. 6-4, pp. 849-854.
16. Karmanov M.G. Legkie betony [Kinds of lightweight concrete]. *Kompleksnye problemy razvitiia nauki, obrazovaniia i ekonomiki regiona*, 2014, no. 2(5), pp. 49-53.

Получено 13.02.2018

Об авторах

Зубаиров Ранис Иделович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mr.zubairov@mail.ru).

Бочкарева Татьяна Михайловна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: btm-tsp.ru@mail.ru).

About the authors

Ranis I. Zubairov (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Structural Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mr.zubairov@mail.ru).

Tatyana M. Bochkaryova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: btm-tsp.ru@mail.ru).