

05.23.08
K469

На правах рукописи



КИЯНЕЦ АЛЕКСАНДР ВАЛЕРЬЕВИЧ

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА МОНОЛИТНЫХ ПОЛОВ
НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Специальность 05.23.08 – «Технология и организация строительства»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2006

Работа выполнена на кафедре «Технология строительного производства» Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РААСН Головнев С.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Михайловский В.П.;

кандидат технических наук,
доцент Крамар Л.Я.

Ведущая организация – ООО «Уральский научно-исследовательский институт строительных материалов».

Защита состоится « 16 » июня 2006 г., в « 14⁰⁰ » часов, на заседании диссертационного совета ДМ 212.298.08 Южно-Уральского государственного университета по адресу: г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 507.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан « 15 » мая 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Трофимов Б.Я.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В технологии отделочных работ одними из самых сложных и трудоемких являются работы по устройству пола. Как показывает практика, широко применяемые в настоящее время монолитные полы на традиционных вяжущих не отвечают требованиям технологичности, экологической безопасности, качества и долговечности.

Одним из путей повышения эффективности технологии устройства монолитного пола и повышения его эксплуатационных характеристик является применение раствора на магнезиальном вяжущем, которое обладает высокой прочностью на сжатие и растяжение, быстрым темпом твердения, износостойкостью, негорючестью, экологической безопасностью, экономичностью. Однако до настоящего времени свойства магнезиального раствора, а также технологические параметры оборудования для его приготовления и транспортирования оставались неизученными.

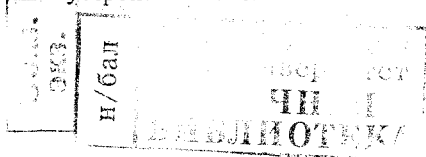
Учитывая климатические условия России, а также особенности строительного производства, когда работы по устройству монолитного пола ведутся в неотапливаемых помещениях при отрицательных температурах наружного воздуха, актуальным становится вопрос о разработке технологии устройства монолитных полов на основе магнезиального раствора в различных температурных условиях с применением современных средств механизации.

Целью диссертационной работы является разработка технологии приготовления, транспортирования и укладки магнезиального раствора при устройстве монолитного пола в условиях положительных и отрицательных температур.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **задачи**:

- провести анализ процессов приготовления, транспортирования и укладки строительных смесей при устройстве монолитных полов;
- определить технологические характеристики магнезиального раствора и получить составы с требуемыми свойствами;
- установить влияние отрицательной температуры выдерживания на свойства магнезиального раствора;
- выявить зависимость прочностных характеристик магнезиального раствора от продолжительности перемешивания в растворовсмесителе;
- определить влияние подвижности магнезиальной растворной смеси на параметры растворонасоса;
- разработать технологический регламент на устройство монолитного пола на магнезиальном вяжущем при различных температурах;
- провести производственную апробацию и определить технико-экономическую эффективность технологии устройства монолитного пола на магнезиальном вяжущем при различных температурах.

Объектом исследования является технология устройства монолитного пола при различных температурах.



Предметом исследования являются свойства магниезиального раствора, технологические параметры смесительного и транспортного оборудования, параметры технологии производства работ при различных температурах, технологии устройства монолитного пола.

Научная новизна работы:

- разработаны составы магниезиального раствора с оптимальными технологическими характеристиками;
- определены зависимости прочности, темпа твердения, водостойкости, истираемости и усадки магниезиального раствора от его состава;
- получены зависимости влияния отрицательной температуры выдерживания раствора на его прочность, темп твердения, водостойкость и усадку;
- объяснен механизм влияния отрицательной температуры выдерживания на структуру и свойства магниезиального раствора;
- установлено влияние продолжительности перемешивания в растворосмесителе на прочностные характеристики магниезиального раствора;
- получены математические зависимости основных параметров растворосмесительного насоса от подвижности магниезиальной растворной смеси.

Практическую значимость составляют:

- методика расчета основных параметров технологического оборудования в зависимости от состава применяемого магниезиального раствора и требуемой прочности и истираемости монолитного пола;
- технологический регламент на устройство монолитного пола на магниезиальном вяжущем в различных температурных условиях.

Внедрение результатов. Разработанная технология применена специализированной строительной фирмой ООО «Магнезиальные бетоны» при устройстве магниезиальных полов в гражданских и промышленных зданиях в г. Челябинске, г. Москве и Московской области.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на ежегодных научно-технических конференциях в Южно-Уральском государственном университете в 2002–2005 гг. в г. Челябинске, а также на восьмых и девярых академических чтениях Уральского отделения РААСН проходивших в г. Екатеринбурге в 2003–2004 гг.

Достоверность полученных экспериментальных данных, аналитических выражений и зависимостей, разработанных расчетных алгоритмов и выводов подтверждается достаточным количеством проведенных экспериментов, использованием поверенного и аттестованного оборудования и стандартных методик, адекватным выбором математических моделей, применением современных методов математической обработки результатов исследований.

Публикации. Основное содержание работы изложено в 5 статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов и списка литературы. Работа содержит 151 страницу текста, в том числе 27 таблиц, 57 рисунков, 144 наименований списка использованных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, поставлены цели исследования, представлены научная новизна, достоверность и практическая значимость работы.

В первой главе анализируются существующие виды и технологии устройства монолитных полов, их преимущества и недостатки, особенности эксплуатации пола как конструктивного элемента здания, свойства и твердение магниезального вяжущего, влияние отрицательных температур на процессы твердения и структурообразования бетонов и растворов, а также применяемое смесительное и растворонасосное оборудование.

В настоящее время широко применяются монолитные полы на основе портландцемента. Традиционная технология при ряде преимуществ имеет недостатки: относительно малая скорость набора прочности и ее низкие значения; неудовлетворительная износостойкость; появление как поверхностных, так и сквозных трещин. Наиболее распространенные цементно-песчаные стяжки имеют те же недостатки, что и монолитные бетонные полы.

Магниезальное вяжущее позволяет устранить некоторые недостатки технологии монолитного пола. В нашей стране магниезальные полы применялись в 30...50-е годы XX века. В изучение этого вида вяжущего в различное время внесли свой вклад Байков А.А., Баженов Ю.М., Верещагин В.И., Килессо С.И., Кузнецов А.М., Лапшин П.В., Сегалова Е.Е., Танака Т., Шелягин А.М. и др., которые изучали проблемы обжига магнезита, модифицирования магниезального вяжущего, твердения, применения различных заполнителей. Было установлено, что каустический магнезит можно получать при температуре обжига 750 – 1000 °С природного магнезита с его последующим помолом до порошкообразного состояния. Искусственный камень образуется затворением порошка каустического магнезита насыщенными водными растворами солей ($MgCl_2$, $MgSO_4$ и т.д.) и отличается быстрым набором прочности и ее высокими значениями как на сжатие, так и на растяжение, высокой подвижностью смеси, низкой истираемостью, экологической безопасностью.

Одним из недостатков технологии бетонов и растворов на основе портландцемента является необходимость применения специальных методов ускорения твердения бетона при производстве работ в условиях отрицательных температур наружного воздуха. Такая технология обусловлена продолжительным зимним периодом в России, а также особенностями строительного производства: устройством полов в необогреваемых по какой-либо причине помещениях: ремонт, монтаж или вообще отсутствие системы отопления. Как показывает опыт строительства, температура воздуха внутри помещения колеблется от плюс 10 до минус 10 °С, а для обеспечения требуемых свойств необходима положительная температура уложенной смеси, что влечет за собой значительные затраты труда, электроэнергии и утеплительных материалов. Устройство монолитных полов без применения таких методов приводит к снижению темпов строительства и появлению многочисленных дефектов в бетоне.

Многочисленные исследования, проведенные в СССР и России учеными: Арбеневым А.С., Гнырей А.И., Головневым С.Г., Киреенко И.А., Красновским Б.М., Крыловым Б.А., Мироновым С.А., Скрамтаевым Б.Г. и др. – раскрывают механизм твердения бетона в условиях отрицательных температур, выявляют протекающие при этом процессы, а также их влияние на структуру бетона, как определяющую его свойства. Благодаря этим исследованиям заложена методическая основа для ведения работ в условиях отрицательных температур.

Особенность магниезиального вяжущего затвердевать при затворении насыщенными водными растворами солей с низкой температурой замерзания, дает возможность предположить о его использовании в условиях отрицательных температур. Это свойство позволило бы производить работы по устройству магниезиальных полов без дополнительных трудовых- и энергозатрат на прогрев.

Существенным недостатком, по причине которого магниезиальный цемент мало применяется в строительстве, является склонность к перекристаллизации магниезиального камня через несколько месяцев после начала твердения, что приводит к снижению прочностных характеристик, изменению объема и растрескиванию. Исследования по модифицированию магниезиального вяжущего путем введения комплексных тонкодисперсных минеральных добавок проведенные в ЮУрГУ, позволили улучшить ряд технологических и эксплуатационных свойств, в сравнении с бездобавочным вяжущим. Это дало возможность для более широкого применения магниезиальных полов в строительстве.

Смеси для устройства монолитного пола, обладая свойствами высокой подвижности и перекачиваемости, позволяют значительно снизить трудоемкость работ за счет использования высокопроизводительного смесительного и растворонасосного оборудования (рис. 1).

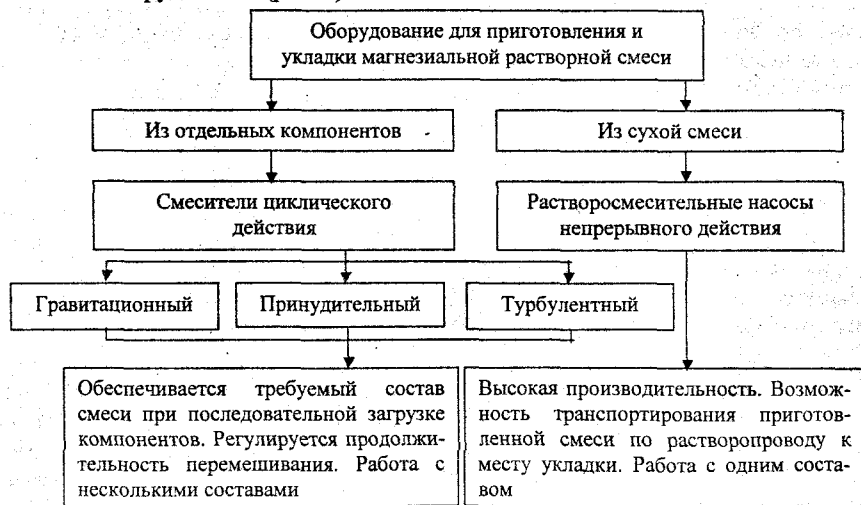


Рис. 1. Оборудование для приготовления и укладки растворной смеси

Этим требованиям отвечает магнизиальный раствор с мелким минеральным наполнителем, однако до настоящего времени были известны лишь технологии монолитного магнизиального пола на основе ксилолита, фибролита и бетона. Также неисследованными оставались вопросы приготовления и транспортирования магнизиальных смесей, что приводило к невозможности получения материала с требуемыми характеристиками при условии оптимального выбора технологического оборудования по наибольшей производительности и наименьшим трудозатратам.

Во второй главе исследованы технологические и физико-механические характеристики магнизиальных растворов на минеральном наполнителе при твердении в условиях положительной температуры: прочность, скорость набора прочности, водостойкость, истираемость.

Для исследований применялось магнизиальное вяжущее, модифицированное комплексной минеральной добавкой (молотый доменный шлак в количестве 10 %, и тальк в количестве 6 % от массы каустического магнезита), повышающей долговечность и водостойкость магнизиального камня.

Оптимальным решением является получение структуры магнизиального раствора, обладающей высокими прочностными свойствами и характеризующейся низким расходом магнизиального цемента и хлористого магнезия, как самых дорогих компонентов системы.

Исследования проводились на составах с маркой по подвижности ПЗ которая соответствует осадке стандартного конуса 11–12 см.

Выбор для исследований марки раствора с высокой подвижностью, а также подбор гранулометрического состава песка обусловлен применением магнизиального раствора для технологии «наливных» полов с использованием современных средств механизации строительного производства, и в частности различных моделей растворосмесительных насосов.

С целью получения математических моделей изучаемых технологических процессов и их статистического анализа использовалось математическое планирование эксперимента, включающее выбор и обоснование плана эксперимента, проведение опытов по выбранному плану с необходимым количеством повторов, математическую обработку результатов экспериментов с целью получения регрессионных зависимостей и их анализа.

Учитывая уже известные свойства магнизиального вяжущего, значимыми факторами были выбраны: цементно-песчаное отношение по массе (Ц:П), крупность песка, плотность раствора хлористого магнезия. Откликами послужили: прочность на сжатие в 1, 3, 7, 28, 90, и 180-суточном возрасте, темп твердения, коэффициент водостойкости.

По полученным результатам эксперимента (табл. 1) были составлены уравнения регрессии (1).

Исследование свойств магниального раствора

Крупность песка, мм	Ц:П	Плот- ность затво- рителя, г/см ³	Прочность на сжатие в различном воз- расте, Мпа						Кoeffици- ент водо- стойкости	Расход за- творителя з.Ц
			1 сут	3 сут	7 сут	28 сут	90 сут	180 сут		
0,63-0	1:1	1,15	12,5	20,0	26,9	37,2	43,4	45,7	0,62	0,63
2,5-0	1:1	1,15	14,9	23,9	31,0	41,3	42,1	42,9	0,44	0,63
0,63-0	1:3	1,15	6,3	11,8	15,8	22,2	25,3	28,6	0,75	1,17
2,5-0	1:3	1,15	4,2	7,7	11,6	12,4	16,4	19,2	0,57	1,17
0,63-0	1:1	1,25	14,5	27,5	33,9	38,6	38,9	39,9	0,45	0,63
2,5-0	1:1	1,25	12,3	22,1	30,7	42,8	44,1	45,5	0,68	0,63
0,63-0	1:3	1,25	5,0	6,1	11,7	21,1	22,6	23,2	0,54	1,17
2,5-0	1:3	1,25	5,7	6,9	14,9	19,9	20,3	21,2	0,78	1,17
0,63-0	1:2	1,20	9,8	14,0	18,9	24,0	29,3	32,1	0,46	0,86
2,5-0	1:2	1,20	7,3	14,0	21,3	25,5	28,3	31,7	0,70	0,86
1,25-0	1:1	1,20	18,4	27,6	27,6	39,9	42,5	44,1	0,65	0,86
1,25-0	1:3	1,20	5,2	7,6	9,3	17,7	18,9	21,1	0,43	1,17
1,25-0	1:2	1,15	9,0	16,4	22,0	36,5	38,7	39,8	0,58	0,86
1,25-0	1:2	1,25	8,1	10,2	15,6	25,7	27,4	29,6	0,56	0,86
1,25-0	1:2	1,20	6,7	17,8	23,5	27,9	29,2	31,4	0,60	0,86

$$\begin{aligned}
 R_{\text{сж}}^1 &= 8,756 - 0,377 X_1 - 4,597 X_2 - 0,82 X_1^2 - 0,196 X_1 X_2 - \\
 &- 0,262 X_1 X_3 + 2,380 X_2^2 - 0,82 X_3^2; \\
 R_{\text{сж}}^3 &= 15,287 - 7,977 X_2 - 0,7 X_3 - 0,793 X_1^2 + 2,457 X_2^2 - \\
 &- 1,508 X_2 X_3 - 4,193 X_3^2; \\
 R_{\text{сж}}^7 &= 17,882 + 0,263 X_1 - 7,92 X_2 + 3,265 X_1^2 - 1,752 X_2^2 - \\
 &- 0,946 X_2 X_3 + 2,131 X_3^2; \\
 R_{\text{сж}}^{28} &= 27,053 - 10,283 X_2 - 2,417 X_1^2 - 2,429 X_1 X_2 + 1,121 X_1 X_3 + \\
 &+ 0,65 X_2^2 + 3,850 X_3^2; \\
 R_{\text{сж}}^{90} &= 30,093 - 1,517 X_2 - 10,75 X_3 - 1,26 X_1 X_2 + 2,733 X_1 X_3 - \\
 &- 1,888 X_2^2 + 1,638 X_2 X_3; \\
 R_{\text{сж}}^{180} &= 32,511 - 0,9 X_1 - 10,48 X_3 - 1,68 X_1 X_2 + 1,911 X_1 X_3 - \\
 &- 1,775 X_2^2 + 1,975 X_2 X_3; \\
 K_{\text{в}} &= 0,560 + 0,035 X_1 + 0,023 X_2 + 0,031 X_1^2 + \\
 &+ 0,104 X_1 X_3 + 0,021 X_3^2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $R_{\text{сж}}^1, R_{\text{сж}}^3, R_{\text{сж}}^7, R_{\text{сж}}^{28}, R_{\text{сж}}^{90}, R_{\text{сж}}^{180}$ – прочность на сжатие в возрасте 1,3,7,28, 90 и 180 суток соответственно, $K_{\text{в}}$ – коэффициент водостойкости, X_1 – крупность песка, X_2 – цементно-песчаное отношение по массе, X_3 – плотность раствора хлористого магния, г/см³.

Наибольшее влияние на прочностные характеристики оказывает доля магниального вяжущего в растворе, что отражает цементно-песчаное отношение. Чем выше содержание вяжущего, тем выше прочность. Плотность затворителя, в отличие от цементно-песчаного отношения, не оказывает такого однозначного

влияния на прочность: при высоком содержании магниезного вяжущего в смеси (Ц:П=1:1, 1:2) наблюдается зависимость прироста прочности от увеличения плотности затворителя, а при снижении доли содержания магниезного вяжущего в растворяной смеси плотность затворителя не оказывает сколько-нибудь заметного влияния на прочность. Это свойство связано с оптимальным соотношением магнезита и хлористого магнезия в системе магниезного вяжущего. Высокая прочность наблюдается в составах с большим долевым содержанием магниезного цемента при затворении его растворами различной плотности. В составах же с относительно малым содержанием магниезного цемента при повышении плотности затворителя наблюдается эффект пресыщения системы магниезного раствора хлористым магнезием, это приводит к снижению прочности и повышению гигроскопичности, что подтверждается также и работами предыдущих исследователей.

Темп твердения исследуемых составов магниезного раствора составил: в 1-е сутки – от 22 до 38 % от R_{28} , в 3-е сутки – от 33 до 68 % от R_{28} , в 7-е сутки – от 50 до 88 % от R_{28} (рис. 2), и имеет следующую зависимость (до 28 суток твердения):

$$Y(x) = -5,44 \cdot 10^{-7} X^6 + 7,89 \cdot 10^{-5} X^5 - 0,004 X^4 + 0,12 X^3 - 1,78 X^2 + 15,94 X + 16,63, \quad (2)$$

где Y – темп твердения, % от R_{28} ; X – время выдерживания образца, сут.

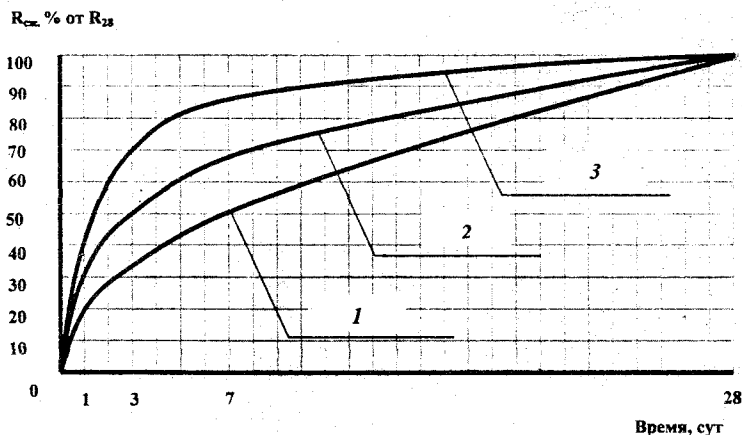


Рис. 2. Темп твердения магниезного раствора.

1 – минимальное значение, 2 – среднее значение, 3 – максимальное значение

При исследовании водостойкости магниезного раствора выяснилось, что в целом она ниже, чем водостойкость магниезного бетона, и находится в пределах $K_w = 0,44 \dots 0,78$ (против $0,8 \dots 0,95$ у магниезного бетона, при одинаковом

процентном содержании модифицирующих добавок в магнезиальном цементе). Низкая водостойкость магнезиального раствора по отношению к магнезиальному бетону объясняется отсутствием структурообразующего эффекта крупного заполнителя и приближается к водостойкости магнезиального цемента, связывающего зерна заполнителя. С повышением плотности затворителя повышается водостойкость магнезиального раствора. При плотности раствора хлористого магния $1,15 \text{ г/см}^3$ на водостойкость оказывают влияние и содержание магнезиального цемента, и крупность песка: чем меньше в размерах зерна песка и чем меньше содержание цемента, — тем выше водостойкость. При плотности затворителя $1,20 \text{ г/см}^3$ водостойкость не зависит от перемен значений выбранных факторов влияния, а при плотности $1,25 \text{ г/см}^3$ водостойкость зависит только от размеров зерен песка: чем больше размер зерен, — тем выше водостойкость. Следовательно водостойкий магнезиальный раствор можно получить с цементно-песчаным отношением не более 1:2, плотностью затворителя $1,20 \dots 1,25 \text{ г/см}^3$ и используя заполнитель наибольшей крупности.

При испытании образцов магнезиального раствора на истираемость были получены следующие данные: истираемость магнезиального раствора колеблется от $0,075$ до $0,275 \text{ г/см}^2$ при выдерживании в воздушных условиях, и от $0,408$ до $2,650 \text{ г/см}^2$, при выдерживании в воде, и зависит от расхода магнезиального цемента, крупности зерен заполнителя и прочности магнезиального раствора, а также влажностных условий эксплуатации пола (рис. 3).



Рис. 3. Истираемость магнезиального раствора по ГОСТ 10180-78 в зависимости от цементно-песчаного отношения и крупности применяемого заполнителя

Высокий расход магнезиального цемента способствует снижению истираемости у растворов с крупностью заполнителя менее $1,25 \text{ мм}$, при крупности более $1,25 \text{ мм}$ наоборот, понижение расхода магнезиального цемента (но не ниже уровня, необходимого для связывания частиц заполнителя) способствует снижению истираемости. Такой характер изменения истираемости объясняется различной площадью удельной поверхности у частиц заполнителя различного размера. Чем меньше размер зерна заполнителя, тем меньше площадь его поверхности, а значит меньше зона сцепления заполнителя с вяжущим. Поэтому истираемость мелко-

зернистых растворов (заполнитель < 1,25 мм) происходит за счет разрушения связывающей прослойки магнезиального цемента между зернами заполнителя и вырывания частиц заполнителя из тела раствора. При крупности заполнителя более 1,25 мм, энергии зерна абразива уже не хватает на вырывание частиц заполнителя и она расходуется на его разрушение, таким образом истираемость в этом случае происходит за счет разрушения и магнезиального цемента и зерен заполнителя. Таким образом, снизить истираемость магнезиального раствора можно применяя заполнитель крупности более 1,25 мм с пониженным содержанием магнезиального цемента в смеси (с Ц:П=1:3 и менее), или при крупности заполнителя менее 1,25 мм с повышенным содержанием магнезиального цемента (с Ц:П=1:1...1:2). Повышение истираемости магнезиального раствора при выдерживании его в воде связано со снижением прочностных характеристик магнезиального вяжущего из-за его низкой водостойкости.

В третьей главе рассмотрены вопросы влияния отрицательной температуры выдерживания магнезиального раствора на его эксплуатационные и технологические характеристики. Исследование основывается на предположении о твердении магнезиального цемента при отрицательных температурах за счет затворителя, которым является насыщенный водный раствор хлористого магния с температурой замерзания минус 15...минус 32 °С, в зависимости от плотности раствора, которая ниже экспериментальных температур выдерживания от 0 до минус 10 °С.

Исследования проводились с использованием метода планирования эксперимента. Принимая во внимание результаты предыдущих исследований свойств магнезиального раствора, значимыми факторами были приняты: температура выдерживания в холодильной камере (0, минус 5, минус 10 °С), цементно-песчанное отношение по массе Ц:П (1:1, 1:2, 1:3), плотность затворителя (1,15; 1,20; 1,25 г/см³).

Время выдерживания образцов в холодильной камере ограничивалось первыми 7 сутками твердения, в дальнейшем, до 28 суток, образцы выдерживались при температуре 20 °С. В качестве откликов использовались характеристики прочности при сжатии в 1, 3, 7, 28-суточном возрасте, темп твердения, коэффициент водостойкости и усадочные деформации. Математическая обработка данных позволила получить ряд регрессионных уравнений второго порядка.

По полученным результатам эксперимента (табл. 2) были составлены уравнения регрессии (3).

$$\begin{aligned}
 R_{\text{сж}}^1 &= 5,507 + 1,130X_1 - 0,830X_2 + 0,630X_3 + 1,017X_1^2 - \\
 &- 1,583X_2^2 + 0,217X_3^2; \\
 R_{\text{сж}}^3 &= 8,556 + 0,600X_1 - 2,080X_2 + 0,560X_3 + 0,725X_1X_2 - \\
 &- 0,725X_1X_3 + 0,756X_2^2 - 1,244X_3^2; \\
 R_{\text{сж}}^7 &= 10,33 + 0,760X_1 - 3,630X_2 + 1,030X_3 - 1,189X_1^2 + 3,061X_2^2 - \\
 &- 1,150X_2X_3 + 2,438X_3^2; \\
 K_{\text{в}} &= 0,606 + 0,121X_3 + 0,037X_1^2 - 0,071X_1X_2 - 0,053X_2^2 - \\
 &- 0,089X_2X_3 + 0,057X_3^2,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где $R_{сж}^1, R_{сж}^3, R_{сж}^7$ – прочность на сжатие в возрасте 1,3 и 7 суток соответственно, $K_в$ – коэффициент водостойкости, X_1 – температура выдерживания, X_2 – цементно-песчаное отношение по массе, X_3 – плотность раствора хлористого магния, г/см³.

Таблица 2

Влияние температуры выдерживания магниезиального раствора на его характеристики

Температура выдерживания первые 7 суток твердения, °С	Ц:П	Плотность затворителя, г/см ³	Прочность на сжатие в различном возрасте, МПа				Относительные деформации усадки, %	Коэффициент водостойкости	Расход затворителя 3:Ц
			1 сут	3 сут	7 сут	28 сут			
-10	1:1	1,15	4,2	8,9	12,2	31,8	-0,02	0,39	0,63
0	1:1	1,15	7,0	10,6	10,4	33,4	0,336	0,52	0,63
-10	1:3	1,15	2,8	3,5	3,9	17,6	-0,004	0,70	1,17
0	1:3	1,15	4,4	6,0	9,0	29,8	0,384	0,57	1,17
-10	1:1	1,25	6,1	11,9	14,4	29,1	0,024	0,72	0,63
0	1:1	1,25	8,2	8,6	16,3	31,6	0,340	0,93	0,63
-10	1:3	1,25	3,5	5,0	5,9	18,9	0,004	0,70	1,17
0	1:3	1,25	5,5	5,9	6,7	25,3	-0,024	0,60	1,17
-10	1:2	1,20	4,9	6,3	8	20,3	-0,030	0,74	0,86
0	1:2	1,20	7,7	9,7	10,4	36,4	0,188	0,60	0,86
-5	1:1	1,20	3,2	10,2	17,3	41,4	-0,092	0,54	0,86
-5	1:3	1,20	4,2	8,2	9,6	28,3	0,220	0,62	1,17
-5	1:2	1,15	4,8	6,0	6,3	32	0,155	0,47	0,86
-5	1:2	1,25	6,2	8,4	9,6	30,4	0,012	0,91	0,86
-5	1:2	1,20	6,4	9,0	10,1	36	-0,010	0,50	0,86

При температурах выдерживания от 0 до минус 10 °С темп твердения магниезиального раствора в зависимости от состава и температуры выдерживания составляет в 1-е сутки – от 10 до 26 % от R^{28} , в 3-е сутки – от 20 до 34 % от R^{28} , в 7-е сутки – от 22 до 46 % от R^{28} (рис. 4). Чем ниже температура, тем медленнее скорость твердения магниезиального раствора. По сравнению с образцами, которые выдерживали при положительных температурах, скорость набора прочности снижается на 8...42 % от R^{28} .

В 1-е сутки твердения при температурах от минус 5 до минус 10 °С на процесс набора прочности влияет цементно-песчаное отношение. При температурах от 0 до минус 5 °С заметное влияние оказывает плотность затворителя, особенно в составах с большим содержанием магниезиального цемента(Ц:П=1:1...1:2). Чем больше цементно-песчаное отношение и выше плотность затворителя, тем выше прочность.

На 3-е сутки твердения прочность образцов также в основном зависит от цементно-песчаного отношения, но более заметно становится влияние температуры на процесс твердения, особенно это видно на примере составов с низким и

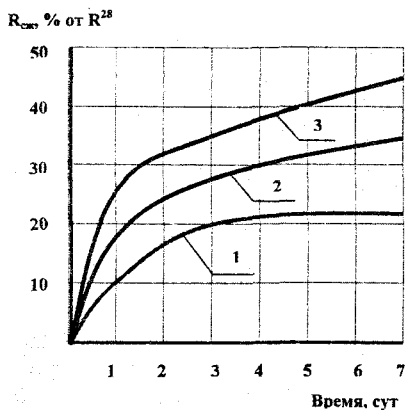


Рис. 4. Темп твердения магниезиального раствора при выдерживании в условиях отрицательных температур от 0 до минус 10 °С в процентах от R^{28} нормального твердения
1 – минимальное значение; 2 – среднее значение; 3 – максимальное значение

средним содержанием магниезиального цемента (Ц:П=1:2...1:3) при плотностях затворителя 1,15...1,20 г/см³. Снижение температуры выдерживания способствует замедлению скорости набора прочности. При плотности затворителя 1,25 г/см³ воздействие температуры на процесс набора прочности нивелируется и прочность зависит только от цементно-песчаного отношения. При повышении плотности прочность увеличивается по всему диапазону варьируемых факторов.

Через 7 суток твердения в составах с высоким (Ц:П=1:1...1:2) содержанием магниезиального цемента процесс набора прочности практически не зависит от температуры окружающей среды. В составах с низким и средним содержанием цемента (Ц:П=1:2...1:3) при температурах от минус 5 до минус 10 °С чем ниже температура выдерживания, тем меньше скорость набора прочности раствора.

Распределение прочности в 28-ми суточном возрасте образцов, твердевших первые семь суток в холодильной камере, а последующее время до 28 суток при температуре 20 °С отражено на рис. 5.

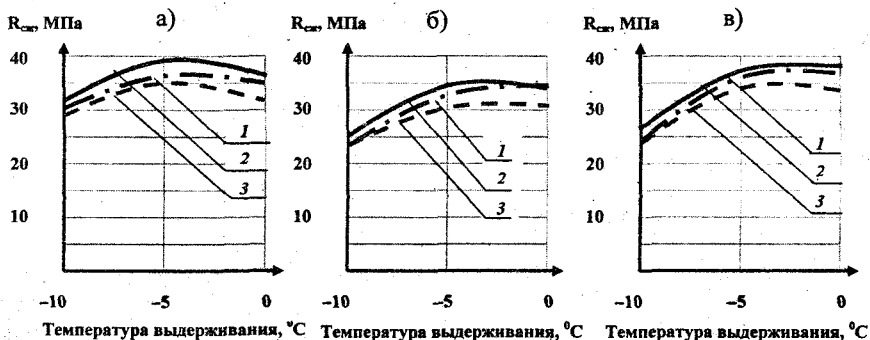


Рис. 5. Прочность магниезиального раствора через 28 суток, в зависимости от температуры выдерживания в первые 7 суток твердения:
а – состав с Ц:П=1:1, б – состав с Ц:П=1:2, в – состав с Ц:П=1:3; 1, 2, 3 – плотность затворителя 1,15 г/см³, 1,20 г/см³, 1,25 г/см³ соответственно

Наибольшей прочности достигли образцы, твердевшие при температуре минус 5°C – для состава с Ц:П=1:1, и в интервале температур от 0 до минус 5°C – для составов с Ц:П=1:2, 1:3. При начальном выдерживании образцов в холодильной камере большей прочности достигли затворенные раствором хлористого магния средней плотности – $1,20\text{ г/см}^3$, наименьшей прочности – затворенные раствором хлористого магния плотностью $1,25\text{ г/см}^3$.

Характер твердения магниезального раствора при отрицательных и знакопеременных температурах выдерживания объясняется процессами структурообразования магниезального камня. Магниезальное вяжущее, как показывают предыдущие исследования, при положительных температурах отличается интенсивностью схватывания и высокой скоростью протекания реакций твердения, что обеспечивает ранее твердение и высокую конечную прочность. Способность каустического магнезита интенсивно впитывать влагу при хранении и затворении приводит к образованию на поверхности зерна вяжущего плотной прореагировавшей оболочки, которая не допускает затворитель до активной части вяжущего внутри зерна и, тем самым, замедляет процесс набора прочности.

Через определенное время после того как магниезальное вяжущее схватилось, образовав прочный каменный материал прореагировавшая пленка на поверхности зерен магнезита постепенно растворяется и в реакцию начинает вступать активная часть. Неравномерность этого процесса, а также тот факт, что схватившийся магнезит уже образует достаточно прочную матрицу, создают неблагоприятное напряженное состояние в материале, что приводит к появлению дефектов структуры, повышению хрупкости и снижению прочности.

Начальное выдерживание твердеющего магниезального раствора при отрицательных температурах способствует на уровне микроструктуры замедлению скорости протекания химических реакций, а также приводит к увеличению плотности затворителя за счет уменьшения его в объеме, что влечет за собой повышенную способность к растворению MgO. Таким образом, при общем снижении темпов твердения создаются условия для создания упорядоченной микроструктуры и более благоприятного внутреннего напряженного состояния, что и отражается на повышении прочности материала.

Влияние температуры на водостойкость образцов, твердевших первые 7 суток в холодильной камере, а последующее время до 28 суток в камере нормального хранения, неоднозначно: при плотности затворителя $1,15...1,20\text{ г/см}^3$ водостойкость существенно не изменяется $K_w=0,58...0,63$. При более высокой плотности затворителя – $1,20...1,25\text{ г/см}^3$ в составах с высоким содержанием магниезального цемента (Ц:П=1:1...1:2) коэффициент водостойкости зависит от температуры и изменяется от $K_w=0,88$ при 0°C до $K_w=0,78$ при минус 10°C .

В четвертой главе приводятся результаты исследований по определению технологических параметров оборудования для приготовления и транспортирования магниезального раствора.

В зависимости от состояния компонентов для приготовления магниезальной растворной смеси: находятся они по отдельности, или из них составлена и отдо-

зирована сухая смесь – могут применяться две основные технологические схемы приготовления и укладки – при помощи передвижных циклических смесителей или при помощи растворо-смесительных насосов.

На основе данных, полученных в ходе работ по устройству монолитного магниезиального пола, было произведено сравнение выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью типов передвижных смесителей (гравитационного, принудительного, турбулентного) по технологическим параметрам: продолжительность, производительность и трудоемкость приготовления смеси (рис. 6).

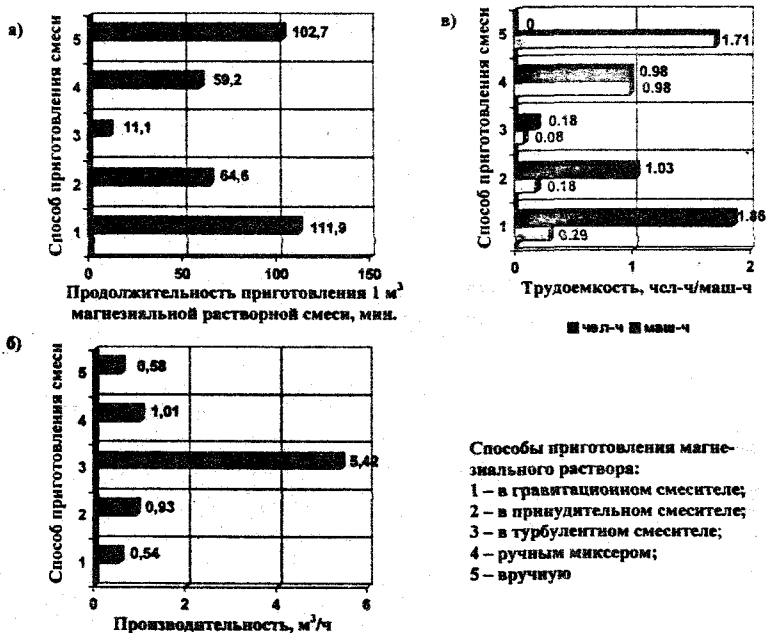


Рис. 6. Технологические параметры смесительного оборудования для приготовления магниезиальной растворной смеси: а – продолжительность приготовления 1 м³; б – производительность приготовления, м³/ч; в – трудоемкость приготовления 1 м³

Было выяснено, что наибольшей производительностью (5,42 м³/ч), наименьшей продолжительностью и трудоемкостью приготовления 1 м³ магниезиальной смеси отличается турбулентный смеситель.

Для получения магниезиального раствора максимально возможной прочности, приготовленного в данном типе смесителя, были проведены исследования по нахождению оптимального времени перемешивания магниезиальной растворной смеси (табл. 4).

Таким образом, для исследуемых составов время перемешивания в смесителе, обеспечивающее наилучшие прочностные характеристики составляет: для со-

става с Ц:П=1:1 – 20 с; для составов с Ц:П=1:2 и Ц:П=1:3 – 10 с. Увеличение или уменьшение этого времени приводит к сбросу прочности из-за недостаточной однородности смеси и ее расслоения.

Таблица 4

Зависимость прочности магниезиального раствора в различные сроки твердения приготовленного в турбулентном смесителе от времени перемешивания

Ц:П/ З:Ц	Сроки твер- дения, сут	R _{сж} при ручном перемешивании, МПа	Длительность перемешивания, с							
			10		20		30		60	
			R _{сж} , МПа	R _{сж} , % от R _{сж} ²⁸	R _{сж} , МПа	R _{сж} , % от R _{сж} ²⁸	R _{сж} , МПа	R _{сж} , % от R _{сж} ²⁸	R _{сж} , МПа	R _{сж} , % от R _{сж} ²⁸
1:1/ 0,85	1	13,0	14,7	113	15,3	118	15,0	115	14,6	112
	3	20,0	23,0	115	24,4	122	23,2	116	22,6	113
	7	27,0	30,0	111	34,3	127	30,5	113	30,5	113
	28	38,0	41,8	110	43,7	115	42,6	112	40,7	107
1:2/ 0,92	1	9,0	10,7	119	10,1	112	9,5	105	8,4	93
	3	16,8	20,0	119	19,3	115	17,3	103	15,8	94
	7	21,5	24,7	115	24,1	112	22,4	104	20,4	95
	28	25,0	27,5	110	27,5	110	26,0	104	23,0	92
1:3/ 1,0	1	6,8	7,7	113	7,5	110	6,7	99	6,5	96
	3	10,1	11,8	117	11,3	112	10,1	100	9,3	92
	7	15,0	17,3	115	16,8	112	14,7	98	13,5	90
	28	18,0	20,2	112	19,4	108	18,0	100	16,6	92

Для определения основных параметров растворосмесительного насоса были проведены исследования подвижности магниезиальной растворной смеси и ее влияние на его производительность. Подвижность магниезиальной растворной смеси определялись по методике, изложенной в ГОСТ 23789–79 «Вязущие гипсовые. Методы испытаний» при помощи вискозиметра Суттарда. Использование этой методики обуславливается тем, что исследование подвижности растворной смеси по ГОСТ 5802–86 «Растворы строительные. Методы испытаний» не позволяет отследить зависимость изменения пластических свойств растворной смеси от изменения ее составов, применяемых в эксперименте.

В аналитической форме зависимость подвижности магниезиальной растворной смеси от ее состава имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & \Pi = 283,49 + 7,87K - 7,87Ц - 13,173Ц - 5,37K^2 + 4,79KЦ + \\
 & + 16,46KЗ - 26,87Ц^2 - 3,54ЦЗ - 6,87Ц^2,
 \end{aligned} \quad (3)$$

где Π – подвижность растворной смеси в мм расплыва по вискозиметру Суттарда; K – крупность песка, мм; $Ц$ – цементно-песчаное отношение по массе; $З$ – отношение затворителя к магниезиальному цементу по массе.

В качестве растворосмесительного насоса применялся штукатурный агрегат М-теc м3 «Матис» (рис. 7).

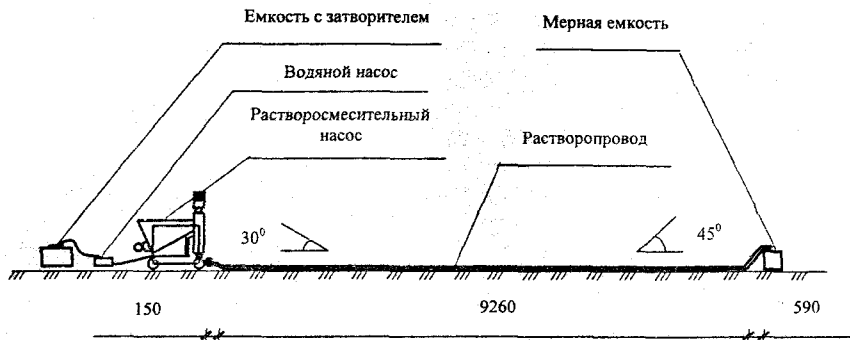


Рис. 7. Схема расположения оборудования при исследовании зависимости производительности растворосмесительного насоса от подвижности магнизиальной растворной смеси

Зависимость производительности растворосмесительного насоса от подвижности магнизиальной растворной смеси отражается формулой:

$$Pr_T = 10^{-3} \Pi^2 - 242 \cdot 10^{-3} \Pi + 29,54, \quad (4)$$

где Pr_T – техническая производительность растворонасоса, л/мин; Π – подвижность магнизиальной растворной смеси, мм.

Таким образом, объединяя полученные зависимости с уже известными формулами по расчету основных параметров растворосмесительного насоса, получаем систему уравнений (5), описывающую зависимость технологических параметров растворосмесительного насоса от состава и пластичности применяемой магнизиальной растворной смеси.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi = 283,49 + 7,87K - 7,87Ц - 13,173Ц - 5,37K^2 + 4,79КЦ + \\ + 16,46КЗ - 26,87Ц^2 - 3,54ЦЗ - 6,87Ц^2; \\ Pr_T = 10^{-3} \Pi^2 - 242 \cdot 10^{-3} \Pi + 29,54; \\ V = Pr_T / (\pi D^2 3600 / 4); \\ N = P V / 1020 \eta_{лпр}; \\ P = P_1 + P_2 + P_3; \\ P_1 = 100 \pi R^2 \Delta p L; \\ P_2 = G \sin \alpha; \\ G = 10^{-4} \pi \gamma R^2 L_1; \\ P_3 = (\sum 10^{-4} \pi R^2 \xi V^2 \gamma) / 2g, \end{array} \right. \quad (5)$$

где V – средняя скорость транспортирования смеси по транспортному трубопроводу с помощью винтового насоса, м/с; N – мощность привода винтового насоса, кВт; P – суммарное усилие движения смеси в трубопроводе, Н; P_1 – усилие, вызванное сопротивлением смеси в транспортном трубопроводе, Н; P_2 – усилие, вызванное сопротивлением от веса смеси на вертикальных и наклонных участках транспортных трубопроводов, Н; P_3 – усилие, вызванное местным сопротивлением транспортных трубопроводов; R – внутренний радиус транспортного трубопровода, см; L – общая длина транспортного трубопровода, м; Δp – гидравлическое сопротивление движению смеси на 1 м длины транспортного трубопровода, МПа; G – сила тяжести, Н; α – угол наклона трубопровода, град.; γ – удельный вес смеси Н/м³; L_1 – длина наклонного транспортного трубопровода, м; ξ – коэффициент местного сопротивления, зависящий от конфигурации и геометрических размеров; $V^2/2g$ – скоростной напор, м.

В пятой главе представлен «Технологический регламент на устройство монолитного пола на магниезиальном вяжущем при различных температурах», также приведены технико-экономические показатели.

Во «Введении» указываются преимущества применения магниезиального раствора для устройства монолитных покрытий и стяжек: высокая подвижность и быстрое твердение, высокая прочность, низкая истираемость, экологичность, биостойкость, негорючесть, безыскровость при применении соответствующих заполнителей.

Первый раздел «Проектирование и область применения» содержит методику расчета основных параметров технологии устройства монолитного пола на основе магниезиального раствора (рис. 8), рассматривает возможные конструктивные решения монолитного пола: магниезиальное покрытие по бетонному основанию или растворной стяжке, магниезиальная стяжка под другие виды покрытия. Определены температурные условия проведения работ. Перечислены условия эксплуатации, в которых могут применяться магниезиальные полы. Составлены требования к магниезиальной смеси. Приведен перечень строительных норм и правил.

Второй раздел «Материалы для приготовления магниезиального раствора» посвящен изложению требований к исходным материалам, а также содержит требования к свойствам полученного раствора: подвижность 160...240 мм (марка по подвижности П₃), прочность на сжатие 15...35 МПа, на изгиб 5...10 МПа.

Третий раздел «Приготовление и укладка магниезиального раствора» содержит перечень необходимых машин и оборудования, а также рекомендации по приготовлению, трубопроводному транспортированию и укладке магниезиальной смеси.

В зависимости от технического задания на устройство пола определяются: требования к составу смеси, выбор метода ведения работ, подбор оборудования.

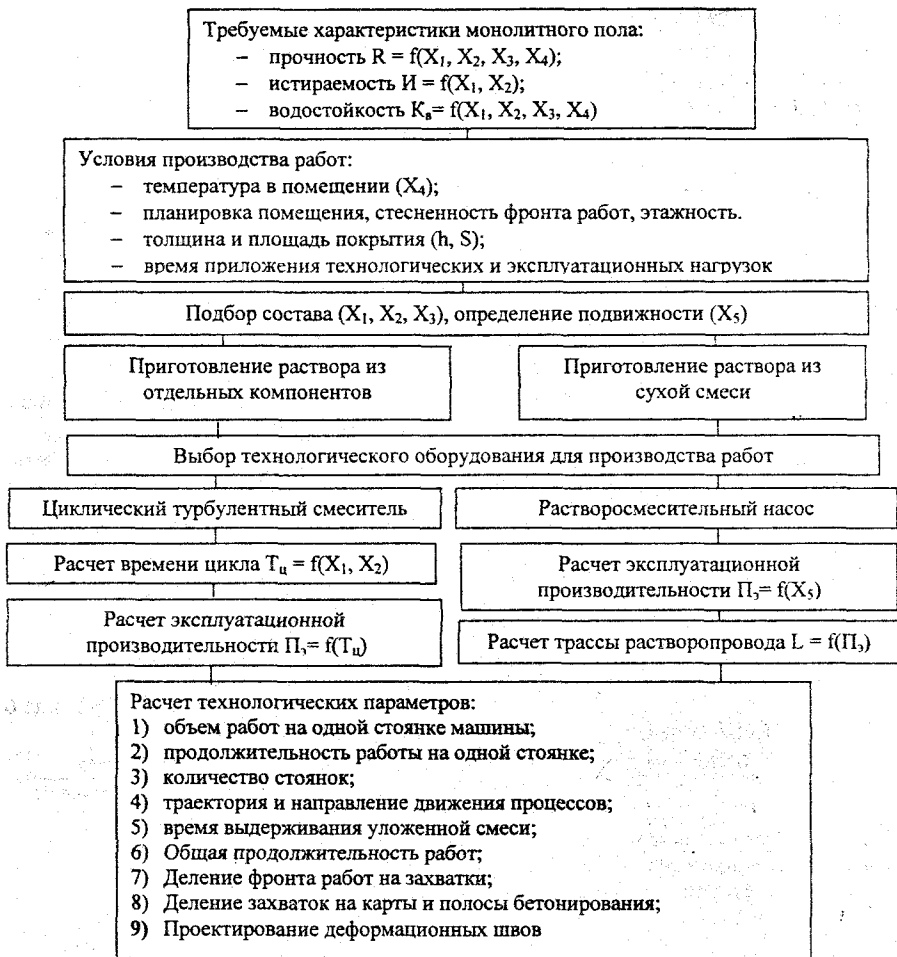


Рис. 8. Последовательность расчета основных параметров технологии устройства монолитного пола на основе магнезиального раствора

Приготовление растворной смеси в зависимости от состава и объема замеса может осуществляться в смесителях принудительного действия, турбулентных смесителях, а также в растворосмесительных насосах. Укладка смеси в конструкцию пола зависит от выбранного метода ведения работ и может осуществляться выгрузкой из смесителя на место укладки или перекачиванием растворонасосом через растворопровод. От метода укладки зависит скорость бетонирования, деление фронта работ на захватки, трудоемкость и продолжительность работ, количество занятых рабочих а также общая организация работ.

Четвертый раздел «Производство работ при отрицательных и знакопеременных температурах наружного воздуха». От температурных условий на площадке зависит состав применяемого магнезиального раствора и плотность затворителя, время выдерживания магнезиального пола до набора требуемой прочности. Представлены графики и таблицы зависимости скорости набора прочности от применяемого состава и температуры выдерживания.

Пятый раздел содержит технологические карты на выполнение различных видов работ: подготовка основания, приготовление растворной смеси, подача, укладка и выдерживание магнезиального раствора.

В разделе технико-экономической эффективности сделан расчет трудозатрат и стоимости устройства 100 м² монолитного пола на основе магнезиального раствора, также проведено сравнение себестоимости и трудоемкости устройства пола по различным технологиям как при положительных, так и при отрицательных температурах (табл. 5, 6). Все расчеты произведены в ценах на декабрь 2005 года.

Таблица 5

Стоимость работ по устройству 100 м² магнезиального пола ($\delta = 30$ мм)

Наименование элементов затрат	Величина
Заработная плата рабочих строителей, руб.	579,49
Эксплуатация машин, руб.	205,40
Материальные ресурсы, руб.	16723,80
Накладные расходы, руб.	2486,23
Всего, руб.	19994,92

Таблица 6

Себестоимость и трудоемкость устройства пола по различным технологиям при положительных и отрицательных температурах

Технология	Себестоимость/ трудоемкость 1 м ² , %/ чел.-ч
Монолитный пол на основе магнезиального раствора	100/ 0,14
Монолитный бетонный пол с упрочненным поверхностным слоем. Камерный прогрев. (Отрицательные и знакопеременные температуры)	157/ 0,58
Монолитный бетонный пол с упрочненным поверхностным слоем. Греющий провод. (Отрицательные и знакопеременные температуры)	130/ 0,66
Вакуумированный монолитный бетонный пол	175/ 0,30
Полимерный наливной пол	210/ 0,80
Монолитный бетонный пол с упрочненным поверхностным слоем	118/ 0,51

Таким образом, в среднем затраты труда на устройство монолитного магнезиального пола по операциям в зависимости от вида применяемого оборудования и методов ведения работ составляют: 14,13...18,24 чел.-ч на 100 м² пола. Себестоимость 1 м² магнезиального пола на основе раствора толщиной от 15 до 50 мм составляет 180 – 390 руб.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Существующие способы устройства монолитного пола имеют ряд существенных недостатков, а применяемые для их изготовления материалы не обеспечивают необходимых физико-механических и технологических свойств.

2. Получены оптимальные по своим технологическим характеристикам составы магнезиального раствора: отношение вяжущего к заполнителю по массе должно составлять 1:1...1:2 при крупности заполнителя до 1,25 мм, и 1:3 при крупности заполнителя более 1,25 мм; отношение затворителя к вяжущему должно составлять 0,8...0,9, а плотность затворителя может изменяться в диапазоне 1,2...1,25 г/см³. Характеристики магнезиального раствора: прочность на сжатие 25–40 МПа, темп твердения составляет в 1-е сутки – 30 % от R₂₈, в 3-е сутки – 50 % от R₂₈, в 7-е сутки – 70 % от R₂₈, водостойкость K_в = 0,6 – 0,7, истираемость 0,15 – 0,20 г/см².

3. Выявлено, что магнезиальный раствор твердеет при температурах от 0 до минус 10 °С. Темп твердения составляет в 1-е сутки – от 10 до 26 % от R₂₈, в 3-е сутки – от 20 до 34 % от R₂₈, в 7-е сутки – от 22 до 46 % от R₂₈. Показано, что температуры выдерживания от 0 до – 10 °С обуславливают снижение темпа твердения магнезиального раствора и увеличения плотности затворителя. Это способствует созданию более плотной бездефектной структуры материала и повышению его марочной прочности на 7–22 %.

4. Установлено, что наиболее производительным типом циклического смесителя является турбулентный (до 5,42 м³/ч), время оптимального перемешивания в турбулентном смесителе от 10 до 20 с в зависимости от состава смеси.

5. Получены математические зависимости основных параметров растворосмесительного насоса от состава и подвижности применяемой растворной смеси, которые позволяют вычислить производительность машины, среднюю скорость движения смеси по растворопроводу, максимальную длину и траекторию растворопровода.

6. Разработан «Технологический регламент на устройство монолитного пола на магнезиальном вяжущем при различных температурах» позволяющий получить пол с необходимыми характеристиками по прочности, водостойкости и истираемости. Предлагаемая технология прошла апробацию, которая подтвердила правильность предлагаемых технологических рекомендаций по устройству монолитного магнезиального пола с повышенными технологическими и эксплуатационными характеристиками в условиях различных температур.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях.

1. Головнев С.Г., Киянец А.В., Горбаненко В.М. Перспективы применения модифицированных бетонов и растворов для устройства полов // Восьмые уральские академические чтения/ Энерго и ресурсосбережение в архитектуре и градостроительстве. – Екатеринбург: Институт "УралНИИпроект" УРО РААСН, 2004. – С.155 – 161.
2. Головнев С.Г., Киянец А.В., Горбаненко В.М. Преимущества применения магниезиальных стяжек // Жилищное строительство. – 2004. – №7. – С. 27–28.
3. Головнев С.Г., Киянец А.В., Дьяков К.В. Эффективное применение магниезиальных бетонов и растворов в строительстве // Девятые уральские академические чтения/ Энерго и ресурсосбережение в архитектуре и градостроительстве. – Екатеринбург: Институт "УралНИИпроект" УРО РААСН, 2004. – С.205–206.
4. Киянец А.В. Разработка технологии отделочных работ с применением материалов на основе магниезиального вяжущего // Сборник рефератов научно-исследовательских работ аспирантов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С.44–45.
5. Киянец А.В., Головнев С.Г. Технология реконструкции бетонного пола нанесением магниезиального покрытия // Вестник РААСН. – М.: РААСН, 2004. – Вып.8. – С.147–151.

Киянец Александр Валерьевич

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА МОНОЛИТНЫХ ПОЛОВ
НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Специальность 05.23.08 – «Технология и организация строительства»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

Подписано в печать 28.04.2006. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 92/151.

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.