

Киевский государственный технический университет строительства  
и архитектуры

На правах рукописи

Фунди Юсуф Атман

Щелочные пуццолановые портландцементы  
и бетоны на их основе

Специальность 05.23.05 - Строительные  
материалы и изделия

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев - 1994



00778830 (X)

Дисертація представл

Робота виконана в Київському державному університеті будівництва та архітектури на кафедрі технологій виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій і в НІІВМ ім. В. Д. Глухівського

Научні керівники: Заслужений діяч науки УРСР, доктор технічних наук, професор

Глухівський В. Д.

доктор технічних наук, професор

Рунаве Р. Ф.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Сербин В. П.

кандидат технічних наук, доцент

Дорошенко Д. М.

Ведуча організація - Український науково-дослідницький і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів і виробів державної корпорації "Укробудматеріали"

Захист дисертації состоится "19" окт 1994 г. в 18-00 час. на засіданні спеціалізованого ученого ради К 068.05.06 "Будівельні матеріали і вироби. Основи і фундаменти" КІТУСНА по адресу: 252087, м. Київ-87, Воздухофлотський проспект, 81, ауд. 464.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці КІТУСНА.

Автореферат розроблений "10" септ 1994 г.

Учений секретар спеціалізованого ради, кандидат технічних наук, доцент

В. А. Ракша

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Смешанным цементом, прежде всего пуццоланового типа, уделяется особое внимание по ряду причин. К важнейшей из них относится возможность уменьшить энергозатраты на производство цемента и улучшить экологическую обстановку. Содержание пуццолановых добавок в портландцементе регламентируется пределами, зависящими от происхождения добавки; по мнению большинства исследователей содержание природной пуццоланы не должно превышать 40%.

Ограничение областей использования бетонов на пуццолановых портландцементе обусловлено их повышенными водопотребностью и усадкой, замедленным нарастанием прочности, пониженными трещиностойкостью и морозостойкостью. В связи с этим такие бетоны не рекомендуются для гидротехнических сооружений, подвергающихся многократному водонасыщению, и для наземных конструкций, подвергающихся действию знакопеременных температур, особенно в районах с сухим и жарким климатом.

Одним из путей, позволяющих исключить перечисленные недостатки бетонов и расширить области их применения, является введение щелочных эффузивных пород в состав пуццоланового портландцемента в количестве, превышающем допустимые пределы. Правомочность такого подхода основывается на данных о долговечности щелочесодержащих материалов.

Цель исследований является разработка щелочных пуццолановых портландцементных вяжущих систем, содержащих более 40% эффузивных горных пород, и получение долговечных бетонов на их основе.

### Автор защищает:

- теоретическое и экспериментальное обоснование возможности получения эффективных пуццолановых цементов с повышенным содержанием щелочных эффузивных пород и бетонов на их основе;

- обоснованные предложения по использованию соединений щелочных металлов в сочетании с поверхностно-активными веществами в качестве комплексных добавок, улучшающих свойства пуццолановых портландцементов с повышенным содержанием эффузива;

- составы разработанных щелочных пуццолановых портландцементов на основе эффузивных пород, их свойства и физико-химические обоснования процессов твердения;

- составы разработанных бетонов на основе щелочных пуццолановых портландцементов со стабильными прочностными и деформативными свойствами, обоснование их технико-экономической эффективности.

Научная новизна работы:

- впервые показано, что увеличение в пуццолановом портландцементе количества щелочесодержащего эффузива до 70% с одновременным введением комплексной химической добавки сопровождается качественным изменением цементирующей системы и переводом ее в группу щелочно-щелочноземельных алюмосиликатных /"грунтоцементов" по В.Д. Глуховскому/;

- раскрыты закономерности полифункционального влияния комплексной добавки, сочетающей сульфат натрия и лигносульфонат технический на процессы структурообразования цементирующей системы "щелочная эффузивная порода-портландцемент";

- установлено, что для бетонов на основе пуццолановых портландцементов устраняются такие присущие им недостатки, как медленный набор прочности, пониженная воздухо- и трещиностойкость, морозостойкость за счет создания плотной микропористой структуры при твердении вяжущих разработанных составов с повышенным содержанием пуццолана в виде щелочных эффузивных пород.

Практическая ценность результатов работы:

- получены щелочные пуццолановые портландцементы, содержащие от 40% до 70% природной пуццоланы, характеризующиеся активностью в пределах исходного портландцемента или превышающей его;

- разработаны бетоны на основе щелочных пуццолоновых портландцементов с улучшенными стабильными прочностными и деформативными свойствами в сравнении с аналогами на основе портландцемента;
- расширена область использования бетонов на пуццолоновых цементах, в том числе, в условиях сухого и жаркого климата;
- дано экономическое обоснование разработки, заключающееся в возможности уменьшения в два раза клинкерной части за счет использования щелочи эффузивных пород.

Перечисленные положения, помимо общего значения, имеют конкретную направленность на решение проблем строительства в Танзании.

Диссертационная работа выполнялась на кафедре технологии производства бетонных и железобетонных конструкций и в Проблемной НИИ грунтосиликатов КИСИ /ныне НИИВМ им.В.Д.Глуховского/ в рамках исследований по теме "Создание и освоение производстве шлакощелочных вяжущих, бетонных и железобетонных конструкций", раздел 3 - "Исследование грунтоцементов на основе портландцемента" /решение Минвуза УССР от 7.08.85 г. № 17-600 /.

#### Апробация работы:

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на 3-й Всесоюзной научно-практической конференции Киевского инженерно-строительного института "Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции" /Киев, 1989 г./; на Республиканской научно-технической конференции по проблеме "Перспективные технологии вяжущих, бетона и железобетона" /г.Алма-Ата, 1990 г./; на Международной конференции по проблеме "Смешанные цементы в строительстве" /г.Шеффилд, 1991, Великобритания/; на 4 Международной конференции по проблеме "Легкие золь, силикатная пыль, шлаки и природные пуццоланы в бетоне" /г.Стамбул, 1992, Турция/; на Международной конференции по железобетону в условиях жаркого климата /г.Ал-Аин, 1994, ОАЭ /.

Публикации. Основные положения диссертационной работы освещены в 7 печатных работах, из которых 3 в зарубежных изданиях.

Объем и структура диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка использованной литературы из 151 наименований, I приложения, содержит 149 страниц машинописного текста, включая 26 таблиц и 22 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дается анализ и обобщение исследований по рассматриваемой проблеме.

Работы П.П.Будникова, П.Т.Зильберферб, Ф.Массвца, У.Людвиг, Х.Швите, Ш.Уэтт, Д.Гари, Р.Сервале, В.Сабателли, Ш.Валенти и др. свидетельствуют о том, что исследованиям подвергались цементные системы, в которых содержание природной пуццоланы находилось в пределах 15 - 39%. Практически этим же пределом /до 40% / ограничивается содержание эффузива и требованиями ГОСТ 22266. Показано, что такое ограничение обусловлено особенностями продуктов гидратации высококальциевых минералов клинкера в присутствии активного кремнезема.

Из работ В.Б.Ряниова, П.А.Ребиндера, Ю.М.Бутте, Г.С.Рояке, В.Сабателли, Ш.Валенти и др. следует, что модифицирование пуццолоновых поргланцементов с целью улучшения свойств бетонов на их основе осуществляли за счет введения химических добавок, прежде всего солей-электродитов. Однако, при этом соотношение между пуццоловой и клинкерной составляющей оставалось тем же, в связи с чем характер продуктов гидратации практически не изменялся, в основные недостатки рассматриваемых систем в значительной мере сохранялись.

Иные концепции составили основу разработок В.Д.Глуховского и его научной школы при создании щелочных и щелочно-щелочноземель-

ных алюмосиликатных вяжущих /"грунтоцементов"/, в том числе с использованием эффузивов: моделирование природных процессов минералообразования с участием оксидов щелочных и щелочноземельных металлов. Как показано В.В.Чирковой, такие процессы имеют место в системе "клинкерные минералы-соединения натрия - природный стекловидный алюмосиликат".

В соответствии с теорией В.Д.Глуховского, при наличии в системе портландцемента и щелочесодержащей алюмосиликатной породы возможно взаимодействие между гидроксидом кальция, образующимся при гидратации клинкера и вулканической породой с выделением щелочей, которые затем формируют гидроалюмосиликаты цеолитового типа, аналогичные долговечным природным минералам. Вероятность такого процесса в значительной мере зависит от интенсивности перевода щелочи эффузива в раствор.

С учетом выполненного анализа выдвинута научная гипотеза о том, что катионный обмен, который реализуется между гидроксидом кальция и щелочными оксидами, входящими в состав практически нерастворимых природных алюмосиликатов, может быть интенсифицирован за счет дополнительного введения в состав пуццолановых портландцементов соединений щелочных металлов в виде солей, способных оказывать полифункциональное действие на систему с повышенным содержанием щелочных эффузивов.

Известные решения не позволяют улучшить свойства пуццолановых портландцементных вяжущих систем, а, следовательно, и бетонов на их основе без дополнительных химико-технологических воздействий. Это обуславливает необходимость изыскания новых путей таких воздействий и решения вопроса с учетом современных представлений о роли щелочи в цементирующих системах.

Во второй главе дана характеристика использованного сырья и обоснованы методы исследований.

Для получения смешанных вяжущих использовали эффузивные породы в виде вулканического туфа, вулканического пепла, перлита и липарита. С учетом значимости эффузивных пород для процессов структурообразования вяжущих дана полнее их характеристика по месторождениям Украины, Армении и Танзании.

Показано, что запас таких пород на разрабатываемых месторождениях республик СНГ составляет более 2 млрд. тонн, в Танзании освоено 10 месторождений. По химическому составу эффузивы, принятые в исследованиях, достаточно близки и состоят в основном из кремнезема и глинозема /70 - 90%/, щелочи присутствуют в количестве от 5 до 12%. Вулканический пепел представлен тонкодисперсными частично аморфизованными продуктами, туф - более плотная порода аналогичного строения. Липарит характеризуется плотной структурой при общем содержании кристаллической фазы 90 - 95%. Перлит, в основном, стекловидная порода, содержание кристаллической фазы - 20 - 30%. Наиболее освоенное месторождение Танзании в регионе Килиманджаро представлено практически всеми видами эффузивов.

Портландцемент Эдолбуновского завода применяли марок 400 и 500.

В качестве минеральной составляющей комплексной химической добавки использовали  $K_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $Na_2O \cdot 2.8SiO_2 \cdot nH_2O$ , в том же  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$  классе х.ч.; органический-дигиосульфат технический по ГОСТ 13-183.

Для изготовления бетонных образцов использовали в качестве крупного заполнителя гранитный щебень, удовлетворяющий ГОСТ 8269, ГОСТ 8267; мелкого - днепровский речной песок с  $M_k = 1,42$  по ГОСТ 8736.

Исследуемые вяжущие получали совместным помолом эффузивной породы и портландцемента до  $S_{уд.} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Физико-механические свойства вяжущих определяли по ГОСТ 310.1-8, ГОСТ 310.4. Физико-химические исследования проводили с помощью рентгенофазового и дифференциального термического анализом, ИК-спектроскопии.

Исследования механических, деформативных и физических свойств тяжелых бетонов проводили по соответствующим стандартам, указанным в работе.

В третьей главе приведены результаты исследования пуццолоновых портландцементов на основе эффузивных пород.

При разработке щелочных пуццолоновых портландцементных вяжущих с повышенным количеством природной пуццоллы определяющим этапом являлся поиск наиболее эффективной добавки и определение ее оптимального содержания. Одновременно принципиально важными были и те исследования, которые позволили бы оценить свойства разработанного вяжущего во времени с учетом возможности устранения недостатков, которые характерны для традиционных пуццолоновых портландцементов и бетонов на их основе.

При выборе химической добавки для активизации пуццолонового портландцемента исследования проводили на композиции, содержащей 50% перлита в качестве породы стекловидной структуры и, следовательно, обеспечивающей достаточно высокую активность взаимодействия в системе.

Установлено /рис.1/, что при использовании несиликатных солей слабых кислот в начальный период твердения до 28 суток активность смешанного вяжущего оказывается меньше, чем портландцемента, составляя более 50% активности исходного портландцемента. При этом, однако, отмечено, что активность смешанного вяжущего с добавками указанных солей превышает активность аналогов без добавок.

Использование 2 - 4% от массы смешанного вяжущего добавки  $K_2CO_3$  увеличивает прочность камня до 39 МПа против 33 МПа без добавки. При этом экспериментально установлено, что оптимальной концентрацией является 2%  $K_2CO_3$  массы смешанного вяжущего /рис.1/.

Введение 2 - 5% от массы смешанного вяжущего добавки  $Na_2CO_3$  увеличивает прочность камня до 50 МПа. Оптимальная концентрация  $Na_2CO_3$ , как показали эксперименты, составляет 2%. При таком содержании добавки активность смешанного вяжущего увеличивается на 51% по сравнению с аналогами без добавки /рис.1/.

Использование соли сильной кислоты  $Na_2SO_4$  оправдывается более эффективным действием по сравнению с карбонатами калия и натрия: при дозировании добавки в пределах 2 - 5% массы вяжущего, активность его на 28 сутки увеличивается до 53 МПа, т.е. повышается на 60% по сравнению с бездобавочным составом и превышает активность исходного портландцемента. Оптимальная концентрация  $Na_2SO_4$  принята 3% от массы смешанного вяжущего. Установлено, что действие добавки эффективно при использовании 1% ДСТ /рис.1/.

Введение добавки силиката натрия в виде  $Na_2O \cdot 2,8SiO_2 \cdot nH_2O$  оптимальной плотности 1300 кг/м<sup>3</sup> способствует повышению активности смешанного вяжущего до 83 МПа против 33 МПа без добавки. Его активность превышает активность исходного портландцемента, затворенного водой, которая составляет в этих условиях 51 МПа /рис.1/. В качестве замедлителя в сочетании с такой добавкой использован  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ .

Для заключения об эффективности рассмотренных композиций исследована кинетика изменения прочности камня таких вяжущих при твердении в воздушно-сухих условиях и в воде в течение года, подтверждены закономерности, выявленные при твердении в течение 28 суток /рис.2/.

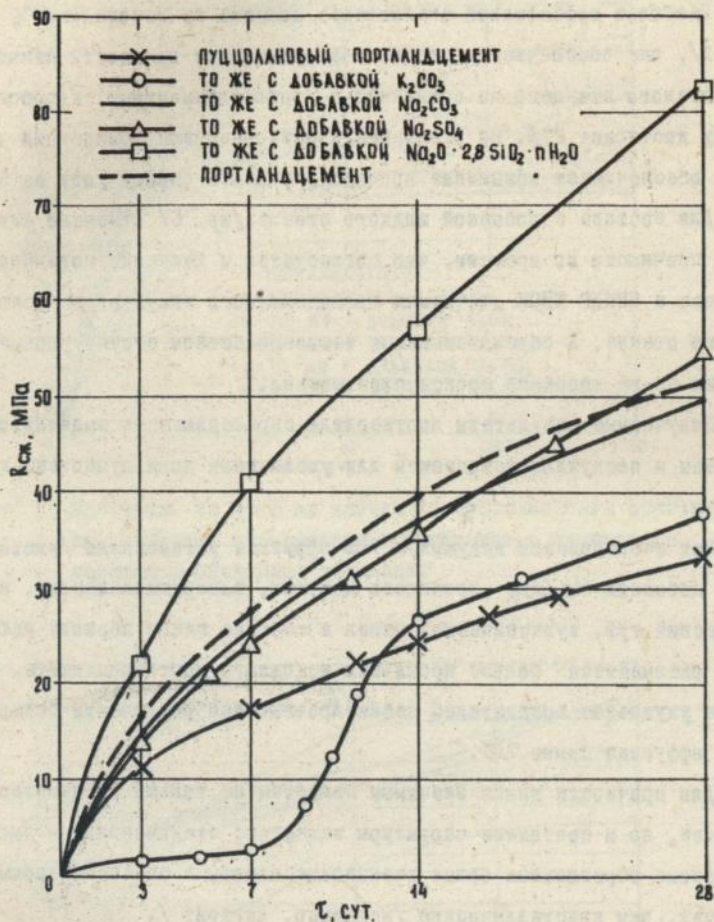


Рис. 1. Влияние вида добавки на активность пуццолановых портландцементов, содержащих 50% перлите.

Наиболее эффективной оказывается добавка на основе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  /кр. 5/, она обеспечивает стабильное превышение прочности камня исследуемого вяжущего по сравнению с поргладцементным, которое к году достигает 27%. По отношению к бездобавочной композиции добавки обеспечивает повышение прочности камня к одному году на 32%.

Для составе с добавкой жидкого стекла /кр. 6/ отмечено снижение прочности во времени, что согласуется с данными, полученными ранее в ПНИИГ КИСИ для камня шлакощелочного вяжущего на основе жидкого стекла, и обуславливается несовершенством структурообразования из-за коротких сроков схватывания.

Полученные результаты подтвердили справедливость выдвинутой гипотезы и послужили основанием для увеличения доли пуццоланы в вяжущем.

При исследовании вяжущих с 70% эффузива установлено /рис.3/, что с добавкой  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  прочность вяжущих, содержащих перлит, вулканический туф, вулканический пепел в течение всего периода наблюдений оказывается больше прочности исходного поргладцементы. Заметное ухудшение показателей зафиксировано при увеличении содержания эффузива свыше 70%.

Для прочности камня значимым является не только количество эффузива, но и состояние структуры вещества: стекловидные и аморфизованные образования более реакционноспособны в рассматриваемых системах, чем кристаллические /например, липерит /.

В целом эти данные позволили заключить, что в синтезе прочности камня рассматриваемых вяжущих систем, имеющем место во времени, определяющее значение имеет щелочь, содержащаяся в составе эффузивных пород и возможность перевести ее в активное состояние.

При анализе данных о характере продуктов гидратации исследуемых смешанных вяжущих вполне очевидна чрезвычайная сложность

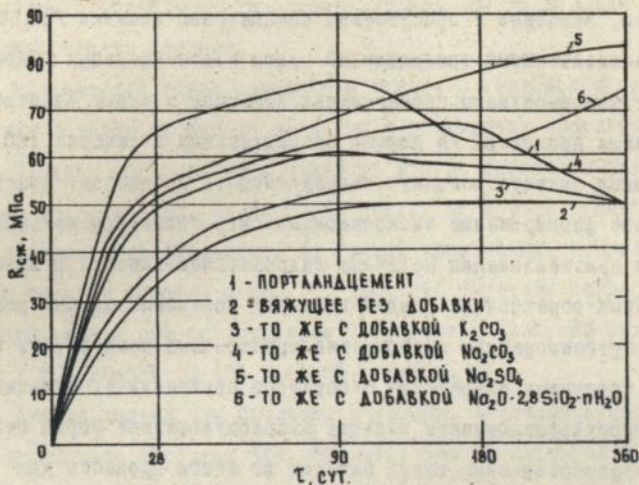


Рис. 2. Изменение во времени прочности пуццоланового портландцемента, содержащего 50% перлита и химические добавки в воздушных условиях.

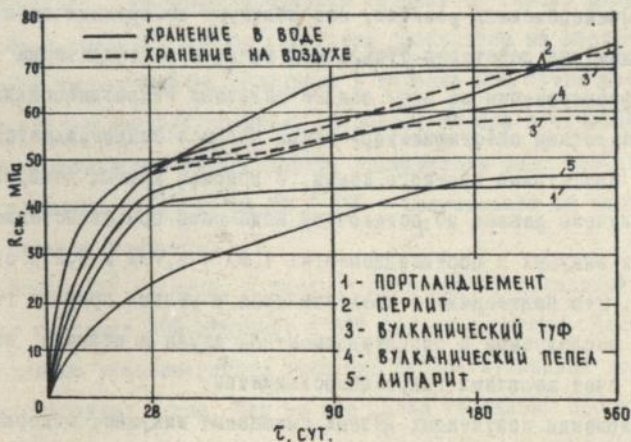


Рис. 3. Изменение во времени прочности пуццолановых портландцементов, содержащих 70% эффузивной породы и комплексную добавку на основе  $Na_2SO_4$ .

таких систем, особенно в присутствии комплексной добавки  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{ДСТ}$  /. Используемый традиционный прием интенсификации гидратации за счет многократного пропаривания образцов с целью идентификации конечных продуктов /в данных исследованиях в течение 100 часов / позволил выявить основную направленность процессов: достаточно быстрое формирование низкоосновных гидросиликатов кальция и медленная кристаллизация щелочных гидрoалюмосиликатов. О присутствии щелочных образований свидетельствует появление слабых рефлексов на рентгенограммах многократно пропаренных препаратов. Отсутствие в продуктах гидратации свободного портландита, кельцита, а также гидросульфoалюмината кальция высокосульфатной формы отличает структурoобразование таких вяжущих от этого процесса для портландцемента.

Комплексная добавка на основе сульфата натрия, вероятно, оказывает полифункциональное влияние на развитие структурoобразования: интенсифицирует как электролит гидратацию клинкера и участвует в катионнообменной реакции, способствует деструкции стеклофазы эффузива под действием сульфатных ионов и ее гидратации вплоть до формирования на этой основе щелочных гидрoалюмосиликатов. В присутствии пластификатора такой процесс сопровождается получением достаточно плотного камня. С помощью кривых десорбции по воде получены данные об остаточной воде геля при сопоставлении исследуемых вяжущих и портландцемента: 1,99 - 8,79% и 5,27% соответственно. Это подтверждает представления о разной природе гелевой фазы в исследуемом и портландцементном камне и отличие ее свойств за счет щелочных гидрoалюмосиликатов.

На основании полученных данных смешанные вяжущие, содержащие 50 - 70% стекловидного или аморфизованного эффузива с комплексной добавкой из  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  / 3% / и ДСТ / 1% / приняты как щелочные пуц-

цолановые портландцементы и использованы при разработке и исследовании тяжелых бетонов.

В четвертой главе приводятся данные о составах и свойствах тяжелых бетонов на основе щелочных пуццолановых портландцементов.

С целью изучения интензивности набора прочности бетона как одного из признаков, по которому бетоны на основе пуццолановых портландцементов отличаются от портландцементных, проведены испытания тяжелых бетонов в 28, 90, 180, 360 суточном возрасте после пропаривания и при естественном твердении в воздушно-сухих условиях /  $T = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  и  $V \backslash = 60 \pm 5\%$  / /табл. I/.

Анализ данных для бетонов, в которых щелочной пуццолановый портландцемент содержит 50% эффузива, свидетельствует о том, что через сутки после пропаривания кубиковая прочность бетонов на основе щелочных пуццолановых портландцементов оказывается больше прочности бетона на основе портландцемента на 15 - 38%. При естественном твердении бетонных образцов на воздухе в течение 28 суток отмечено превышение прочности бетонов на основе разработанных вяжущих в пределах 25% по сравнению с аналогом на портландцементе.

При наблюдении за образцами в течение 360 суток установлено, что в воздушно-сухих условиях твердение бетона в течение года сопровождается ростом прочности, превышающим рост прочности портландцементных аналогов на 20 - 45% в зависимости от вида эффузива в составе вяжущего.

Испытания бетонов, в которых щелочной пуццолановый портландцемент содержит 70% эффузива и 30% портландцемента, подтверждают приведенные закономерности кинетики набора кубиковой прочности и свидетельствуют о том, что во все сроки твердения прочность при сжатии бетонов на основе разработанных вяжущих оказывается больше прочности бетона на портландцементе. При этом получены доста-

Таблица I

## Механические свойства бетонов на основе щелочных пуццолоновых портландцементов

Условия твердения, сроки испытания, сут.	Показатели для бетонов при составе вяжущих*:											
	портландцемент				портландцемент + вулканический туф				портландцемент + перлит			
	Рсж., МПа	Рпр., МПа	Рпр., Рсж.	Е · 10 <sup>4</sup> , МПа	Рсж., МПа	Рпр., МПа	Рпр., Рсж.	Е · 10 <sup>4</sup> , МПа	Рсж., МПа	Рпр., МПа	Рпр., Рсж.	Е · 10 <sup>4</sup> , МПа
Воздушное												
28	37	27	0,78	2,9	<u>46</u> 45	<u>29</u> 45	<u>0,63</u> 1,0	<u>2,8</u> 3,7	<u>54</u> 54	<u>46</u> 42	<u>0,85</u> 0,78	<u>3,08</u> 3,20
90	45	35	0,77	3,0	<u>51</u> 60	<u>34</u> 52	<u>0,67</u> 0,87	<u>3,08</u> 3,50	<u>64</u> 61	<u>50</u> 49	<u>0,78</u> 0,80	<u>3,2</u> 3,4
180	55	41	0,74	3,2	<u>60</u> 68	<u>44</u> 59	<u>0,78</u> 0,87	<u>3,4</u> 3,6	<u>79</u> 70	<u>58</u> 56	<u>0,67</u> 0,80	<u>3,2</u> 3,5
360	58	48	0,74	3,2	<u>70</u> 75	<u>51</u> 65	<u>0,78</u> 0,87	<u>3,7</u> 3,6	<u>84</u> 77	<u>58</u> 62	<u>0,69</u> 0,80	<u>3,2</u> 3,5
ТВО + воздушное												
1	39	28	0,72	2,74	<u>51</u> 44	<u>48</u> 38	<u>0,84</u> 0,86	<u>2,74</u> 3,30	<u>60</u> 54	<u>50</u> 48	<u>0,88</u> 0,80	<u>3,67</u> 3,20
28	49,6	37	0,75	3,01	<u>57</u> 58	<u>46</u> 51	<u>0,81</u> 0,96	<u>2,98</u> 3,40	<u>61</u> 58	<u>52</u> 56	<u>0,85</u> 0,96	<u>3,22</u> 3,72

\* В составе щелочных пуццолоновых портландцементов добавки  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  / 3% / + 1СТ / 1% / .  
 Над чертой для составе цемента, масс.% : портландцемент - 50, эффузивная порода - 50;  
 под чертой для составе цемента, масс.% : портландцемент - 30, эффузивная порода - 70.

точно большие значения прочности на 360 суток - 75 и 77 МПа соответственно при использовании в вяжущем вулканического туфа и перлита с превышением интенсивности набора прочности по сравнению с портландцементным в пределах 30%.

Таким образом, установлено, что бетоны на основе щелочных пуццолановых портландцементов, содержащих до 70% эффузива, лишены такого недостатка, как замедленный набор прочности, характерный для традиционных бетонов с ограниченным содержанием эффузива.

Исследованиями установлено закономерное влияние вяжущего на такой важный показатель, как приземная прочность бетона, используемый для характеристики действительного сопротивления бетону в конструкции.

По значениям приземной прочности бетоны на основе щелочных пуццолановых цементов также имеют преимущества перед портландцементными: во всех случаях, даже при 70%-ном содержании в вяжущем эффузива, не наблюдалось ухудшения значений приземной прочности, в превышение достигло 44%.

Результаты определения модуля упругости бетонов /табл. I / показали, что как в начальный, так и в последующие сроки твердения, этот показатель находится в пределах значений, установленных для портландцементных бетонов и составляет  $2,7 - 3,6 \cdot 10^4$  МПа.

Наблюдения за бетонами, находящимися в течение года в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и 1% растворе  $\text{MgSO}_4$  показали, что стойкость бетона на основе разработанных щелочных пуццолановых бетонов оценивается  $K_c = 0,84$ , превышающим показатель портландцементного бетона  $K_c = 0,62$  /.

При испытании к действию попеременного увлажнения и высушивания установлено, что бетоны на основе щелочных пуццолановых цементов выдерживают 100 циклов испытания без потери прочности, бетон

на основе портландцемента в этих условиях начинает терять прочность после 25 циклов.

Испытаниями бетонов в условиях изменяющихся температур выявлена повышенная стойкость бетонов разработанных составов: после 100 циклов испытания прочность составляла 64 МПа против 49 МПа для портландцементного бетона.

Особенно убедительно характеризуют долговечность исследуемого бетона испытания на морозостойкость: при использовании перлита и вулканического туфа в составе вяжущего бетоны выдержали более 900 циклов замораживания и оттаивания без потерь массы и прочности в пределах, регламентируемых стандартом.

Исследования параметров открытой пористости  $W_o$  / показывали, что бетоны на основе щелочных пуццолановых цементов более плотные, чем на основе портландцемента:  $W_o$  равен 7% и 10,5% соответственно. Известно, что наиболее высокими значениями морозостойкости характеризуются бетоны, средний размер пор которых  $\lambda = 0,2 - 0,8$  при средней или высокой однородности пор  $/\alpha/$  по размерам. Для щелочных пуццолановых портландцементных бетонов  $\lambda$  составляет 0,19 - 0,28 при высоком показателе однородности  $\alpha > 0,75$ .

Эти результаты хорошо коррелируют с данными о морозостойкости шлакщелочных цементирующих систем и на основании этого объясняются двумя факторами: повышенной микропористостью геля и наличием в порах щелочного раствора, замерзающего при более низких температурах, чем поровая жидкость портландцементного камня. Присутствие добавки не изменяет щелочность среды твердеющего цемента, о чем свидетельствуют данные по проверке стойкости в нем арматуры.

В целом параметры поровой структуры исследуемых бетонов в значительной мере объясняют их свойства и отличия от бетонов на основе пуццолановых портландцементов.

Расчетная экономическая эффективность использования щелочных пуццолоновых портландцементов определяется уменьшением расхода топлива на обжиг клинкера на 70%, а также расхода электроэнергии при помоле материалов на 46%.

### В В О Д Ы

1. Экспериментально подтверждена гипотеза о возможности существенного улучшения свойств пуццолоновых портландцементов и бетонов на их основе путем вовлечения в процессы структурообразования щелочей, присутствующих в природных пуццоланах эффузивных пород и моделирования цементирующих систем щелочно-щелочвоземельного алюмосиликатного состава при увеличении пуццолана до 70%.

Впервые получены качественно отличающиеся от известных щелочные пуццолоновые портландцементы.

2. Изучено влияние комплексных добавок на основе соединений щелочных металлов на активность и интенсивность набора прочности щелочных пуццолоновых портландцементов и установлено преимущество полифункциональной добавки, содержащей сульфат натрия /3% массы цемента/ и технический лигносульфонат /1% массы цемента/.

3. Установлена закономерность изменения активности щелочного пуццолонового цемента в зависимости от содержания стеклофазы в эффузивной породе: с уменьшением стеклофазы в ряду перлит - вулканический туф - вулканический пепел - липарит с 80 до 10% активность цемента при содержании в нем 70% породы уменьшается соответственно 47, 43, 41 и 26 МПа/ при использовании портландцемента М400/.

4. Показано, что щелочные пуццолоновые портландцементы обеспечивают повышенную прочность камня во все сроки воздушного и водного твердения: при 70%-ном содержании эффузива прочность на 28 суток превышает прочность портландцемента до 16%, на 360 суток до 62% в зависимости от породы. По этому признаку они отличаются от традиционных пуццолоновых портландцементов и подобны вяжущим

группы щелочно-щелочноземельных алюмосиликатных.

5. Физико-химическими исследованиями показано, что структурообразование щелочных пуццолановых портландцементов при чрезвычайной сложности процессов характеризуется интенсивным формированием низкососновых гидросиликатов кальция и медленной кристаллизацией щелочных гидравмосиликатов, образующих на начальной стадии гель повышенной плотности. Действие сульфатосодержащей комплексной добавки обеспечивает уменьшение водопотребности системы, активизацию гидратации клинкерной составляющей и деструкцию стеклофазы.

6. На основе разработанных щелочных пуццолановых портландцементов получены тяжелые бетоны М450-М500, характеризующиеся затухающим во времени ростом прочности: к I году прирост прочности составил 52-55% против 50% для портландцементного аналога при абсолютных значениях соответственно 70 - 84 и 58 МПа.

7. Установлено, что среда твердеющих бетонов разработанных составов обеспечивает благоприятные условия для защиты арматуры от коррозии: потеря массы металла к 90 суткам составила 1,15 - 1,16 г/м<sup>2</sup> против 1,20 г/м<sup>2</sup> в среде портландцементного аналога, что подтверждает высокую плотность бетона и направленность физико-химических процессов гидратообразования с участием комплексной добавки.

8. Изучены конструктивные свойства тяжелых бетонов предложенных составов и показано, что по значениям призмочной прочности и модуля упругости они практически не отличаются от аналогов на основе портландцемента: призмочная прочность на 28 суток естественного твердения соответственно равна 29-46 и 27 МПа, к I году - 50-65 и 43 МПа; модуль упругости на 28 суток -  $2,8 - 3,7 \cdot 10^4$  и  $2,9 \cdot 10^4$  МПа. Это позволяет рекомендовать использование бетона на

основе щелочного пуццоланового портландцемента в тех же конструкциях, что и бетоне на портландцементе.

9. Долговечность предложенных тяжелых бетонов подтверждена результатами их испытаний на коррозионную стойкость в растворах сульфатов натрия и магния, стойкость к действию попеременного увлажнения и высушивания при  $110^{\circ}\text{C}$  /100 циклов испытаний с приростом прочности/, к действию изменения температуры в интервале  $20 - 110^{\circ}\text{C}$  /более 100 циклов без потерь массы и прочности/, а также на морозостойкость при испытании в течение более 900 циклов без потерь массы и прочности.

10. Показано, что разработанный бетон характеризуется как микропористый с показателем средней крупности пор  $0,19 - 0,33$  при высокой степени их однородности -  $0,65 - 0,95$  с общим показателем открытой пористости в пределах -  $7 - 9,9\%$ . Микропористая структура бетона определяется наличием геля повышенной плотности, что подтверждено характером кривых десорбции по воде и слабой интенсивностью влагоотдачи продуктами гидратации щелочного пуццоланового портландцемента. Параметры поровой структуры в значительной мере объясняют приведенные эксплуатационные свойства.

11. Экономическая эффективность использования щелочных пуццолановых портландцементов определяется по сопоставлению с портландцементом уменьшением себестоимости на  $48\%$ ; снижением расхода топлива /обжиг / на  $70\%$ ; электроэнергии /помол/ на  $46\%$ ; что в сочетании с эксплуатационными свойствами бетонов обеспечивает в целом преимущество таких материалов.

С учетом идентичности химико-минералогического состава и структуры эффузивов Украины, Армении и Тензении, а также свойств вяжущих и бетонов полученные результаты рассматриваются как обоснование для организации производства щелочных пуццолановых порт-

ландцементов и бетонов на их основе в странах Африканского континента.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Глуховский В.Д., Фунди Ю. Щелочной пуццолоновый портландцемент на эффузивных породах. Шлякощелочные цементы, бетоны и конструкции. Доклады и тезисы докладов 3-й Всесоюзной научно-практической конференции. Киев, 1989. - С.95-96.
2. Рунова Р.Ф., Фунди Ю. Активность щелочных пуццолоновых портландцементов. Строительные материалы и конструкции, № 4. 1990. - 9с.
3. Рунова Р.Ф., Фунди Ю. Щелочные пуццолоновые портландцементы с химическими добавками. Цемент, № 11-12. 1991. - С.24-29.
4. Фунди Ю., Рунова Р.Ф. Влияние структурных особенностей эффузива на активность щелочных пуццолоновых вяжущих. Перспективные технологии вяжущих, бетона и железобетона. Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. Алма-Ата, 1990. - 13с.
5. R.F.Runova; Y.A.Fundi. Strengths and Properties of Alkaline Pozzolanic Portland Cements. International Conference on Blended Cements in Construction. UK. Sheffield. 1991.
6. R.F.Runova; Y.A.Fundi. Activity and Properties of Alkaline Pozzolanic Cements and Concretes on their base. Fourth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. Istanbul, Turkey. 1992.Pp.811-827.
7. Y.A.Fundi. Durability (longevity) of Concrete Based on Alkaline Pozzolana Portland Cements. First International Conference on Reinforced Concrete Materials in Hot Climates, U.A.E. Al-Ain, 1994.

Fundi

Подп. к печ. 17,08,94 Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага тип. № 3 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 416  
Услови. кр.-отт. 1,27 . Уч.-изд. л. 40  
Тираж 100 . Зак. № 4.4092

---

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Воынская, 60.

11.01.80

AB 30.822