

Черноиван В.Н., Самкевич В.А.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СЫПУЧИХ УТЕПЛИТЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СОВМЕЩЕННЫХ РУЛОННЫХ КРОВЛЯХ

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные исследования [1] позволили установить, что физические свойства гравия керамзитового, используемого в качестве утеплителя в эксплуатируемых совмещенных кровлях, существенно изменяются:

- ✓ влажность утеплителя достигает величины его влагопоглощения, что в 6...8 раз превышает ее допустимые значения;
- ✓ по зерновому составу материал переходит в новую разновидность керамзита – близкую по зерновому составу керамзитовому песку произвольной формы.

Изменения физических свойств сыпучего утеплителя (гравия керамзитового), длительное время используемого в качестве утеплителя в совмещенных кровлях, оказали существенное влияние на теплотехнические свойства материала: коэффициент его теплопроводности увеличился в 1,6...1,9 раза [1].

Анализ выполненных теплотехнических расчетов конструкций совмещенных покрытий зданий, эксплуатируемых в течение 18...27 лет, показал, что сопротивление теплопередаче их снизилось в 1,6...2,4 раза; сверхнормативные потери тепла возросли в 1,5...2,5 раза.

При проведении ремонтных работ эксплуатируемых совмещенных покрытий с утеплителем из сыпучих материалов, просушивание утеплителя непосредственно на эксплуатируемой кровле выполняется с использованием конвективного метода с применением следующих способов:

- ✓ устройство временных каналов на толщину утеплителя;
- ✓ установку азраторов.

Массового применения в строительстве выше перечисленные способы не нашли. Основными причинами не востребоваемости этих способов просушивания переувлажненного сыпучего утеплителя непосредственно на эксплуатируемой кровле являются:

- ✓ высокая трудоемкость и сложность выполнения работ по их устройству на совмещенной крыше;
- ✓ низкая эффективность их работы в климатической зоне Республики Беларусь.

Следует отметить, что просушивание (удаление свободной влаги) пористых сыпучих материалов с использованием конвективного метода не позволяет кардинально решить проблему восстановления их функциональных свойств, так как на теплопроводность материала существенное влияние оказывает не только величина его влажности, но и объем и характер пор. Кроме того, в течение 6...8 лет эксплуатации, просушенный с использованием конвективного метода, сыпучий утеплитель, как правило, достигает влажности близкой величины влагопоглощения материала [2].

В настоящей статье изложены основные результаты исследований по восстановлению функциональных свойств сыпучих утеплителей с использованием гидрофильной смеси (ГС), вводимой в слой теплоизоляции с использованием иньекторов; приведены основные положения технологического процесса подачи ГС через иньектор в слой гравия керамзитового.

ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ГИДРОФИЛЬНОЙ СМЕСИ

Производство работ по восстановлению функциональных свойств теплоизоляционных материалов в эксплуатируемых кровлях является достаточно специфическим технологическим процессом, обусловленным целым рядом требований:

- ✓ минимальная площадь участков вскрываемого гидроизоляционного ковра;
- ✓ сжатые сроки выполнения работ;
- ✓ невысокая трудоемкость и простота производства работ.

В связи с этим восстановление функциональных свойств сыпучих теплоизоляционных материалов предлагается осуществлять, вводя сухую смесь (порошок) гидрофильного материала в слой утеплителя с помощью иньектора.

Исходя из поставленной задачи проводимых исследований по восстановлению теплоизоляционных характеристик засыпных утеплителей, гидрофильная смесь должна отвечать следующим требованиям:

- ✓ хорошо поглощать свободную влагу из утеплителя;
- ✓ за счет поглощения свободной влаги из утеплителя образовывать пластично-вязкое тесто, способное в короткое время самопроизвольно затвердевать в результате физико-механических процессов.

Сравнительный анализ основных свойств неорганических вяжущих веществ позволил сделать заключение, что наиболее полно предъявляемым требованиям по восстановлению теплоизоляционных характеристик сыпучих утеплителей методом контактного омоноличивания, отвечают гипсовые вяжущие вещества.

Гипс обладает замечательной способностью хорошо поглощать влагу и быстро твердеть. Но это – воздушное вяжущее вещество, и на его прочность отрицательно действует влага. Даже при ничтожно малом увлажнении (0,5%) наблюдается снижение прочности и развитие пластических деформаций гипсовых конструкций. Кроме того, эти изделия отличаются низкой морозостойкостью. Все это не позволяет рекомендовать применение полуводного гипса без добавок для восстановления теплоизоляционных характеристик засыпных утеплителей в эксплуатируемых совмещенных кровлях.

Для подбора оптимального состава гидрофильной смеси на основе гипсового вяжущего были проведены дополнительные исследования. В качестве базового при подборе состава гидрофильной смеси, позволяющего обеспечить водостойкость гипса в процессе эксплуатации изделий из него, был принят способ, основанный на уменьшении растворимости сульфата кальция в воде.

Используя результаты исследований А.В. Волженского с сотрудниками [3, 4], для уменьшения растворимости сульфата кальция в воде в состав гидрофильной смеси была введена активная минеральная добавка (порошок керамзита).

По результатам проведенных исследований физических, гидрофизических и теплофизических свойств материала гидрофильной смеси установлено, что наиболее полно предъявляемым требованиям (морозостойкость, насыпная плотность,

Черноиван Вячеслав Николаевич. К.т.н., профессор каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Самкевич Виталий Анатольевич. Ассистент каф. технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

водостойкость, коэффициент теплопроводности) для проведения работ по восстановлению функциональных свойств гравия керамзитового отвечает смесь следующего состава: гипс – 65%, портландцемент – 15%, пушчолановая добавка (керамзит) – 20%.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДАЧИ ГИДРОФИЛЬНОЙ СМЕСИ В СЛОЙ СЫПУЧЕГО УТЕПЛИТЕЛЯ

Изучение литературных источников посвященных технологии инъецирования показало, что все известные исследования по данному вопросу связаны с инъекцией грунтов различными видами растворов: жидкими; нестабильными; стабильными [5, 6]. Основным критерием при выборе величины давления при нагнетании закрепляющих растворов в грунт является условие, что оно (давление) должно быть меньше предельного, при котором могут возникнуть разрывы закрепляемого грунта и порывы раствора за пределы закрепляемого контура.

Видимо эти критерии при выборе величины давления нагнетания порошка через иньектор в сыпучий теплоизоляционный материал применить нельзя в виду следующих обстоятельств:

- ✓ различие агрегатных состояний, нагнетаемых материалов;
- ✓ существенное отличие в структуре инъецированных материалов (межзерновая пористость, коэффициент фильтрации и т.д.);
- ✓ различие задач, решаемых при проведении инъецирования.

Исходя из цели исследований (снижение влажности и восстановление теплотехнических характеристик гравия керамзитового), в качестве критерия при выборе величины рабочего давления нагнетания ГС принята такая его величина, при которой в слое теплоизоляции, примыкающем к стенкам иньектора, не образуются «лунки» (пустоты), приводящие в дальнейшем к появлению «мостиков холода» в покрытии (рис. 1).

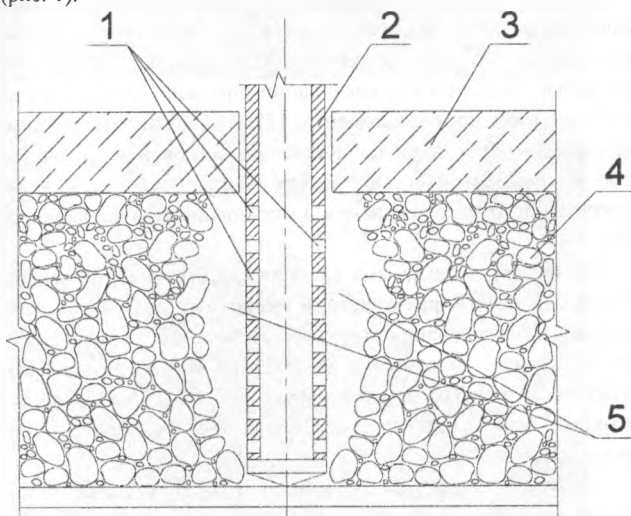


Рис. 1. Образование «лунок» в слое гравия керамзитового
1 – рабочая часть иньектора с перфорацией; 2 – иньектор; 3 – цементно-песчаная стяжка; 4 – керамзитовый гравий; 5 – «лунка» в слое утеплителя.

Для определения максимальной величины рабочего давления при подаче гидрофильной смеси в слой теплоизоляции, при которой не произойдет образование «лунок» у мест установки иньектора, были выполнены лабораторные исследования.

Результаты, полученные по итогам выполненных исследований, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендуемая величина рабочего давления инъецирования

Номер серии	Гравий керамзитовый Петриковского завода с насыпной плотностью, в кг/м ³	Рабочее давление, в МПа
Серия 1	около 500	0,9
Серия 2	600...630	0,9
Серия 3	около 820	0,8

Для проведения экспериментальных работ по подаче сухой гидрофильной смеси в слой сыпучего утеплителя был разработан и изготовлен опытный образец технологической оснастки, включающей:

- а) иньектор;
- б) емкость для гидрофильного материала;
- в) компрессор (заводского изготовления с максимальным давлением на выходе 0,9 МПа).

При выполнении экспериментальных работ по подаче гидрофильной смеси в слой гравия керамзитового Петриковского завода была принята следующая последовательность выполнения технологических процессов.

В водоизоляционном ковре и выравнивающей стяжке с помощью электрического инструмента (электродрель) просверливались отверстия для установки иньекторов. Иньектор в слой сыпучего утеплителя погружался с использованием отбойного молотка. Для обеспечения более равномерного проникновения частиц гидрофильной смеси (ГС) в слой сыпучего утеплителя до начала процесса инъецирования и сразу по его окончании осуществлялась «продувка» утеплителя воздухом при давлении 0,9 МПа.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГРАВИЯ КЕРАМЗИТОВОГО¹

Исследования по восстановлению гидрофизических и теплофизических свойств гравия керамзитового методом инъецирования гидрофильной смесью проводились для утеплителя со средней насыпной плотностью: 600 кг/м³ и 820 кг/м³.

Для проведения испытаний было подготовлено четыре вида образцов со следующими характеристиками:

- ✓ образец 1: средняя насыпная плотность – 600 кг/м³; W = 19,2%; λ = 0,255 Вт/(м·°С);
- ✓ образец 2: средняя насыпная плотность – 600 кг/м³; W = 18,9%; λ = 0,255 Вт/(м·°С);
- ✓ образец 3: средняя насыпная плотность – 820 кг/м³; W = 19%; λ = 0,286 Вт/(м·°С);
- ✓ образец 4: средняя насыпная плотность – 820 кг/м³; W = 18,7%; λ = 0,286 Вт/(м·°С).

При проведении экспериментальных исследований в образцы было введено следующее количество гидрофильной смеси:

- а) 5% по массе гравия керамзитового в образцы 1 и 3;
- б) 15% по массе гравия керамзитового в образцы 2 и 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА

Исследования зернового состава гравия керамзитового до и после инъецирования гидрофильной смесью и обработка полученных результатов, осуществлялись согласно ГОСТ 9758-86 [7].

Результаты исследований зернового состава подготовленных образцов до введения гидрофильной смеси (ГС) и после ее введения, приведены в таблице 2.

¹ исследования проводились для гравия керамзитового, изготовленного на Петриковском керамзитовом заводе

Таблица 2. Зерновой состав гравия керамзитового

Вид образца	Частные остатки m_i , %					Сумма m_i , г	Плотность, кг/м^3
	40	20	10	5	пд		
Гравий керамзитовый, $\gamma=600 \text{ кг/м}^3$							
до введения ГС	0,0	2,8	68,6	21,3	7,4	1176	600
с введением 5% ГС	0,0	3,5	69,5	22,3	4,7	1225	613
с введением 15% ГС	0,0	4,5	70,6	23,3	1,7	1320	660
Гравий керамзитовый, $\gamma=820 \text{ кг/м}^3$							
до введения ГС	0,0	1,0	13,9	29,3	55,8	1640	820
с введением 5% ГС	1,5	2,1	28,8	30,9	36,7	1665	833
с введением 15% ГС	3,4	3,6	32,8	31,4	28,9	1740	870

Таблица 3. Теплофизические характеристики гравия керамзитового

Вид образца	Насыпная плотность материала, в кг/м^3	Влажность материала, в \%	Коэффициент теплопроводности λ , $\text{в Вт/(м}\cdot\text{°C)}$
Гравий керамзитовый, $\gamma=600 \text{ кг/м}^3$			
до введения ГС	600	19,2	0,255
с введением 5% ГС	615	10,5	0,209
с введением 15% ГС	660	7,4	0,155
Гравий керамзитовый, $\gamma=820 \text{ кг/м}^3$			
до введения ГС	820	19	0,286
с введением 5% ГС	835	14,3	0,24
с введением 15% ГС	870	12,6	0,218

Анализируя результаты исследований зернового состава гравия керамзитового, обработанного ГС, можно сделать следующее заключение: за счет процесса контактного омоноличивания зерновой состав сыпучего утеплителя улучшается – возрастает процентное содержание гранул с размерами 40...5 мм и снижается процентное содержание частных остатков на поддоне.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА

Целью настоящих исследований является определение численных значений коэффициента теплопроводности гравия керамзитового, подвергнутого инъекционному ГС.

Для определения коэффициента теплопроводности гравия керамзитового пользовались методом цилиндрического зонда: установкой-измерителем теплопроводности марки ИТ-1.

Коэффициент теплопроводности гравия керамзитового определялся по ГОСТ 30256-94 [8]; влажность материала после введения ГС определялась по разности массы навески до и после высушивания в соответствии с ГОСТ 9758-86 [7].

Для удобства выполнения сравнительного анализа, обработанные результаты проведенных исследований сведены в таблицу 3.

Анализ полученных результатов исследований (табл. 3) позволяет сделать заключение: на теплофизические характеристики и влажность гравия керамзитового существенное влияние оказывает количество (по массе гравия керамзитового) ГС, введенной в слой теплоизоляции.

Были выполнены исследования с использованием гранул гравия керамзитового обработанного ГС с целью определения водостойкости и морозостойкости затвердевшей гидрофильной смеси. Результаты исследований показали, что ГС состава: гипс – 65%, портландцемент – 15%, пуццолановая добавка (керамзит) – 20%, обладает достаточно высокой водостойкостью и морозостойкостью: потеря массы после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания составила около 0,6%.

Для изучения механизма влияния гидрофильной смеси на теплофизические характеристики гравия керамзитового были проведены исследования структуры полученного материала с использованием микроскопа МКИ-2М-1. Исследования проводились на шлифах, изготовленных из гранул гравия керамзитового, как подвергнутого обработке ГС, так и не прошедшего ее.

Структура исследуемых гранул гравия керамзитового приведена на рисунке 2.

Анализ структуры гранул гравия керамзитового (рис. 2) позволяет сделать следующее заключение: ГС за счет поглощения свободной влаги из утеплителя образовала пластично-вязкое тесто, которое за короткое время самопроизвольно затвердел в результате физико-механических процессов, создало пленку на поверхности гранул керамзита и уменьшило объем открытых пор в материале. При введении гидрофильной смеси 15% по массе гравия керамзитового открытые поры в материале практически отсутствуют (рис 2д, 2е), что существенно улучшило теплофизические характеристики материала (табл. 3).

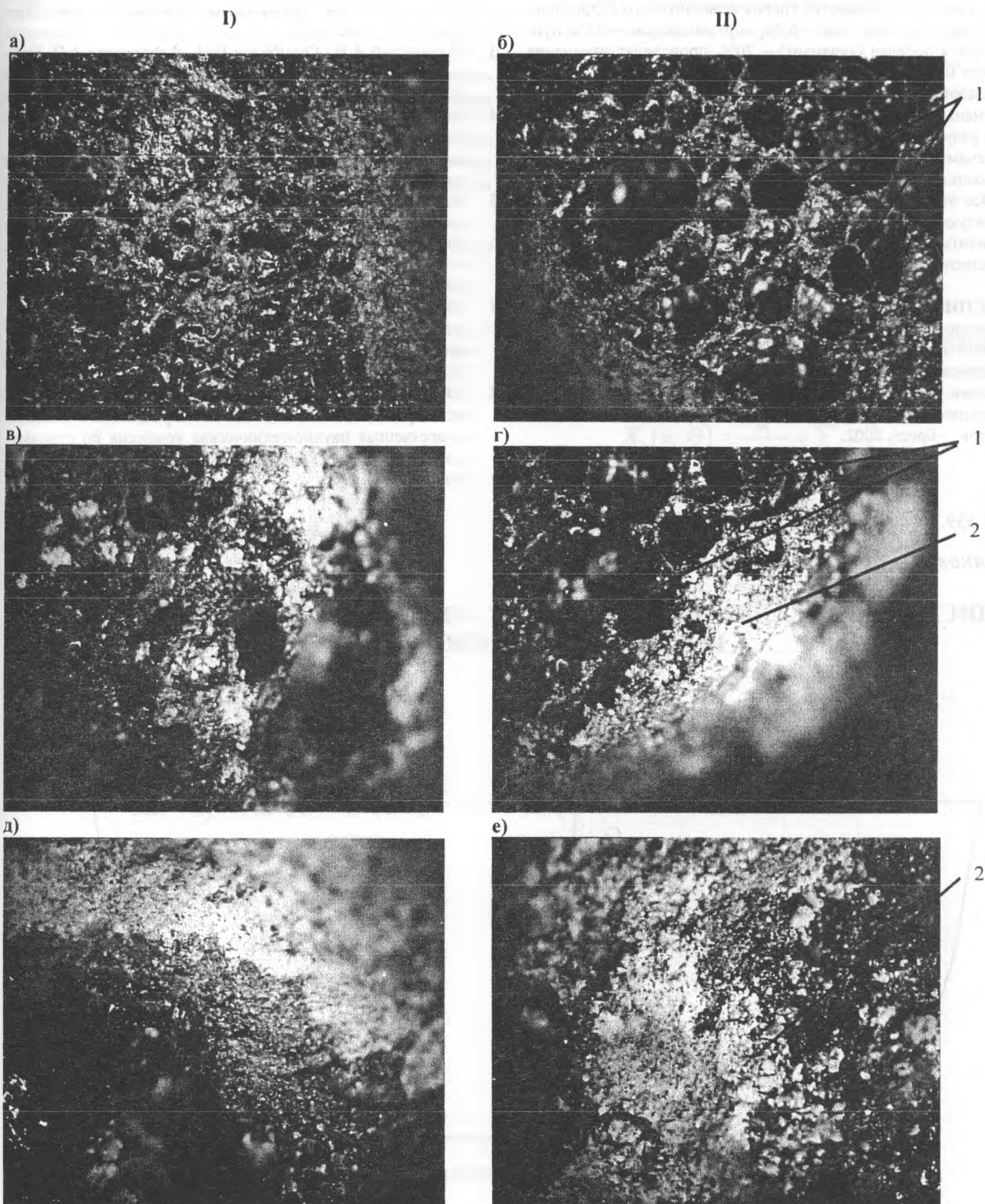


Рис. 2. Структура гранул гравия керамзитового при увеличении в 65 раз

I – гравий керамзитовый насыпной плотностью 600 кг/м^3 ;
II – гравий керамзитовый насыпной плотностью 820 кг/м^3 ;

а, б – материал, не обработанный ГС;

в, г – материал, обработанный 5% ГС;

д, е – материал, обработанный 15% ГС;

1 – открытые поры; 2 – водостойкая пленка, образованная самопроизвольно затвердевшей ГС.

ВЫВОДЫ

В результате обработки гравия керамзитового гидрофильной смесью состава: гипс – 65%, портландцемент – 15%, пуццолановая добавка (керамзит) – 20%, происходят изменения свойств материала сыпучего утеплителя:

- ✓ влажность материала снижается в 1,5...2,6 раза.
- ✓ уменьшается объем открытых пор в гранулах;
- ✓ в результате контактного омоноличивания мелких гранул керамзита изменяется зерновой состав материала – снижается остаток на поддоне;

Все эти изменения свойств материала позволяют решить основную задачу выполненных исследований: на 30...65% увеличить сопротивление теплоизоляции эксплуатируемых совмещенных кровель.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Черноиван В.Н., Самкевич В.А. К оценке физических свойств сыпучих утеплителей, используемых в эксплуатируемых совмещенных кровлях с прямым размещением слоев. Вестник БГТУ. Сборник материалов научно-технической конференции молодых ученых и специалистов., –Брест, 2002.

2. Могилат А.Н., Кривобок Э.Н. Проектирование теплозащиты покрытий гражданских зданий, –Киев: "Будівельник", 1982, 142 с.

3. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. – М., "Стройиздат", 1971, 364 с.

4. Волженский А.В., Коган Г.С., Краснослободская З.С. Влияние активного кремнезема на процессы взаимодействия алюминатных составляющих портландцементного клинкера с гипсом, "Строительные материалы", 1963, №1.

5. Камбефор А. Инъекция грунтов. Пер. с франц. –М.: Энергия, 1971, 262 с.

6. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83), –М.: "Стройиздат", 1986, 128 с.

7. ГОСТ 9758-86 "Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний". Издание официальное. Государственный строительный комитет СССР. –М.: 1987, 62 с.

8. ГОСТ 30256-94 Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом. Издание официальное. Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, – Минск, 1996, 12 с.

УДК 539.3

Босаков С.В., Генфуд Салах

К ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ Г. ЛЭМБА ДЛЯ ПОЛУПРОСТРАНСТВА С ИНЕРЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

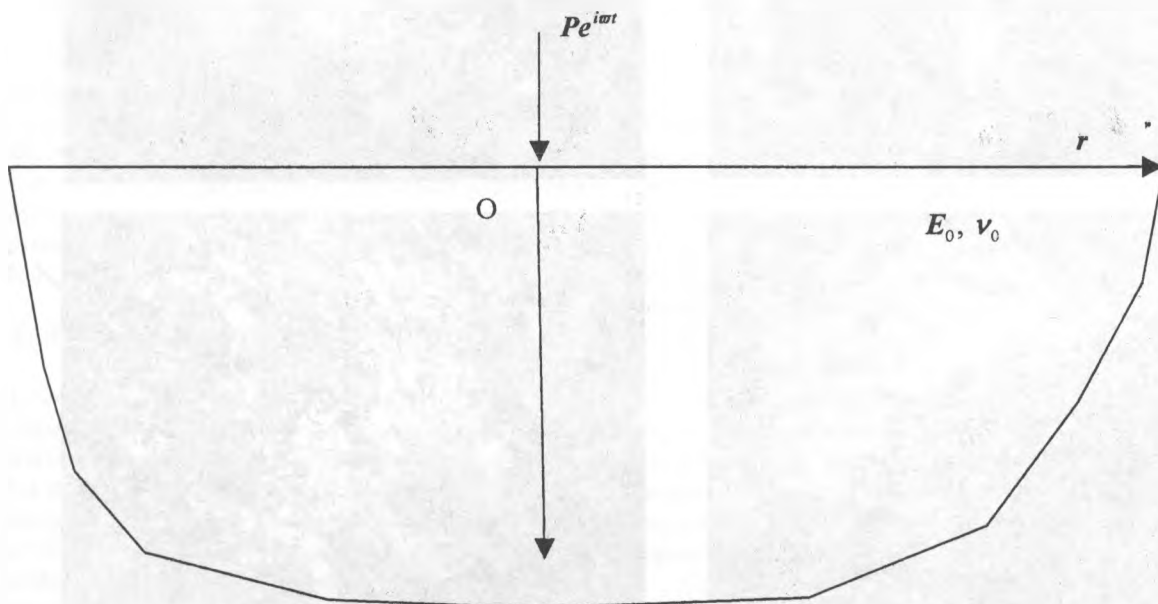


Рис. 1. Действие гармонической силы на полупространство.

При расчете фундаментных балок и плит на динамическую составляющую внешней нагрузки при неучете касательных напряжений в контактной зоне необходимо иметь решение задачи о действии вертикальной сосредоточенной гармонической силе $Pe^{i\omega t}$, приложенной к границе упругого однородного изотропного полупространства с инерционными

свойствами. Эту задачу впервые в начале прошлого века решил английский ученый Г. Лэмб [1]. Согласно решению Лэмба, в полупространстве от действия этой силы возникают разнообразные волны (продольные, поперечные, поверхностные, ...). Очевидно, при расчете фундаментов на динамическую нагрузку необходимо учитывать волновой характер перемещений, возникающих на контакте фундамента с упругим ос-

*Босаков С.В. Д.т.н., профессор каф. строительной механики Белорусского национального технического университета. Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.
Генфуд Салах. Доцент университета Гаумы, Алжир.*