

В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич

КОНСТРУКЦИОННЫЙ БЕТОН С ДОБАВКОЙ РСУ



Брест 1997

В.П. Уласевич, З.Н. Уласевич

КОНСТРУКЦИОННЫЙ Б Е Т О Н С ДОБАВКОЙ РСУ

Брест - 1997

УДК 547.044

Уласевич В.П., Уласевич З.Н. Конструкционный бетон с добавкой РСУ. - Брест: БрПИ. 1997. - 65 с.

В работе обобщен опыт утилизации регенерационных стоков (РС) Слуцкого сахарорафинадного завода, основанный на научных исследованиях авторов, с целью получить дешевый, экологически чистый полифункциональный модификатор бетона РСУ (регенерационный сток утилизированный). Изложены так же результаты экспериментально-теоретических исследований, подтверждающие его эффективность. Работа представляет интерес и с позиций социально-этичного маркетинга с целью расширения рынка в области применения конструкционных бетонов с добавкой РСУ.

Предназначена для инженерно-технических работников, занятых в промышленности строительных материалов и строительстве, а так же лиц, заинтересованных в рациональном использовании природных ресурсов и охране окружающей среды.

Табл. 24, рис. 7, список лит.: 17 назв.

Рецензент: Научно-технический центр Министерства архитектуры и строительства. Зам. директора, канд.техн.наук Деркач В.Н.

© Экоцентр по технологиям и информации ОСиЯ, 1997

Предисловие

Оздоровление нашей планеты - задача величайшей важности: от ее решения зависит жизнь и здоровье не только человека, но всего живого на земле. Понимая, что экологический кризис может охватить всю планету Земля, в июне 1992 г. ООН провела в Рио-де-Жанейро крупнейший в истории конгресс по вопросам экологии - *Съезд планеты*, на котором была принята *“Повестка дня XXI века”*. Для координации действий по ее осуществлению была создана *Комиссия ООН по устойчивому развитию*, главная цель которой - способствовать взаимовыгодному партнерству между государственными и общественными организациями, наукой и деловыми кругами, обеспечивающему *стратегию устойчивого развития*. Составляющие этой стратегии связаны с новыми *“зелеными технологиями”*, благодаря которым производства, порождающие отходы и расточительно расходующие природные ресурсы должны быть исключены из производственной деятельности. Один из важнейших принципов стратегии устойчивого развития - *принцип внедрения безотходных и малоотходных технологий* в сельском хозяйстве, промышленности, строительстве.

Как подтверждает опыт стран, добившихся на этом пути наибольших успехов, реализация *принципа внедрения безотходных и малоотходных технологий* невозможна без активной позиции общественных экологических негосударственных организаций (НГО). Благодаря их деятельности появляется возможность *формировать* новое экологическое мышление, способствовать пропаганде ресурсосберегающих технологий на местном и межрегиональном уровне, научно обоснованного их обсуждения с независимых позиций с заинтересованными отраслевыми службами на уровне социально-этичного маркетинга. Такая работа посильна общественной НГО, располагающей хорошо оснащенным научно-информационным ресурсным центром. В Белорусской республиканской ассоциации *ОСиЯ (Окружающая Среда и Я)* функции общественного координатора и консультанта с независимых позиций выполняет *Экоцентр по технологиям и информации*, в составе которого на общественных началах работают высококвалифицированные ученые и специалисты Балтийского георегиона Беларуси. В своей деятельности *Экоцентр ОСиЯ* считает приоритетной работу по пропаганде *“зеленых*

технологий” в рамках программы действий по охране окружающей Среды для Центральной и Восточной Европы (ПДООС), одобренной на конференции министров в апреле 1993 г. (Люцерн, Швейцария), а так же программе *общественного Балтийского университета* по охране окружающей среды Балтийского георегиона (Упсала, Швеция). Стратегическая линия работы *Экоцентра* - способствовать развитию и функционированию механизма устойчивой интеграции интересов науки, деловых кругов и финансовых институтов при обмене "зелеными технологиями". Среди приоритетных направлений - пропаганда малоотходных и безотходных технологий в промышленности, управление отходами производства и потребления; экологически чистые строительные материалы и конструкции. Экоцентр считает важным поддерживать технологии, обеспечивающие снижение объемов образования отходов, повышение уровня и эффективности их использования, создания системы мониторинга по отходам. В рамках этой задачи приоритетное место занимают научные разработки, направленные на создание и внедрение технологий по утилизации отходов с целью превращения их в товарный продукт, пригодный в других материало- и энергоемких отраслях производства, и в первую очередь - в строительстве.

Промышленность всегда наносила вред окружающей среде. В результате производственной деятельности только в Республике Беларусь образуется около 40 млн. т. твердых промышленных отходов. Номенклатура их обширна - более 300 видов. Если исключить вторичное сырье, то количество неиспользуемых, или частично используемых отходов составляет около 35 млн. т. К их числу прибавляются и осадки промышленных стоков, общее количество которых составляет более 1.2 млн. т. Сконцентрированные в отвалах на свалках, осаждаемые на полях фильтрации, они выводят из строя многие сотни гектаров земель, являются источниками загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха и почвы. Все это наносит непоправимый ущерб не только экологии Беларуси, но так же Балтийскому и Черноморскому георегионам. В то же время в отходах и осадках промстоков содержатся ценные компоненты, извлечение и утилизация которых позволяет не только обезвредить их, но и обеспечить экономию первичных сырьевых ресурсов. Решение этой задачи наиболее эффективно возможно на межотраслевом уровне.

Особенно актуальна эта проблема в производстве железобетонных изделий и конструкций. Ежегодный рост их потребления требует постоянного совершенствования технологий с целью снижения энергозатрат, интенсификации процессов твердения бетона, экономного расходования материалов. Одним из перспективных направлений повышения качества железобетонных конструкций является применение различных модификаторов бетона [1].

В настоящее время наиболее эффективными являются суперпластификаторы. Однако их относительно высокая стоимость ведет к возрастанию стоимости бетона, что не всегда подтверждает экономическую целесообразность применения. Это необходимо особо учитывать в нынешних условиях экономического кризиса, в которых оказалась Республика Беларусь и другие страны СНГ. Кроме того, актуальны дальнейшие исследования, не только с целью улучшения свойств известных добавок, но и продолжения поиска новых, более технологичных, с невысокой стоимостью и конкурентоспособных по производственно-техническим характеристикам в сравнении с применяемыми. В этой связи важным в области использования химических добавок (модификаторов) является разработка и внедрение их в производство на основе *недефицитного и недорогого сырья*, являющегося *отходом* промышленных производств.

В решении поставленной задачи представляет интерес опыт утилизации регенерационных стоков (РС) сахаро-рафинадного производства. Научный анализ исследований [1, 2, 4 - 8] дает основание полагать, что есть возможность получать эффективную группу недорогих, экологически безопасных, и конкурентоспособных, полифункциональных *модификаторов РСУ* (регенерационный сток утилизированный), пригодных к применению как для тяжелых, так и для легких бетонов. При этом, решается важная экологическая задача - ликвидация многих *га* полей фильтрации в зоне сахаро-рафинадных заводов минимальными средствами, что позволит значительно улучшить в районах этих заводов состояние окружающей среды.

Наряду с задачей экологического характера, в строительстве имеет место и другая не менее важная проблема - проблема энергосбережения. Очевидно, что быстрее следует продвигаться к такой системе энергосбережения, когда определяющим фактором является не столько административный контроль, сколько экономическая эффективность. В этой связи перед учеными ставится задача о

необходимости проводить целенаправленную научно-поисковую работу, а перед общественными НГО, обладающими научным потенциалом, - информационно-пропагандистскую работу по их внедрению. В такой постановке эта проблема должна занимать, на наш взгляд, достойное место как в государственных программах экономического развития, так и в программах деятельности общественных экологических НГО. Именно в таком аспекте *Экоцентром ОСиЯ* проводится работа по пропаганде разработанной и внедренной технологической схемы утилизации *РС* на Слущком сахаро-рафинадном заводе, что открывает путь к ее внедрению и на заводах сахаро-рафинадных производств Украины, Польши. Научное обоснование механизма действия добавки *PCY* в конструкционных бетонах и рекомендации по ее применению дают возможность получить бетоны с заданными технологическими и физико-механическими свойствами, при минимальных затратах цемента и энерго-ресурсов. Методике решения этой задачи и посвящена данная работа.

• **1. ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СТОКОВ САХАРО-РАФИНАДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

1.1. Физико-химические свойства регенерационных стоков

Технология производства сахара-рафинада включает следующие основные операции:

- подготовку и обработку сырья;
- приготовление сахарного сиропа и его очистку от органических красящих веществ;
- изготовление конечного продукта - сахара-рафинада путем отделения красящих веществ от сахарного сиропа.

Для нас представляет интерес технологический процесс очистки сахарного сиропа от органических красящих веществ (*ОКВ*). Эти вещества образуются в результате карамелизации, гидролиза сахаров, и взаимодействия продуктов их распада с аминосоединениями. На указанные процессы оказывают влияние кислород воздуха, ферменты, высокая температура, значение *pH*-среды и другие факторы. На основании исследований [3] сделан вывод о том, что *ОКВ* содержит

продукты щелочного распада инвертного сахара и карамелизации, а так же меланоидины.

Продукты щелочного распада принадлежат к классу гуминовых веществ. Растворяются в воде, щелочах и почти не растворимы в эфире, бензоле. В основном эти вещества являются низкомолекулярными соединениями и относятся к классу слабых кислот.

Продукты карамелизации представляют собой смесь веществ различной степени полимеризации и в зависимости от степени обезвоживания сахарозы и степени растворимости в различных растворителях разделены на: *карамелан, карамелен, карамелин.* *Карамелан* - вещество светло-соломенного цвета, растворяется в воде, этиловом и метиловом спиртах, не растворяется в амиловом спирте, эфире и хлороформе. *Карамелен* - имеет ярко-коричневый цвет, растворяется в воде, не растворяется в этиловом и метиловом спиртах. *Карамелин* - темно-коричневого цвета, растворяется только в кипящей воде. При длительном нагревании образуются гуминовые вещества, растворимые в щелочах.

Меланоидины - сильноокрашенные высококонденсированные азотсодержащие вещества, сходные по своей природе с гуминовыми; образуются в результате окислительно-восстановительных процессов взаимодействия аминосоединений с веществами, содержащими свободные гидроксильные группы. Обладают в основном кислотными свойствами и способны образовывать соли, растворимые в воде.

Все перечисленные группы *ОКВ* не проявляют каких-либо характерных свойств, позволяющих отличать их друг от друга, но обнаруживают сходство в ряде физических и химических свойств. Температура их плавления находится в пределах $(140, \dots, 160)^\circ \text{C}$. Имеют молекулярную массу, увеличивающуюся с ростом степени полимеризации молекул. По ν размеру частиц *ОКВ* располагаются в последовательности: карамелан; меланоидины; карамелен; продукты щелочного распада; карамелин. Цветность красящих веществ обусловлена наличием хромоформных групп [3, 4]. Обычно способны образовывать истинные растворы, в которых находятся главным образом в виде молекул или мицелл. В сильнощелочной среде степень диссоциации максимальна.

По данным, приведенным в [3], структурная формула органической части РС может быть представлена в виде $H^+(A_n)_x$, где: H^+ - неактивный катион натрия Na^+ ; A_n^- - поверхностно-активный анион,

включающий гидрофильные группы разной полярности (карбоксильные, гидроксильные, фенольные, карбонильные), перемежающиеся с неполярными гидрофобными углеводородными радикалами; x - от 1 до 20. Так, например, *меланоидины* содержат пять карбоксильных, восемь спиртовых гидроксильных, две фенольные гидроксильные и две карбонильные группы.

Масса делится в отношении 1:10 на две части: с размером частиц от 5 нм до 250 нм и молекулярной массой - 60000, ..., 125000 и более; с размером частиц менее 5 нм и молекулярной массой 5000, ..., 60000.

Извлечение красящих веществ из сахарного сиропа осуществляется путем пропуска его через емкость с ионообменной смолой, которая способна поглощать органические ионы. Сорбция *ОКВ* зависит от величины константы электролитической диссоциации ионных групп. Чем она больше, тем больше эффективность очистки.

Исследования указывают, что с целью повышения сорбции органических ионов наиболее эффективно применение анионитных смол в Cl^- и OH^- форме. При пропуске сахарного сиропа через анионит в результате адсорбции ионы Cl^- и OH^- замещаются на поверхностно-активные анионы *ОКВ*, предельно очищая от них сахарный сироп. При этом, снижается обменная емкость анионита. Для ее восстановления используют (8, ..., 10)% *раствор хлористого натрия* с добавкой (0,2, ..., 2)% раствора едкого натра. В результате органические красящие вещества десорбируются, и в смеси с остатками регенерационного раствора и воды, используемой для промывки анионита, образуют *регенерационный сток* заданной концентрации его составляющих. Последний и представляет практический интерес, с целью превращения его в товарный продукт - модификатор бетона *PCV*.

Для эффективного функционирования технологического процесса смолы должны быть макропористые. Органические ионы, кроме прямого ионного обмена на противоионы, поглощаются ионными смолами в результате адсорбции и комплексообразования. Исследования [5] указывают, что с целью повышения сорбции органических ионов наиболее эффективно применение сильно-основных анионитов.

Концентрация *ОКВ* РС при 20° С изменяется с 5,85% до 24% при плотности раствора 1,03...1,16 г/см³ соответственно.

На сахаро-рафинадных заводах Беларуси (г. Слуцк) и Украины (г. Шевченко) используют анионит *AB-17-2II*. На аналогичных заводах

Республики Польша применяют анионит немецкой фирмы *WOFATIT* (Германия).

Характерно, что получаемый при этом сахар-рафинад представляет собой продукт высокой очистки, пригодный как сырье для получения напитка *кока-кола* заданного срока хранения. В этой связи необходимость доочистки сахара-сырца, и некоторое повышение стоимости сахара-рафинада станут экономически более обоснованными, так как часть затрат будет компенсирована за счет прибыли, получаемой от продажи модификатора бетона, как товарного продукта утилизации РС.

1.2. Основные технологические параметры модификатора РСУ

Химический состав модификатора бетона РСУ, полученного на базе РС Слуцкого сахаро-рафинадного завода, приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование составляющих	Содержание, % на сух. в-ва
Общий азот	0.08
Органические вещества (с учетом потерь при прокаливании)	15.96
Минеральная часть стоков В том числе:	83.97
Натрий	41.24
Хлор	42.57
Калий	0.0114
Кальций	0.128
Магний	0.021
Сульфаты	до 0.20

Предложенный химический состав РСУ представляет собой истинный раствор, содержащий примерно 16% ОКВ (продукты щелочного распада инвертного сахара и карамелизации) и около 84% неорганических (гл. образом - $NaCl$ и $NaOH$ с небольшим содержанием ионов Ca^{++} , Mg^{++} , K^{-}) веществ. Технологически модификатор РСУ получен при пропускании дважды регенерационного раствора (10%

NaCl + 0.2% NaOH) через анионит АВ-17-2П и усреднении до плотности согласно ТУ-18-1-18-85. В табл. 1.2. его технологические параметры представлены в столбце 2 (Состав РСУ-1). Принципиальная схема утилизации РС с целью получения модификатора РСУ-1 видна из рис.1.1. Аналогичная схема может быть успешно применена и для сахаро-рафинадного завода г. Шевченко (Украина).

Технологические свойства модификатора РСУ-1 тщательно исследованы на цементных составах и бетонных смесях как в лабораторных условиях, так и на производственных составах ряда заводов ЖБИ Беларуси и Украины [2].

Таблица 1.2

Наименование параметров	PCY-1	PCY-2	PCY-3
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Значения <i>pH</i>	10.823	9.290	11.520
Поверхн. натяжение σ , н/м	$5.89 \cdot 10^{-7}$	$5.57 \cdot 10^{-7}$	$5.49 \cdot 10^{-7}$
Плотность, г/см ³	1.110	1.045	1.055
ОКВ (потери при прокаливании)*, г/л	30.784	12.680	7.500
Минеральная часть*, г/л	162.216	62.980	81.280
Содержание РС, кг/л	0.193	0.0757	0.0888
Концентрация раствора, %	17.40	7.244	8.417

* Данные по РСУ-2 и РСУ-3 приняты на основе исследований, выполненных в лаборатории мониторинга окружающей среды Белостокского политехнического института.

При отработке схемы утилизации РС завода Krasnystav (Польша) исследовались два варианта его состава, полученные при регенерации высокоосновного анионита WOFATIT [16]:

1. Состав РСУ, полученный при пропускании дважды регенерационного раствора NaCl 8% концентрации (в табл. 1.2. представлен как РСУ-2);

2. Состав РСУ, полученный при пропускании дважды регенерационного раствора NaCl 8% концентрации с добавкой после первой регенерации анионита 0.2% NaOH (в табл. 1.2. - РСУ-3).

Основным показателем концентрации ОКВ в РСУ, является их цветность. С увеличением концентрации показатель *pH* повышается.

Значения показателя pH колеблется в пределах 8,5,...,12,8. Для исследуемых составов PCU его значения близки к 11.

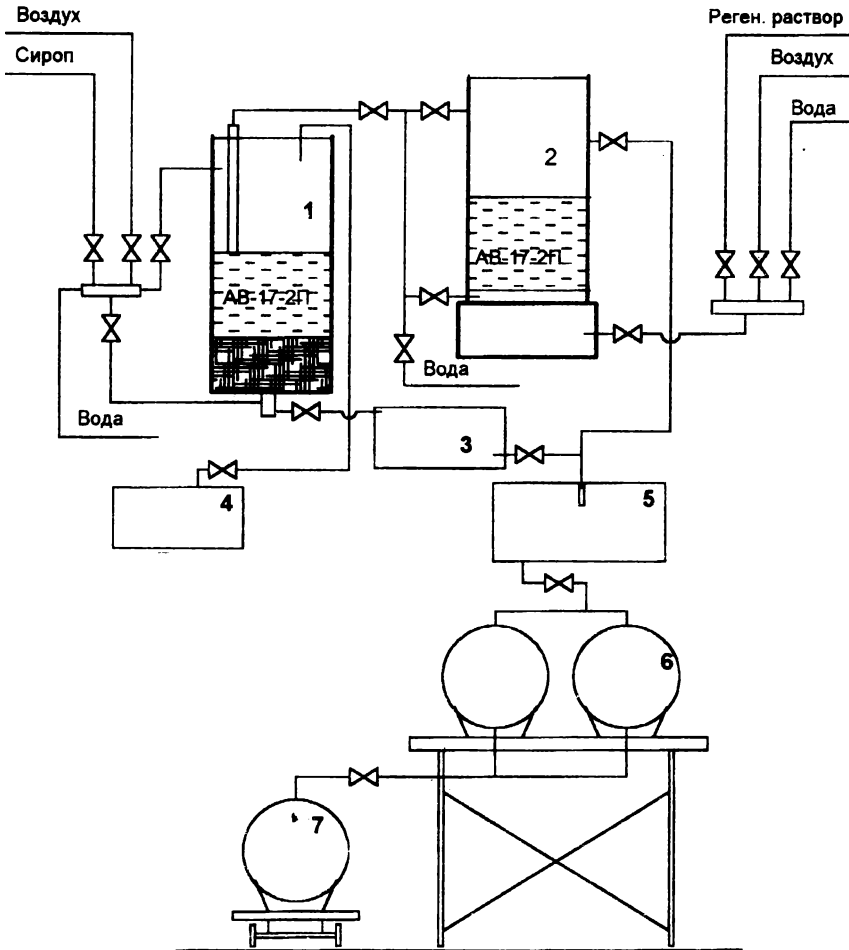


Рис. 1.1. Принципиальная схема получения PCU
 1 - реактор; 2 - регенератор; 3 - сборник густого промая;
 4 - сборник обесцвеченного сиропа; 5 - усреднитель;
 6 - емкости для сбора PCU ; 7 - вагон-цистерна

Установлено, что ОКВ РСУ обладают отчетливо выраженными *поверхностно-активными свойствами*. Эти свойства и позволяют осуществлять их отделение путем адсорбции на поверхности анионитной смолы при обесцвечивании сахарных сиропов. Характерной особенностью поверхностно-активных веществ, обуславливающей в значительной степени механизм их действия в бетонной смеси, является изменение *сил поверхностного натяжения на границе раздела фаз жидкость-газ*. Как видно из табл. 1.3, значения коэффициента поверхностного натяжения раствора с РСУ на 18...20% ниже, чем у воды.

Исходя из технологии получения регенерационных стоков и анализа их химического состава легко предположить, что ОКВ РСУ представляют собой главным образом *карбоксилсодержащие* и *гидроксилсодержащие* ПАВ. Механизм их действия зависит от количества гидроксильных групп и расположения их в составе молекул. Минеральная часть РСУ состоит из хлористого натрия, поскольку ионы натрия из регенерационного раствора практически полностью переходят в регенерационные стоки. Кроме того, имеет место *небольшое содержание ионов K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-}* , менее 0.1%, связанное с химическим составом воды.

Свойство ОКВ РСУ оказывать на бетонную смесь пластифицирующее действие связано со снижением сил поверхностного натяжения [6]. Поверхностное натяжение жидкости является следствием существования в ней внутреннего давления. Любая молекула жидкости находится под действием сил притяжения, направленных внутрь ее объема. Величину внутреннего давления, направленного перпендикулярно поверхностному слою жидкости, можно оценить уравнением Ван-дер-Ваальса. Для воды оно равно 1500 МПа и тем выше, чем плотнее жидкость. Внутреннее давление обуславливает минимальную величину поверхности жидкости в данных условиях. Обратимая изотермическая работа, затрачиваемая на преодоление сил, обуславливающих внутреннее давление на образование 1 см² поверхности жидкости, оценивается коэффициентом поверхностного натяжения. Концентрация поверхностно-активных веществ, растворенных в жидкости в ее поверхностном слое, выше, чем внутри объема. Путем адсорбции происходит изменение концентрации вещества. С ростом концентрации ОКВ поверхностное натяжение РС понижается.

Для определения коэффициента поверхностного натяжения применялась методика [8], основанная на использовании сталогмометра. Исследования проводились с шестикратной повторяемостью для каждого значения исследуемой плотности РСУ. Обработанные средние значения коэффициента поверхностного натяжения приведены в табл. 1.3. Для сравнения здесь же приведены результаты испытаний добавки ЛСТ (лигносульфонаты технические).

Таблица 1.3

Название добавки	Плотность, г/см ³	Коефф. поверхн. натяжения σ , н/м
вода	0.9982	$7.20 \cdot 10^{-7}$
PCY-1 (г. Слуцк, РБ)	1.11	$5.89 \cdot 10^{-7}$
PCY-1 (г. Щевченко, РУ)	1.14	$5.80 \cdot 10^{-7}$
PCY-2 (г. Красныстав, РП)	1.045	$5.57 \cdot 10^{-7}$
PCY-3 (г. Красныстав, РП)	1.055	$5.49 \cdot 10^{-7}$
ЛСТ	1.11	$5.75 \cdot 10^{-7}$
ЛСТ	1.14	$5.62 \cdot 10^{-7}$

Из таблицы видно, что как PCY-1, так и PCY-2, PCY-3 по коэффициенту поверхностного натяжения очень близки к известной пластифицирующей добавке ЛСТ.

Анализируя вышесказанное, можно сделать важный вывод: регулируя в РС концентрацию ОКВ и минеральной части можно получить модификатор бетонной смеси РСУ требуемых свойств. Это подтверждено и исследованиями, изложенными в [7].

2. ДОБАВКА РСУ КАК КОМПЛЕКСНЫЙ МОДИФИКАТОР БЕТОНА

2.1. Место РСУ в классификации модификаторов бетона

PCY - эффективный дешевый комплексный модификатор бетона, состоящий из органических красящих веществ (ОКВ) и электролита [9,10,15,17]. На основании вышеприведенных исследований сделан вывод о том, что ОКВ РСУ представляют собой карбоксилсодержащие

и гидроксилсодержащие ПАВ, которые, согласно [1], могут рассматриваться в процессах снижения прочности цементных систем как регуляторы сроков схватывания цемента, диспергаторы, стабилизаторы.

Диспергирующее действие ОКВ может быть оценено снижением поверхностного натяжения $\Delta\sigma$ по отношению к воде. В процессе регенерации в результате адсорбции ОКВ происходит изменение их концентрации в растворе РСУ. С ростом концентрации поверхностное натяжение σ понижается. При некоторой концентрации ОКВ достигается предел истинной растворимости C_p , при котором поверхностное натяжение РСУ больше не снижается. Максимальный удельный эффект, равный $\Delta\sigma/C_p$, может рассматриваться как критерий диспергирующего действия РСУ [6].

Для управления стабилизирующим действием ОКВ может быть установлена степень устойчивости дисперсной системы, которая должна быть функционально увязана с коэффициентом устойчивости $k_{уст}$, максимальной стабилизированной поверхностью ОКВ S_{max} и предельной концентрацией C_e , при которой стабилизация сохраняется. Коэффициент устойчивости $k_{уст}$ может быть рассчитан по кинетическим уравнениям.

Таким образом, поскольку ОКВ, входящие РСУ, представляют собой полярные карбоксилсодержащие ПАВ, то по классификации [14] модификаторы РСУ могут быть отнесены в группу структурообразователей. По механизму взаимодействия ОКВ с цементами или продуктами их гидратации, ОКВ можно рассматривать как гидрофильно-гидрофобные ПАВ. В технологии бетона такие ПАВ играют очень важную роль. Основное их достоинство - пластифицирующее действие, позволяющее снизить водопотребность, а так же замедление сроков схватывания на ранней стадии твердения бетона.

Гидрофилизирующая часть РСУ способствует уменьшению толщины контактной зоны, что способствует усилению сорбционно-химического взаимодействия между цементирующим составом и поверхностью пористого заполнителя.

Небольшие гидрофобизирующие свойства РСУ положительно скажутся на гидрофобизации порового пространства керамзитобетона и образования в нем условно-замкнутых демпфирующих газовых полостей, а минеральная часть в виде электролита способствует

уменьшению микропористости бетона. В результате может быть получен бетон повышенной морозостойкостью. Последний эффект очень ценен в технологии монолитного домостроения, так как повышает долговечность керамзитобетона.

Наличие в РСУ минеральной составляющей регенерационного раствора (10% NaCl + 0,2% NaOH) позволяет управлять процессом ускорения твердения бетона. Кроме того, в результате гидролиза содержащихся в РСУ NaCl и NaOH повышается pH жидкой фазы, что увеличивает защитные свойства бетона от коррозии.

Регулируя концентрацию ОКВ и соотношение ОКВ с минеральной частью РСУ можно получить требуемый эффект влияния на цементную структуру бетонной смеси. Увязав функционально параметры всех составляющих модификатора РСУ можно получить управляемую модель механизма его действия.

Установлено, что действие каждой из составляющих в бетоне - аддитивно. С учетом этого подбор составляющих РСУ выполнен так, что вначале удалось максимально использовать пластифицирующий эффект ПАВ, а затем - ускорение сроков твердения бетона, вызванное наличием в РСУ электролита. Правильно подобранное соотношение составляющих РСУ позволило корректировать темп твердения бетона в нужном режиме.

Установлено, что добавка РСУ в бетон улучшает его структурно-механические свойства, способствует снятию внутренних напряжений, в том числе и термических, повышает его прочностные характеристики и долговечность.

Таким образом, можно сделать заключение, что предложенный модификатор РСУ представляет собой удачное сочетание двух веществ: органических ПАВ и хлористого натрия, которые оказывают на бетон комплексное воздействие. Концентрации составляющих в РСУ близки к оптимальным для комплексных модификаторов этой группы.

Модификатор РСУ не токсичен, не ядовит, не пожаро- и не взрывоопасен. Температура кипения 103°С, температура замерзания - 7°С. Срок хранения - не менее 2 года. Технологичен. В осадок не выпадает. Поставляется в виде истинного раствора Слуцким сахаро-рафинадным заводом по ТУ-18-1-18-85 [17].

2.2. Цементные композиции с добавкой РСУ

Оценка действия добавки РСУ на цементные композиции многократно проверена экспериментально. Ниже приведены результаты экспериментально-теоретических исследований, касающиеся главным образом цементного камня, модифицированного добавкой РСУ-1, полученной на Слуцком сахаро-рафинадном заводе (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Наименование добавки	ГОСТ и ТУ
РСУ-1 (регенерационный сток утилизированный)	ТУ 18-1-18-85
ЛСТ (лигносульфанаты технические)	ОСТ 13-183-83

Опыты проводились на цементах, минералогический состав которых представлен в табл. 2.2.

Изменение водопотребности цемента при введении добавок определялось по показателю нормальной густоты цементного теста. Количество добавки РСУ назначалось в процентном соотношении 0.15, ..., 0.7% от массы цемента.

Приведем некоторые данные исследований, касающихся реологических свойств цементных композиций с добавкой РСУ: изменение водопотребности, пластической прочности и сроков схватывания цементного теста нормальной густоты. Для сравнения приводим результаты испытаний на аналогичных цементных композициях с добавкой ЛСТ (лигносульфанаты технические) в количестве - 0.1, ..., 1.0% от массы цемента).

Доказано, что обе добавки достаточно сильно пластифицируют цементное тесто при малых концентрациях. Пластифицирующий эффект добавок РСУ и ЛСТ проявляется при увеличении их концентрации с 0.25% до 0.7% и в дальнейшем практически не меняется.

Оптимальное количество РСУ следует считать - 0.25, ..., 0.5% от массы цемента.

Оптимальное количество ЛСТ - 0.1, ..., 0.3%. При этом наблюдается некоторое снижение физико-механических характеристик за счет замедления сроков схватывания и повышения воздухоовлечения.

Предельное снижение значений нормальной густоты цементного теста с рассматриваемыми добавками практически равно и составляет

8,....,12% от первоначального. Характер зависимости изменения значений нормальной густоты цементных композиций с учетом их дозировок для исследуемых цементов практически однотипен.

Таблица 2.2

Параметры цемента	<i>ПЦ 500-Д20</i> Волковыского з-да	<i>ПЦ 500-Д20</i> Здолбуновского з-да	<i>ШПЦ 400</i> Николаевского з-да
Химический состав, %:			
<i>SiO₂</i>	21.50	22.66	22.33
<i>Fe₂O₃</i>	4.50	4.08	3.30
<i>Al₂O₃</i>	4.50	5.35	5.31
<i>CaO</i>	65.00	66.36	59.34
<i>MgO</i>	1.17	0.26	2.11
<i>SO₃</i>	0.21	0.40	2.85
<i>R₂O</i>	1.11	0.54	0.60
Потери при прокаливан.	0.89	0.88	0.91
Минералог. состав, %:			
<i>C₃S</i>	55.00	56.00	59.58
<i>C₂S</i>	18.00	22.89	16.64
<i>C₃A</i>	4.50	7.28	6.97
<i>C₄AF</i>	14.00	12.4	13.16

Сроки схватывания определялись в соответствии с методикой ГОСТ 310.3-76. Влияние указанных добавок на изменение сроков схватывания цементного теста нормальной густоты приведено в табл. 2.3.

Для выяснения продолжительности пластифицирующего действия *PCU*, а так же скорости формирования структуры цементного камня в начальной стадии определяли изменение пластической прочности цементного теста нормальной густоты. Исследования проводили на Волковыском портландцементе *ПЦ 500-Д20*. Концентрации добавок принимались по результатам предыдущих опытов: *PCU* - 0.25%; *ЛСТ* - 0.3% от массы цемента. Пластическая прочность замерялась через каждые 20,....,30 мин. с момента затворения. Результаты определения пластической прочности показали, что у цементных композиций с исследуемыми добавками *PCU* и *ЛСТ* изменение ее в начальный

период незначительно. Введение *PCU* приводит к нарастанию пластической прочности через 3,5, ..., 4,5 час., в то время как с *ЛСТ* она остается ниже, чем у контрольного образца без добавки.

Таблица 2.3

Вид добавки	К-во добавки	Начало схватывания	Конец схватывания
нет	0.00	3.45/4.10	5.10/5.20
<i>PCU</i>	0.15	3.45/4.10	5.10/5.20
	0.25	3.55/4.15	5.20/5.35
	0.5	4.00/4.15	5.25/5.35
	0.7	4.10/4.20	5.30/5.40
<i>ЛСТ</i>	0.1	4.20/4.40	5.45/5.50
	0.2	4.50/4.50	6.10/6.15
	0.3	5.15/5.20	6.20/6.20
	0.5	5.25/5.30	6.40/6.55
	1	5.40/5.50	7.15/7.20

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе приведены значения сроков схватывания цементного теста нормальной густоты Волковьского портландцемента (Беларусь) ПЦ 500-Д20, в знаменателе - Николаевского шлакопортландцемента (Украина) ШПЦ 400.

Влияние модификатора *PCU* на прочность цементного камня при сжатии изучалось на образцах-кубах с ребром 7 см, изготовленных на Волковьском портландцементе ПЦ 500-Д20. Для сравнения, параллельно были проведены эксперименты с *ЛСТ*.

Уплотнение цементного теста осуществлялось на виброплощадке в течение 30 с. Исследования проводились при водоцементных отношениях $W/C=0.4$ и $W/C=0.5$ в двух вариантах: в первом - при заданном W/C ; во втором - в зависимости от водопотребности цемента с учетом пластифицирующего действия добавок. Количество образцов испытывалось с тройной повторяемостью. Условия их хранения соответствовали нормально-влажностным. Основные результаты экспериментов приведены в табл. 2.4, из которой видно, что наибольший прирост прочности цементного камня с добавкой *PCU* достигается при ее количестве 0.25, ..., 0.5% от массы цемента. При этом значение W/C за счет пластифицирующего действия добавки *PCU* снижалось с 0.5 до 0.44, а прочность в 28-дневном возрасте увеличилась до 30%, что превышает прирост прочности с оптимальным количеством *ЛСТ*.

Таблица 2.4

Добавка		Прочность цементного камня, МПа в возрасте, сут.			
Тип	к-во, % мас- сы цемента	W/C	7	28	90
нет	0.0	0.4	26.3	42.5	43.5
		0.5	18.4	28.6	32.2
PCU	0.15	0.4	26.3/28.1	43.2/43.7	44.6/45.1
		0.5	19.6/19.9	30.1/30.8	32.4/33.1
	0.25	0.4	30.6/33.4	46.2/48.4	49.4/51.3
		0.5	20.8/22.6	30.8/32.7	32.9/35.2
	0.35	0.4	30.1/33.1	46.0/48.2	49.2/51.5
		0.5	20.5/21.7	30.7/31.6	32.6/34.6
	0.5	0.4	39.6/32.8	46.1/47.6	48.3/50.2
		0.5	20.4/21.8	30.5/30.6	32.4/33.7
	0.7	0.4	30.8/32.1	45.2/47.3	48.1/49.8
		0.5	20.8/21.5	30.2/30.8	31.7/33.5
ЛСТ	0.1	0.4	25.1/26.3	40.3/42.8	42.2/44.9
		0.5	18.1/18.9	29.2/29.5	32.3/32.9
	0.2	0.4	24.9/30.9	38.2/45.8	41.9/47.6
		0.5	17.2/21.9	27.8/32.4	31.4/33.1
	0.3	0.4	23.6/30.6	37.5/44.1	40.6/46.2
		0.5	16.9/20.8	27.3/31.5	30.6/33.4

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе приведены значения прочности цементного камня при W/C равном 0.4 или 0.5; в знаменателе - со сниженными значениями W/C за счет пластифицирующего действия добавки.

Стабилизация прироста прочности цементного камня с добавкой PCU достигается при 0.25, ..., 0.5% от массы цемента, и зависит от расхода цемента: больший прирост прочности наблюдается в цементном камне, характеризующимся более высоким расходом цемента и более низким W/C. Основной причиной увеличения прочности цементного камня с добавкой PCU, является более высокая, в сравнении с контрольным составом, плотность цементного теста под действием добавки в стадии его коагуляционного структурообразования. При этом, возможность химического взаимодействия PCU с образованием труднорастворимых двойных солей, изменяющих кинетику выкристаллизовывания новых фаз из растворов, способствует значительному сокращению продолжительности коагуляционной структуры цементного теста.

Наличие в модификаторе *PCU* электролита в виде минеральной составляющей *NaCl* приводит к интенсификации образования высокодисперстных кристаллогидратов, способных химически адсорбционно связать большее количество жидкой фазы, что приводит к развитию контактов и упрочнению структуры. *NaCl* способствует так же увеличению прочности цементного камня в ранние и последующие сроки твердения за счет уплотнения его структуры в результате физических явлений: дефлокуляции частиц цемента в суспензии, более полного их оводнения и удаления газовой фазы из цементных паст при уплотнении.

Действие на кинетику твердения цемента неорганической составляющей *PCU* связано с обменными химическими реакциями, протекающими с алюминий содержащими фазами цементного камня в присутствии гидроокиси кальция, выделяющегося при гидратации алита [9]. Прочность цементного камня в раннем возрасте в значительной мере определяется уплотнением его структуры в результате физических процессов. В сочетании с *OKB*, *PCU* обеспечивает максимальный положительный физический и химический эффект за счет их суммирования.

Из химического состава и физико-химических свойств *PCU* видно, что в данном случае сочетание неорганических составляющих и органических *ПАВ* в виде *OKB* является близким к оптимальному, при этом возможно их применение как индивидуальных добавок в бетон, но особенно перспективно совместное их воздействие [2, 9, 10].

2.3. Бетон и раствор, модифицированный добавкой *PCU*

Для изучения влияния добавки *PCU* на технологические свойства бетонной смеси, скорость нарастания прочности и физико-механические характеристики бетона проведены широкомасштабные исследования тяжелых бетонов, модифицированных составом *PCU-1*.

Исследования проводились на составах бетонных смесей, приведенных в табл. 2.6. При подборе их составов расход цемента варьировался в пределах 270,...,500 кг/м³. Характеристики цементов, широко применяемых в Беларуси и в Украине, приведены в табл. 2.2.

В качестве мелкого заполнителя применяли песок природный г. Бреста; крупный заполнитель - гранитный щебень фракций 5,...,20 и 20,...,40 мм Микашевичского карьера нерудных материалов (табл. 2.5).

Вода для затворения бетонных смесей, соответствующая требованиям ГОСТ 23732-79, использовалась из водозабора р. Муховец.

Таблица 2.5

Материал	Наименование показателей	Кол-во
Песок природный	Модуль крупности	1.36
	Истинная плотность, г/см ³	2.50
	Насыпная плотность, г/см ³	1.37
	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	3.0
	Органические примеси в пределах нормы	
Щебень гранитный	Истинная плотность, г/см ³	2.50
	Насыпная плотность, г/см ³	1.46
	Пустотность	42.0
	Содержание глинистых, илистых и пылевидных примесей, %	1.0
	Содержание игловатых и пластинчатых фракций, %	25.0

Таблица 2.6

№ № состава	Вид цемента (Ц)	Цемент, кг/м ³	Состав бетона, Ц:П:Щ	К-во РСУ-т,		Показат W/C
				% от Ц	литр	
1.	Волковский ПЦ 500-Д20	270	1:2.72:4.37	0.25	3.43	0.72
				0.50	6.86	0.72
2.	ПЦ 500-Д20 Здолбуновский	318	1:2.22:3.68	0.25	4.12	0.64
				0.50	8.24	0.64
3.	ШПЦ 400 Николаевский	338	1:2.03:3.40	0.25	4.38	0.59
				0.50	8.76	0.59
4.	ПЦ 500-Д20 Здолбуновский	478	1:1.08:2.45	0.25	6.79	0.41
				0.50	13.58	0.41

Влияние РСУ на прочность бетона, твердеющего в естественных условиях при равной подвижности бетонной смеси, представлено в табл. 2.7; при одинаковом значении W/C - в табл. 2.8.

Таблица 2.7

Состав бетона Ц:П:Щ, О.К., расход цемента, кг/м ³	Кол-во PCY, % массы цемента	w/c	Прочность при сжатии в возрасте (сут.), МПа						
			1	3	7	14	28	180	360
1. 1:2.72:4.37 О.К.=10; Ц=270	0	0.72	4.1	10.6	15.1	17.2	20.5	23.7	29.2
	0.1	0.71	4.2	10.5	15.4	17.6	20.8	23.9	29.7
	0.15	0.69	4.6	11.6	16.7	18.7	21.8	25.9	31.6
	0.25	0.69	5.5	12.7	18.3	20.4	23.9	26.8	32.9
	0.35	0.65	5.5	12.4	18.1	20.2	22.6	25.3	32.6
	0.5	0.65	5.1	12.1	17.9	20.1	22.7	25.6	31.5
	0.7	0.66	5.1	12.0	17.3	20.1	21.6	24.1	31.5
3. 1:2.03:3.4 О.К.=12; Ц=338	0	0.59	4.7	11.8	16.3	18.2	20.1	23.4	30.5
	0.1	0.58	4.9	11.9	16.3	19.4	20.5	24.1	31.3
	0.15	0.57	5.3	12.5	17.4	20.3	21.4	24.7	32.5
	0.25	0.54	6.5	13.7	20.4	21.8	24.3	28.9	35.1
	0.35	0.54	6.2	13.3	20.4	21.5	24.5	27.6	34.6
	0.5	0.54	6.1	13.3	20.1	21.4	23.7	27.1	33.5
	0.7	0.55	5.9	12.8	18.9	21.2	23.7	27.1	33.5
4. 1:1.08:2.45 О.К.=7; Ц=478	0	0.41	6.9	20.9	26.9	31.6	34.3	38.5	41.6
	0.1	0.41	7.1	22.5	27.3	32.3	35.6	39.3	41.9
	0.15	0.39	7.9	22.5	29.8	33.5	36.1	40.5	41.9
	0.25	0.37	8.8	27.8	34.7	37.8	40.9	45.3	49.1
	0.35	0.37	8.8	28.2	33.5	36.9	40.8	45.5	49.5
	0.5	0.37	8.5	27.1	33.8	36.8	40.3	44.6	46.6
	0.7	0.38	8.1	26.9	33.2	35.7	39.8	44.2	46.6

Для выявления пластифицирующего эффекта водоцементное отношение W/C принималось в интервале 0,41,...,0.72. Область варьирования добавки PCY принималась с учетом результатов исследований цементных композиций - в пределах 0,1,...,0.7% от массы цемента независимо от W/C бетонных смесей. Добавка PCY вводилась с водой затворения. Отдозированные материалы тщательно перемешивались. Подвижность и жесткость смесей определялась в соответствии с ГОСТ 10181.1-81 и составляла 1,...,12 см., и 5,...,10 сек соответственно.

Полученные данные подтверждают, что оптимальное количество PCY в бетон - 0,25,...,0,5%. Нарастание прочности бетона в естественных условиях с оптимальным количеством добавки PCY в 1,2,...,1,35 раза происходит быстрее, чем аналогичный бетон без

добавки. Прочность бетона с оптимальным содержанием добавки РСУ в нормальных условиях твердения при постоянной подвижности в 28-суточном возрасте увеличивается до 35%.

Таблица 2.8

Состав бетона Ц:П:Щ, W/C, расход цемента кг/м ³	Кол-во PCУ,% массы цемента	О.К., см	Прочность при сжатии в возрасте (сут.), МПа						
			1	3	7	14	28	180	360
1. 1:2.72:4.37 W/C=0.72; Ц=270	0	10	4.1	10.6	15.1	17.2	20.5	23.7	29.2
	0.1	10	4.1	10.8	15.3	17.4	20.8	23.7	29.4
	0.15	12	4.3	11.3	15.7	17.9	21.6	24.4	30.6
	0.25	16.5	4.9	12.6	16.4	13.7	22.6	25.7	31.7
	0.35	16.5	4.8	12.6	16.2	18.8	22.4	25.3	31.8
	0.5	16.5	4.6	12.7	15.9	18.7	21.1	24.2	31.7
	0.7	16.5	4.6	12.5	16.1	18.7	20.8	24.1	31.2
3. 1:2.03:3.4 W/C=0.59; Ц=338	0	16	4.7	11.8	16.3	18.2	20.1	23.9	30.5
	0.1	12	5.0	12.1	16.5	18.4	20.4	24.1	30.5
	0.15	12	5.2	12.4	16.9	19.3	20.7	24.2	31.7
	0.25	14	5.5	13.2	18.1	20.3	22.5	25.6	31.2
	0.35	18.5	5.3	13.2	18.1	20.1	22.1	25.6	30.5
	0.5	13.5	5.2	12.9	17.3	19.9	21.9	24.9	30.5
	0.7	18.5	5.1	12.7	17.2	19.5	20.7	24.7	30.6
4. 1:1.08:2.45 W/C=0.41; Ц=478	0	7	6.9	20.9	26.9	31.6	34.3	38.5	41.6
	0.1	7	7.1	21.5	27.1	31.9	35.1	38.4	41.2
	0.15	8	6.4	22.1	23.7	32.4	35.3	38.9	41.9
	0.25	11.5	8.1	23.4	31.5	34.9	37.1	42.7	45.7
	0.35	11.5	7.9	23.2	30.7	33.8	36.8	42.5	45.4
	0.5	11.5	7.9	23.5	30.1	33.5	35.9	40.7	44.8
	0.7	11.0	7.6	23.5	29.9	33.1	35.7	41.2	43.2

С увеличением количества цемента и класса бетона эффективность добавки растет. Минералогический состав цемента на прочность существенного влияния не оказывает. Увеличение прочности модифицированного бетона во времени удовлетворяет известным закономерностям.

Испытания подтверждают, что на практике прочность бетона с добавкой РСУ, благодаря комплексному воздействию ее составляющих, можно существенно увеличить за счет снижения W/C. При этом подвижность бетонной смеси может быть сохранена благодаря

пластифицирующему действию добавки. Это хорошо просматривается при анализе результатов испытаний, приведенных в табл. 2.8.

Таблица 2.9

№ состава бетона	W/C	PCY-1, % массы цемента	О.К. см	Прочность при сжатии в возрасте, МПа			
				2 часа	28 сут.	180 сут.	360 сут.
1. 1:2.72:4.37 Ц=270	0.72	0	10	13.9/12.3	20.2/20.1	23.0/22.6	28.7/28.4
	0.72	0.1	10	13.9/12.7	20.6/20.5	23.4/23.2	29.3/28.7
	0.72	0.15	12	14.2/13.1	21.1/20.8	23.5/23.7	29.6/29.2
	0.72	0.25	16.5	15.3/14.7	22.9/21.9	24.5/24.9	30.8/31.3
	0.72	0.35	16.5	15.1/14.3	22.0/21.7	24.4/25.1	30.6/30.8
	0.72	0.5	16.5	14.8/13.6	21.1/20.9	24.1/24.3	30.1/30.7
	0.72	0.7	16.5	14.5/13.5	20.4/20.3	23.8/24.1	30.0/30.2
	0.72	0	10	13.9/12.3	20.2/20.1	23.0/22.6	28.7/28.4
	0.71	0.1	10	14.1/12.7	20.5/20.2	24.6/23.1	29.3/28.7
	0.69	0.15	10	14.9/13.4	22.7/20.9	25.4/24.7	31.4/29.1
	0.69	0.25	10	16.2/15.3	24.4/23.6	26.7/26.7	32.5/32.4
	0.65	0.35	10	15.9/15.1	24.1/23.5	26.7/25.3	32.2/31.8
	0.65	0.5	10	15.6/14.8	23.0/22.1	25.5/24.2	32.2/31.5
	0.66	0.7	10	15.8/14.7	23.9/23.1	25.3/25.4	31.1/31.3
4. 1:1.08:2.45 Ц=478	0.41	0	7	30.7/27.5	33.1/31.4	37.2/34.7	40.5/39.2
	0.41	0.1	7	31.5/28.1	33.6/33.9	37.7/35.2	40.8/39.8
	0.41	0.15	8	32.9/28.6	34.2/34.5	38.3/36.7	41.1/40.7
	0.41	0.25	11.5	33.7/31.9	36.4/36.5	42.2/42.8	43.5/43.7
	0.41	0.35	11.5	33.1/31.2	36.2/36.5	42.2/42.4	43.3/43.6
	0.41	0.5	11.5	33.0/30.9	35.4/35.6	40.5/39.8	43.1/43.1
	0.41	0.7	11.0	33.0/30.4	35.1/35.3	40.1/39.1	43.0/42.9
	0.41	0	7	30.7/27.5	33.1/31.4	37.2/34.7	40.5/39.2
	0.40	0.1	7	31.5/28.8	34.6/33.5	38.6/37.4	41.1/40.4
	0.39	0.15	7	33.1/30.6	36.9/35.8	40.6/41.6	41.8/43.1
	0.37	0.25	7	37.5/36.9	41.4/42.3	44.7/45.9	48.2/48.3
	0.37	0.35	7	37.1/36.7	40.8/40.5	44.5/45.7	48.8/49.3
	0.37	0.5	7	36.9/36.7	40.1/41.9	43.5/43.3	46.4/45.1
	0.38	0.7	7	35.3/36.2	39.7/40.7	42.8/42.1	45.4/45.0

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе показана прочность бетона, прогретого при $t_{из.}=80^{\circ}\text{C}$, в знаменателе - при $t_{из.}=60^{\circ}\text{C}$.

Влияние ТВО на прочность бетона с добавкой PCY на основании производственного опыта, исследовалось по двум режимам

пропаривания: 2+3+9+3 часов при $t_{из}=80^{\circ}\text{C}$; 2+3+9+2 часов при $t_{из}=60^{\circ}\text{C}$. Параллельно исследовался процесс набора прочности модифицированного бетона при твердении в нормальных условиях. Опыты проводились на составах бетонных смесей, указанных в табл. 2.6. С каждым составом и количеством добавки формировалось по 24 образца-куба с целью их пропаривания по двум вышеперечисленным режимам, и испытания с тройным повторением через 2 часа после ТВО, а также в возрасте 28, 180, 360 суток. Результаты некоторых испытаний бетонов после ТВО представлены в табл. 2.9.

Исследования показали, что добавка РСУ позволяет снизить температуру изотермического прогрева. В то же время для контрольных образцов без добавки прочность бетона при $t_{из}=60^{\circ}\text{C}$ не удовлетворяет нормативным значениям отпускной прочности для проектного класса бетона.

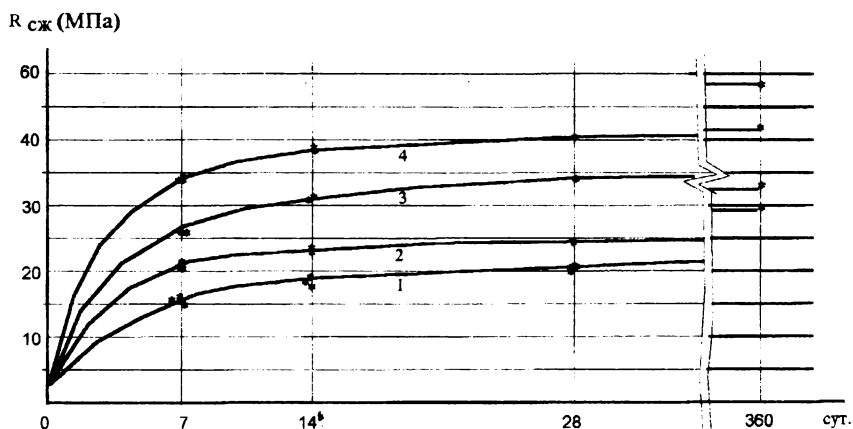


Рис. 2.1. Нарастание прочности бетона естественного твердения во времени при постоянных значениях осадки конуса

1; 2 - О.К. = 12 см; расход цемента - 338 кг/см³ ;

3, 4. О.К. = 7 см; расход цемента - 478 кг/см³;

1, 3. - без добавки; 2, 4. - 0.25% добавки РСУ-I от массы цемента.

Графики нарастания прочности бетона с оптимальным количеством добавки РСУ-I в зависимости от времени твердения

приведены на рис. 2.1. Увеличение прочности бетона во времени с оптимальным количеством добавки *PCY* удовлетворяет известным закономерностям кинетики нарастания прочности бетона с комплексными добавками, состоящими из электролитов и гидрофилизирующих *ПАВ*. Такая закономерность характерна для бетонов, твердеющих как в нормальных условиях, так и подвергаемых ТВО при температуре изотермического прогрева 80°C и 60°C .

Для оценки механизма действия добавок *PCY-2* и *PCY-3* и разработки плана широкомасштабных исследований бетонов с их применением было решено отработать методику исследований на цементном растворе с модификацией его добавкой *PCY-2*.

Цементные образцы готовились на польском портландцементе марки *Срр 35 D20р* Хелмского цементного завода (табл. 2.5), песок кварцевый фракции до 2 мм, вода питьевая согласно ГОСТ.

Образцы готовились по расчету на 1 м^3 :

- | | |
|-------------------|----------------------------|
| - цемент | - 450.0 кг/м^3 ; |
| - песок кварцевый | - 1350.0 кг/м^3 ; |
| - вода | - 225.0 кг/м^3 . |

В табл. 2.6 приведены параметры польского цемента *Ср 35 D20р*, подтверждающие его соответствие согласно ГОСТ 10178-85 марке *ПЦ 400-Д20*.

Область варьирования количества *PCY-2* выделена на основе опыта исследований, изложенного в [2], и учетом данных табл. 2.10, была принята равной 0.25% и 0.5% сухого вещества от массы цемента.

Для испытаний готовилась серия цементных образцов, объединенных в три группы. В условиях естественного твердения образцы испытывались через 3, 14 и 28 суток по 6 образцов в каждой группе. Результаты испытаний принимались в каждой группе как среднее статистическое:

- первая группа готовилась без добавки как контрольные образцы;

- вторая группа - с добавкой *PCY-2* в количестве 0.25% и 0.40% массы цемента, $W/C=0.5$ ($\text{вода}+PC-2=225\text{ кг/м}^3$), с целью выявления пластифицирующих свойств;

- третья группа - с добавкой *PCY-2* в количестве 0.25% и 0.5% массы цемента, но с уменьшением количества воды до постоянной консистенции бетонной смеси, с целью выявления приращения прочности.

Таблица 2.10

Цемент Ср 35 D20р	Испытания з-да CHELM	Польская норма	Испытания по ГОСТ 310-85	Нормы ГОСТ 10178-85
Начало схватывания, мин.	130	>60	240	>45
Конец схватывания, мин.	240	<600	310	<600
Вода для размешивания (нормальная густота), %	27,0		27	
Проба Ле-Шателье, мм	0,0	<8	---	
Удельная поверхность, м ² /кг	312	>220	356	>280
Прочность на сжатие, МПа: - после 2 дней - после 3 дней - после 7 дней - после 28 дней	16,8 25,6 37,0	>15 >35 <55	25,0 43,8	--- >39
SiO ₂ (%)	25,26		23,88	
Fe ₂ O ₃ (%)	3,11		2,61	
Al ₂ O ₃ (%)	8,29		7,43	
CaO (%)	55,44		56,00	
MgO (%)	0,65	<5	3,06	<5
SO ₃ (%)	2,97	<3,5	2,85	>1,0 <3,5
Na ₂ O (%)	0,36			
K ₂ O (%)	0,78			
Na ₂ O _{не} (%)	0,87			
Нерастворимые части (%)	12,95		12,09	
Потери обжига (%)	2,31		3,21	
Состав Цементы (%): - клинкер - гипс - минеральные добавки(пыль)	75 5 20	<5 <20		
Минералы (%): - C ₃ S - C ₂ S - C ₃ A - C ₄ AF				
Заключение: Цемент соответствует марке ПЦ 400-Д20 ГОСТ 10178-85				

Первая и вторая группы образцов изготавливались при постоянном водоцементном отношении $W/C=0,50$; в третьей группе W/C снижалось до достижения смеси консистенции, близкой к контрольному образцу. При проверке консистенции использовался при-

меняемый в Польше прибор PN-85/B-04500. Полученные данные подтверждают достаточно высокий пластифицирующий эффект *PCY-2*.

Установлено, что применять количество добавки *PCY-2* свыше 0.55% от массы цемента практически не целесообразно, оптимальное ее количество - 0.25, ..., 0.55% сухого вещества от массы цемента.

Исследовалось так же влияние состава *PCY-2* на сохранение подвижности раствора во времени. Исследования оценивались по результатам расплыва конуса раствора 1:3 на встряхивающем столике. Смесь изготавливалась на кварцевом песке с постоянным $W/C=0.4$ и количеством добавки 0.5 от массы цемента. Для оценки эффекта изготавливалась и контрольная смесь без добавки. Установлено, что растворная смесь по времени пригодности практически не отличалась от контрольной. Это объясняется наличием в *PCY* ускорителя твердения *NaCl*, снимающего эффект стабилизации органических *ПАВ*.

Установлено, что в комплексном действии *PCY-2* на свойства бетонной смеси главным эффектом следует считать пластифицирующее действия ОКВ. Их наличие обуславливает поверхностно-активные свойства *PCY-2* и гидрофилирующий характер. Пластификация смеси вызывается адсорбированием молекул ОКВ *PCY-2* частицами цемента с образованием моно-, а в последующем и полимолекулярной пленки. Адсорбция происходит так же и на гидратных новообразованиях, что и увеличивает пластифицирующие свойства раствора. Стабилизация пластифицирующего эффекта при увеличении расхода *PCY-2* более 0.5% от массы цемента вызывается насыщением молекулами ОКВ как исходной фазы - цементных зерен, так и гидратных новообразований.

Результаты испытаний цементных образцов, полученных с добавкой *PCY-2* приведены в табл. 2.11. Установлено, что добавка *PCY-2*, значительно пластифицируя растворную смесь, прочность цементных образцов практически не снизила. Эффект пластификации следует ожидать более значительным (более, чем в два раза) на бетонных образцах. Растет он и с увеличением расхода цемента.

Увеличение прочности образцов во времени удовлетворяет закономерностям, установленным ранее для цементных композиций, модифицированных *PCY-1*.

Снижение W/C образцов до контрольной серии выявило прирост их прочности на 12%. Близким к оптимальному следует считать количество *PCY-2*, равное 0.4% от массы цемента.

Таким образом, состав *PCY-2* по механизму действия и количественным показателям близок к добавке *PCY-1*, и его можно рассматривать как *полифункциональный модификатор* бетонной смеси со стабилизирующими и пластифицирующими свойствами.

Легко предсказать, опираясь на результаты испытаний образцов бетона с добавкой *PCY-1*, что и бетонная смесь, модифицированная *PCY-2*, при снижении *W/C* до постоянной (требуемой по технологии) подвижности приведет к значительному приросту прочности бетона.

Таблица 2.11

№ группы	<i>PCY-2</i> , %	<i>W/C</i>	Консист., см	Возраст, сут.	Прочность, МПа
1.	0.00	0.50	3.9	3	24.14
				14	37.17
				28	42.11
2.	0.25	0.50	5.1	3	21.46
				14	36.56
				28	40.93
	0.40	0.50	6.7	3	23.17
				14	38.82
				28	43.86
3.	0.25	0.45	3.8	3	26.82
				14	41.39
				28	44.37
	0.40	0.44	3.7	3	29.16
				14	44.26
				28	47.16

Кроме того, при введении *PCY* в бетонную смесь, в структуре бетона ожидается образование повышенного количества пластических элементов - гелевых субмикроскопических новообразований, обладающих способностью испытывать значительные деформации сплошности. Это облегчит движение дислокаций, что будет способствовать перераспределению напряжений и снижению их концентраций. Последнее замедлит образование и развитие трещин в бетоне.

Возможность увеличить прочность конструкционного бетона без увеличения расхода цемента может быть эффективно использована для *снижения энергоемкости бетонных изделий*.

Количество добавки *PCY* 0,25...0,5% от массы цемента не замедляет структурообразования бетона в ранние сроки твердения и

интенсифицирует формирование и упрочнение структуры в более поздние сроки. *PCY* улучшает технологические свойства бетонной смеси, повышая при этом подвижность в 1,6...1,7 раза и ее "жизнеспособность", что дает возможность увеличить продолжительность операций с ней в производственных условиях [7].

В технологических процессах при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций определяющим фактором является прочность бетона при сжатии [11]. При одинаковых значениях *B/C* с количеством добавки *PCY* 0,25%...0,5% от массы цемента прочность бетона не снижается. В равноподвижных бетонных смесях с аналогичной дозировкой *PCY* прочность увеличивается на 20...35%. Эффективность действия *PCY* возрастает с увеличением расхода цемента. Минералогический состав цемента при этом на прочность бетона существенного влияния не оказывает.

К числу важнейших факторов, определяющих долговечность бетона, относятся особенности его структуры, в том числе и пористость [2]. Модификация структуры бетона добавкой *PCY* обусловлена снижением объема открытых пор и увеличением условно-закрытых. Изменяется в целом и характер поровой структуры. Показатель однородности пор по размерам увеличивается на 15...30%, а показатель среднего их размера снижается на 45...55%. Это способствует увеличению плотности бетона, что в свою очередь приводит к увеличению начального модуля упругости, повышению его морозостойкости.

2.4. Прочность и деформативность модифицированного бетона

Для конструкционных бетонов важнейшими характеристиками прочности являются нормативные сопротивления сжатию осевому R_{bn} (призменная прочность) и растяжению осевому R_{bt} . По этим характеристикам определяются расчетные сопротивления бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям I и II групп.

Испытания проводили на образцах-призмах с отношением сторон $h/a=4$, которые готовились по методике ГОСТ 10180-80 на составах бетонных смесей №2 и №4 (табл. 2.6) с расходом цемента 318 и 478 кг/м³, и оптимальным количеством добавки *PCY*. Для определения прочности при сжатии изготавливали призмы размером 10x10x40 см, а

прочности при растяжении - 15x15x60 см. Значения R_{bn} получали по результатам испытаний образцов-призм временному сопротивлению сжатию осевому, а значения $R_{btн}$ - по результатам испытаний образцов на изгиб по разрушающему моменту. В каждой серии опытов было по 3 образца-близнеца, которые твердели в нормальных условиях и подвергались ТВО по двум предложенным выше режимам.

Выполненные эксперименты дают основание предполагать (табл. 2.12 и 2.13), что при введении добавки РСУ в оптимальном количестве призмная прочность бетона при одинаковых значениях W/C , независимо от условий твердения, и при одинаковой подвижности находится в корреляционной зависимости от кубиковой прочности $R_{сжк}$. При расходе цемента 318 и 478 кг/м³ наблюдается увеличение этой характеристики на 8...,12% при одинаковых значениях W/C , и на 15...,20% при одинаковой подвижности в сравнении с контрольным составом. Анализируя полученные значения можно сделать вывод, что в каждом случае выполняется зависимость:

- в составах, модифицированных добавкой РСУ - $R_{bn}=0.7R_{сжк}$;
- в составах бездобавочных - $R_{bn}=0.67R_{сжк}$.

Из полученных значений прочности при растяжении R_{bn} видно, что значение W/C не оказывает влияния на эту характеристику. Так при испытаниях образцов с составом №2 (расход цемента - 318 кг/м³) как при одинаковых значениях W/C , так и при одинаковой осадке конуса полученные результаты не имеют существенного различия. Такая же закономерность наблюдается и при испытаниях образцов на составах №4 (расход цемента - 478 кг/м³).

Во всех опытах полученные значения R_{bn} и $R_{btн}$ для модифицированных бетонов соответствовали нормативным значениям, приведенным в СНиП 2.03.01.-84.

Бетон представляет собой упруго-пластический материал, модуль упругости которого выражается нелинейной функцией напряжений. Для определения напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных конструкций существуют различные аналитические зависимости. При этом модуль упругости определяется через начальный E_b , значения которого приведены в СНиП 2.03.01.-84. в зависимости от вида и класса бетона, а так же условий его твердения. Важное значение играет начальный модуль упругости при расчете бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям

II группы (образованию, закрытию и раскрытию трещин, определению допустимых деформаций)

Таблица 2.12

№№ составов бетона,	W/C	PCY-1, % массы цемента	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Призменная прочность R_{bn} , МПа	Растяжение осевое $R_{нт}$, МПа	Начальный модуль, $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа
2. Ц=318	0.64	0	21.7/18.8	14.4/12.9	1.14/1.13	20.5/18.3
			22.6	15.37	1.34	22.4
		0.25	23.1/20.6	15.94/14.21	1.35/1.22	23.6/22.3
			25.1	17.5	1.46	24.9
		0.5	22.2/20.3	15.3/14.2	1.33/1.21	23.4/20.7
			24.2	16.9	1.35	26.1
		0.7	22.3/19.6	15.2/13.52	1.31/1.34	23.2/21.31
			24.2	16.7	1.34	25.1
4. Ц=478	0.41	0	33.1/31.4	22.4/21.6	1.65/1.55	29.5/26.0
			34.3	23.32	1.65	32.5
		0.25	36.4/36.5	25.3/25.9	1.7/1.7	32.6/30.9
			37.1	26.34	1.67	33.6
		0.5	35.4/35.6	25.48/24.92	1.73/1.71	30.8/30.5
			35.9	25.13	1.66	33.2
		0.7	35.1/35.3	24.91/24.36	1.69/1.7	30.7/29.3
			35.7	24.65	1.66	32.9

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе приведены прочностные характеристики бетона прогретого при $t_{из.}=80^{\circ}\text{C}$, в знаменателе при $t_{из.}=60^{\circ}\text{C}$.; без дроби - твердевшего в естественных условиях.

Начальный модуль бетона, модифицированного добавкой PCY, определяли на тех же составах и с тем же расходом цемента, что и призменную прочность. Образцы-призмы размером 10x10x40 см твердели в естественных условиях и подвергались ТВО при $t_{из.}=80^{\circ}\text{C}$ и $t_{из.}=60^{\circ}\text{C}$.

Для определения диапазона нагружения предварительно по разрушающей нагрузке устанавливали призменную прочность R_{bn} . Для центрировки и замера деформаций применяли индикаторы часового типа с ценой деления 0.001 мм и базой измерения 200 мм. Нагружение образцов осуществлялось ступенями по $0.05R_{bn}$ с выдержкой 1, ..., 2 мин. до уровня $0.5R_{bn}$.

По данным табл. 2.12, 2.13 можно сделать следующие выводы. Для бетона класса В15 (состав №2) с расходом цемента 318 кг/м³ в 28-

суточном возрасте при одинаковом значении W/C и оптимальном количестве добавки PCU наблюдается увеличение начального модуля упругости E_b на 10,...,15% независимо от условий твердения. В равноподвижных бетонах такого же состава возрастание этой характеристики бетона более значительное и увеличивается до 20%.

Таблица 2.13

№№ составов бетона,	W/C	$PCU-1$, % массы цемента	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	Призмная прочность $R_{пр}$, МПа	Растяжение осевое R_{bt} , МПа	Начальный модуль. $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа
2. Ц=318	0.64	0	21.7/18.8 22.6	14.4/12.9 15.37	1.14/1.13 1.34	
	0.58	0.25	25.9/22.3 27.4	18.39/15.83 19.45	1.35/1.16 1.35	23.8/22.6 26.5
	0.58	0.5	24.2/21.6 25.03	17.19/15.34 17.77	1.36/1.17 1.4	23.5/22.7 26.7
	0.59	0.7	23.3/20.3 24.8	16.9/14.41 17.5	1.36/1.17 1.3	24.1/22.5 26.5
4. Ц=478	0.41	0	33.1/31.4 34.3	22.4/21.6 23.32	1.65/1.55 1.65	
	0.37	0.25	41.4/42.3 40.9	29.1/30.3 29.2	1.89/1.91 1.85	34.8/35.2 35.7
	0.38	0.5	40.1/41.9 40.3	28.3/28.9 27.8	1.86/1.9 1.84	33.8/34.2 34.5
	0.38	0.7	39.7/40.7 39.8	27.39/28.1 27.46	1.8 /1.75 1.82	30.3/30.6 34.6

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе приведены прочностные характеристики бетона прогретого при $t_{из}=80^{\circ}C$, в знаменателе при $t_{из}=60^{\circ}C$; без дроби - твердевшего в естественных условиях.

Для бетона В22.5 (состав №4) с аналогичным содержанием PCU так же наблюдается рост значений E_b , но в несколько другой зависимости: в бетонах, твердеющих в нормальных условиях - до 2%; подвергаемых ТВО при $t_{из}=80^{\circ}C$ - 6%; а при $t_{из}=60^{\circ}C$ - 16%. При одинаковой подвижности увеличение значений E_b наблюдается в той же закономерности: соответственно 7, 12, и 28%.

Во всех случаях увеличение значений начального модуля упругости бетона E_b , модифицированного добавкой PCU , при $t_{из}=60^{\circ}C$ обосновывается тем, что при указанной температуре

изотермического прогрева бездобавочные бетоны имеют низкие значения исследуемого параметра. Опираясь на механизм действия добавки *PCU* и исследования структурных особенностей модифицированных ей бетонов, можно сделать вывод, что основной причиной увеличения значений E_b являются: более рациональная пористая структура благодаря снижению капиллярной и увеличению замкнутой микропористости. Это в значительной степени повышает и трещиностойкость бетона.

Увеличение начального модуля упругости существенно не зависит от условий твердения бетона, а зависит главным образом от *W/C*: со снижением *W/C* он возрастает. При этом связь между прочностью бетона и величиной E_b - нелинейная. По мнению авторов, увеличение E_b в модифицированном бетоне при снижении *W/C* происходит за счет увеличения его плотности, что в значительной мере обусловлено изменением макро- и микропористости. Адсорбционное модифицирование цементного камня *OKB PCU*, как поверхностно активной составляющей, снижает модуль упругости гелево-кристаллической фазы цементного камня. С увеличением расхода цемента влияние адсорбционного модифицирования усиливается.

2.5. Морозостойкость бетона с добавкой *PCU*

Влияние добавки *PCU* на морозостойкость бетона определяли в соответствии с методикой ГОСТ 10060-76 на образцах-кубах с ребром 10 см количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания при температурах -18°C и $+18^{\circ}\text{C}$ соответственно до снижения прочности на 15% и потери по массе - 5%. Исследования проводили на двух составах бетона классов В15 и В22.5 с расходом цемента 318 и 478 $\text{кг}/\text{м}^3$ (составы №2 и №4, табл. 2.6). Составы отличались между собой значениями *W/C*. Дозировка добавки принималась 0.25% от массы цемента. В равноподвижных бетонных смесях *W/C* подбирались экспериментально и составляли 0.37 и 0.58.

Для каждой партии бетона изготавливалось по 5 серий образцов с тройным повторением. Из них 6 подлежало замораживанию через 75 и 100 циклов для бетона класса В15, и - через 100 и 150 циклов для бетона класса В22.5. Число контрольных образцов в обоих случаях равнялось 9, для испытаний в эквивалентном возрасте.

Таблица 2.14

№ состава	W/C	PCY-I, % от массы цемента	Кол-во циклов	Прочность на сжатие, МПа		
				контрольных образцов	после замораживания	Снижение прочности, %
2. Ц=318	0.64	0	0	19.3	--	--
			75	23.2	21.81	6
			100	24.3	20.17	17
		0.25	0	20.8	--	--
			75	25.2	25.9	--
			100	24.9	23.65	5
	0.58	0.25	0	22.4/20.3	--	--
			75	26.2/23.8	26.8/24.3	--
			100	27.3/25.9	26.73/25.12	2/3
4. Ц=478	0.41	0	0	32.5/28.6	--	--
			0	34.3	--	--
			100	36.7/32.3	34.11/29.07	7/10
				36.1	34.29	5
			150	37.3/33.8	30.83/28.05	18/17
				37.2	31.25	16
	0.41	0.25	0	35.6/34.1	--	--
				37.1	--	--
			100	39.3/38.7	41.5/39.5	--
				40.4	42.3	--
			150	42.4/40.1	40.28/38.5	5/4
				41.6	39.52	5
	0.37	0.25	0	38.7/38.9	--	--
				40.9	--	--
			100	42.8/43.5	43.7/44.2	
				43.8	43.2	--
			150	44.3/45.1	43.86/44.1	3/2
				42.8	41.52	3

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе указана прочность бетона прогретого при $t_{из.} = 80^{\circ}C$, в знаменателе при $t_{из.} = 60^{\circ}C$.; без дроби - бетон твердел в нормальных условиях.

Образцы твердели в нормальных условиях, а так же подвергались ТВО по двум режимам с температурой $t_{зам} = 80^{\circ}C$ и $t_{зам} = 60^{\circ}C$. Образцы, подверженные ТВО, испытывались в 7-суточном возрасте после ТВО. Продолжительность цикла замораживания составляла 12 час.

Результаты исследований, приведенные в табл. 2.14, показывают, что у бетонов без добавки после 100 и 150 циклов наблюдается снижение прочности более, чем на 15%. Введение добавки *PCU* повышает морозостойкость. Так все образцы из бетона составов №2 и №4 выдержали соответственно 75 и 100 циклов. Повышенная морозостойкость модифицированных бетонов согласуется с показателями его поровой структуры - увеличенное число замкнутых пор и сниженный объем капиллярных. В результате происходит уменьшение средних размеров пор в 1.5 раза и повышение коэффициента однородности. Вместе с тем, как показали электронно-микроскопические исследования, с введением *PCU* в бетон увеличивается гидратация цемента.

Анализируя полученные данные можно сделать заключение, что морозостойкость бетона с добавкой *PCU* при сниженных *W/C* повышается, а ее увеличение происходит главным образом за счет модификации поровой структуры.

2.6. Коррозионная стойкость арматуры в бетоне

Оценку коррозионного состояния арматуры в тяжелом бетоне с добавкой *PCU* проводили по результатам ускоренных электрохимических испытаний в лаборатории НИИЖБ (Москва). О состоянии арматуры судили по характеру анодных поляризационных кривых и состоянию поверхности арматуры после коррозионных испытаний. Для исследований были выбраны составы тяжелого бетона 1:1.91:3.37 с расходом цемента 350 кг/м^3 , отличающихся между собой процентным содержанием добавки *PCU* (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Состав бетона, Ц:П:Щ	Расход цемента, кг/м^3	Марка образцов	К-во <i>PCU-I</i> , % массы цем.	W/C	О.К., см	Прочность при сжатии, МПа
1:1.91:3.37	Ц=350	Б-20	0.25	0.49	3	37.1
		Б-21	0.50	0.50	3.5	36.4
		Б-22	0.90	0.47	3	34.8

Электрохимические испытания проводились в соответствии с методикой СТ СЭВ 4421-83. Для исследований из каждого состава бетона было изготовлено по 9 образцов размером 70x70x140 мм. По

оси бетонного образца располагался электрод из арматурной стали класса В-1 диаметром 5 мм и длиной 120 мм. Поверхность электрода предварительно очищалась тонкой шкуркой и обезжиривалась растворителем. Режим тепловлажностной обработки соответствовал условиям твердения бетона реальных конструкций.

Анодно-поляризационные кривые снимались на стали в бетоне сразу после термообработки, а так же через 3 и 6 месяцев попеременного увлажнения (3 часа) и высушивания (21 час) образцов. Перед снятием поляризационных кривых бетонные образцы насыщались водой в вакууме. Затем торец образца скалывался, обнажался стержень на длине 10,...,20 мм и место выхода стали из бетона изолировалось масляной краской. Подготовленный образец устанавливался в электрохимическую ячейку, в которой определялась величина стационарного потенциала. Затем с помощью потенциостата в автоматическом режиме производилось изменение потенциала со скоростью 6 $V/час$ с изменением величины тока через каждые 50 - 100 mV изменения потенциала. Результаты испытаний оформлялись в виде графиков в координатах: по оси абсцисс - плотность тока в mkA/cm^2 ; по оси ординат - потенциал в mV .

После окончания электрохимических испытаний образцы разрушались, из них извлекались арматурные стержни, которые подвергались визуальному осмотру с целью определения характера коррозионных поражений, а так же их площади и глубины.

Установлено, что сталь в бетоне пассивна, если при потенциале 300 mV по насыщенному коллоидному электроду плотность тока не превышает 10 mkA/cm^2 . При плотности тока равной 10,...,25 mkA/cm^2 , сталь находится в неустойчивом пассивном состоянии и возможна коррозия. Интенсивная коррозия наблюдается лишь при плотности тока, более 25 mkA/cm^2 .

Проведенные электрохимические испытания позволили оценить коррозионное состояние арматуры в бетоне с добавкой РСУ. Установлено, что при количестве РСУ в бетоне, не превышающем 1% от массы цемента коррозионное состояние арматуры не ухудшается. Так при потенциале E равном +300 mV величина тока пассивации во всех образцах (табл. 2.15) не превышала 5 mkA/cm^2 , что явно свидетельствует о пассивном состоянии стали в бетоне. Это подтверждено и визуальным осмотром стержней, извлеченных из образцов после снятия поляризационных кривых, - коррозия стали не наб-

людалась, стержни были чистыми. На рис. 2.2 представлены результаты электрохимических испытаний образца состава Б-21 с количеством добавки РСУ - 0.5% от массы цемента.

Сохранность арматуры обеспечивается в первую очередь за счет подщелачивания жидкой фазы бетона содержащимся в добавке едким натром, значительно повышая pH среды жидкой фазы бетона. Кроме того, комплексный характер добавки РСУ модифицирует структуру бетона, чем так же удается повысить его защитные свойства.

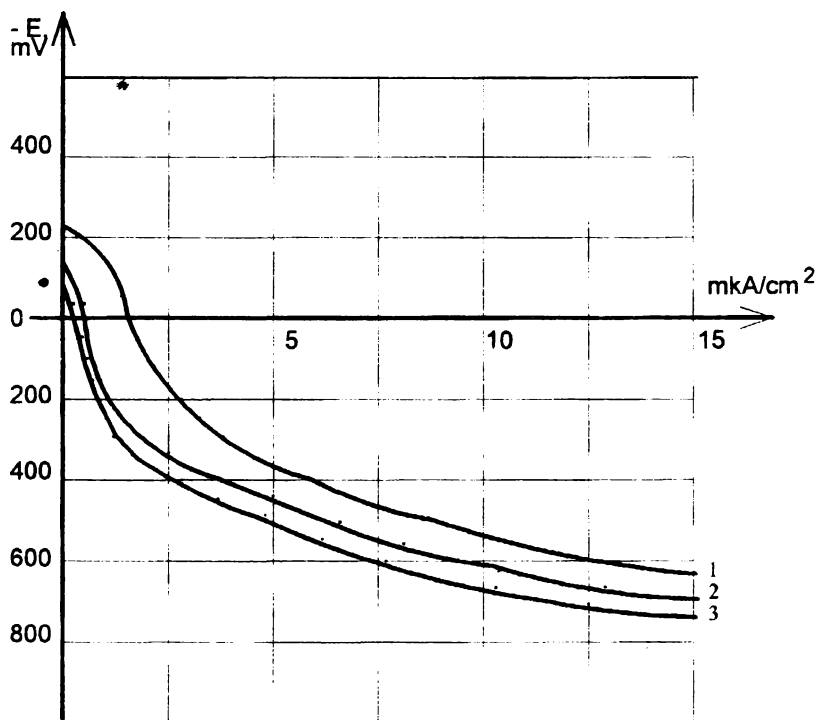


Рис 2.2. Анодные поляризационные кривые на стали в бетоне состава Б-21.

1 - результаты испытаний образца сразу после ГВО; 2 и 3 - испытания соответственно после 3 и 6-месячного попеременного увлажнения и высыхания.

С целью определения срока полной карбонизации защитного слоя исследуемых составов и сравнительной оценки их проницаемости, в карбонизированном слое бетона определялся *эффективный коэффициент диффузии углекислого газа*. Полученные результаты (табл. 2.16) показывают, что бетонная смесь, модифицированная добавкой *PCU*, обладает более низким коэффициентом диффузии углекислого газа и водопоглощением.

Таблица 2.16

Марка образцов	Водопоглощение по массе, %	<i>pH</i> бетона в зоне размещения арматуры	Глубина карбонизации за 3 сут., мм	Эффективн. коэфф. диффузии $D \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$	Период нейтрализации защитного слоя толщиной, год	
					20 мм	30 мм
Б-20	5.1	12.15	5.8	2.65	80	150
Б-21	5.3	12.08	6.1	3.25	75	150
Б-22	5.5	12.06	6.6	5.10	60	130

В то же время, следует подчеркнуть относительно малое процентное содержание в модифицированных цементных композициях хлористого натрия *NaCl*, которое при оптимальном количестве добавки *PCU* составляет не более 0.3% от массы цемента. Это количество более чем в 3 раза меньше безопасного для арматуры, составляющего при этом 1% от массы цемента. Таким образом, применение *PCU* как комплексного модификатора бетона в железобетонных конструкциях надежно и эффективно.

Щелочная коррозия бетона с *PCU* не имеет места, поскольку в Республике Беларусь и в Украине отсутствуют заполнители, содержащие реакционно-способные силикатные составляющие (халцедон и др.). Такие заполнители встречаются в Восточной части России.

2.7. Легкий бетон с оптимальным количеством *PCU*

На заводах ЖБИ Республики Беларусь наибольшее применение находит легкий бетон средней плотностью марки D1600, D1700 класса B15 на керамзитовом заполнителе фракций 5,.....10.

Этот бетон и был принят для исследований с использованием следующих исходных материалов:

- портландцемент завода CHELM (Польша) *Ср 45*, соответствующий по ГОСТ 10178-85 марке *ПЦ 500-Д0* (см. табл. 2.17.);

Таблица 2.17

Параметры цемента <i>Ср 45</i>	Испытания з-да CHELM	Польская норма	Испытания БрПИ, Брест	Нормы ГОСТ 10178-85
Начало схватывания, мин.	120	>60	160	>45
Конец схватывания, мин.	175	<600	220	<600
Вода для размешивания (нормальная густота), %	26,5		28,00	
Проба Ле-Шателье, мм	0,0	<8	---	
Удельная поверхность, м ² /кг	361	>220	392	>280
Прочность на сжатие, МПа:				
- после 2 дней	26,6			
- после 3 дней	32,6	>20	42,8	---
- после 7 дней	40,6			
- после 28 дней	47,1	>45 <65	52,9	>49
SiO ₂ (%)	19,98		19,40	
Fe ₂ O ₃ (%)	2,13		1,88	
Al ₂ O ₃ (%)	5,43		5,70	
CaO (%)	64,93		65,00	
MgO (%)	0,54	<5	5,33	<5
SO ₃ (%)	2,90	<3,5	2,38	>1,0 <3,5
Na ₂ O (%)	0,20			
K ₂ O (%)	0,65			
Na ₂ O _{экв} (%)	0,63			
Нерастворимые части (%)	0,76		0,87	
Потери обжига (%)	2,16		3,42	
Состав Цемента (%):				
- клинкер	95			
- гипс	5	<5		
- минеральные добавки(пыль)				
Минералы (%):				
- C ₃ S	58,51		63,23	
- C ₂ S	13,16		7,94	
- C ₃ A	10,78		11,92	
- C ₄ AF	6,48		17,34	
Заключение:				
Цемент соответствует марке <i>ПЦ 500-Д0</i> ГОСТ 10178-85				

- керамзитовый гравий фракции 5, ..., 20 Петриковского завода с характеристиками, приведенными в табл. 2.18;
- песок природный, удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-85;
- добавка *PCY-1* Слуцкого сахаро-рафинадного завода с технологическими параметрами, приведенными в табл. 1.2.

Оптимальное количество добавки *PCY* определялось по испытаниям образцов-кубов из керамзитобетона класса В15 размером 10х10х10 см в количестве 6 шт для каждого состава. Один из кубов был без добавки а в остальных пяти содержание *PCY* изменялось от 0.3% до 0.7% от массы цемента.

Таблица 2.18

Характеристика керамзита	Значения
1. Полные остатки на контрольных ситах, % по объему:	
5 мм	93.82
10 мм	9.6
20 мм	нет
2. Насыпная плотность, кг/м ³	592
3. Прочность гравия при сдавливании в цилиндре, МПа	2.7

Кубы после формования подвергались тепловой обработке в пропарочной камере по режиму 4+3+6+2 (выдержка, подъем температуры до 80° С, изотерический прогрев, остывание).

После тепловой обработки 3 куба каждого состава испытывались на сжатие, а остальные три хранились в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях и затем также испытывались. Результаты испытаний приведены в табл.2.19.

Как показали результаты исследований, оптимальное количество *PCY* в керамзитобетон класса В15 составляет 0.4, ..., 0.6% от массы цемента. При этом достигается максимальный прирост прочности, который составил 29%, а в 28-суточном возрасте после пропарки - 26%.

Таблица 2.19

Состав керамзитобетона, кг			W/C	PCY-1, % массы цемента	О.К., см	Прочн. при сжатии, мПа	
Цемент	Песок	Керамзит фр. (5...20)				после ТВО	ч-з 28 сут.
300	800	425	0.78	0	6	9.8	13.7
			0.73	0.3	6	11.2	14.8
			0.70	0.4	6	11.9	15.9
			0.68	0.5	6	12.7	17.2
			0.67	0.6	6	12.3	16.6
			0.66	0.7	6	11.6	14.5

При исследовании технологических свойств керамзитобетонной смеси с модификатором PCY определялись подвижность(жесткость), плотность, водоотделение, расслаиваемость. Водопотребность устанавливалась по требуемому расходу воды в модифицированную бетонную смесь, обеспечивающую жесткость, аналогичную контрольной - 6 с. Оптимальное количество добавки PCY позволяет снизить W/C до 15%.

Водотделение не наблюдалось как в контрольной смеси, так и в смесях, модифицированных PCY. Расслаиваемость керамзитобетонной смеси уменьшается в сравнении со смесью без добавки.

2.7. Теоретическое обоснование свойств бетона с добавкой PCY

Экспериментально многократно подтверждено, что применение модификатора PCY в тяжелом бетоне в зависимости от расхода цемента дает прирост его прочности до 35%.

Теоретическое обоснование проведенное по существующим методикам, показывает, что структуру и свойства бетона во многом предопределяет структура цементного камня и бетона, сложившаяся в стадии коагуляционного упрочнения в результате повышения плотности. Особенности сформировавшейся структуры цементного камня изучались микроскопическими методами, позволяющими определить не только пористость, но и изменения в фазовом составе, происходящие во времени [2].

Сравнение структур тяжелого бетона без добавки и с добавкой PCY позволяет сделать следующий вывод: введение добавки в

оптимальных количествах способствует более быстрому развитию структуры во времени, возникновению мелкого гелевидного вещества, за счет чего покрытие зерен, слагающих структуру цементного камня, более плотное и с мелкими порами. Обеспечивается прочный контакт между зёрнами цемента.

Исследования фазового состава цементного камня с добавкой *PCU* подтвердили, что снижение пористости, и как следствие - увеличение его прочности, обусловлено появлением в системе новых фаз, уплотняющих цементный камень. Наряду с этим, повышение плотности и прочности при введении модификатора *PCU*, содержащего электролит, результат увеличения под его влиянием гидролиза и гидратации цемента. Появление новых фаз и их роль в формировании структуры цементного камня, менее значимы. При этом, повышение степени гидратации цемента наблюдается главным образом в ранние сроки твердения, а с течением времени разница становится менее существенной.

Полученные результаты дифференциально-термического анализа подтвердили, что наличие хлорида натрия в цементном геле увеличивает реакционную способность твердой фазы цемента, что и способствует его более полной гидратации. Повышение пластической прочности цементного теста с добавкой *PCU* в начальные сроки твердения можно объяснить не только образованием новых соединений, но и упрочнением геля при взаимодействии ионов Na^+ с поверхностными группами. Увеличение контактирующей с водой поверхности твердой фазы цемента обеспечивается за счет пептизирующего действия электролитов.

Изменение прочности бетона при сжатии в зависимости от количества добавки *PCU* имеет превалирующее значение. Статистический анализ позволяет спрогнозировать эффективность применения *PCU* исходя из основного показателя свойств бетона - прочности при сжатии. Для конструирования прогнозирующих математических моделей построены регрессионные зависимости прочности бетона при сжатии от содержания добавки и *W/C* бетонной смеси [12]. В общем виде квадратичные регрессионные зависимости представлены в виде:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2$$

где: y - прочность бетона при сжатии;

x_1 - количество добавки *PCU* в % от массы цемента;

x_2 - значения *W/C* бетонной смеси.

Неизвестные коэффициенты регрессионных моделей, а так же параметры регрессионных зависимостей (адекватность, работоспособность рассматриваемых зависимостей и дисперсия воспроизводимости) определялись методами математической статистики. Расчет коэффициентов и параметров определялся по методу наименьших квадратов на компьютере по специальной программе.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕТОНА С ДОБАВКОЙ *PCU* ДЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На основании выполненных исследований, а также производственного опыта разработаны рекомендации по практическому применению конструкционного бетона с добавкой *PCU* при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций, соответствующих ГОСТ 25192-82:

- тяжелого средней плотности свыше 2200 до 2500 кг/м³ ;
- мелкозернистого средней плотности свыше 1800 кг/м³ .

Допускается проектирование легкого бетона с добавкой *PCU* плотной и поризованной структуры при проведении дополнительных экспериментальных исследований с учетом конкретных особенностей цементов и крупного пористого заполнителя, а так же условий эксплуатации конструкций и вида их напряженно-деформированного состояния.

Настоящие рекомендации содержат основные положения по применению бетонов, модифицированных добавкой *PCU* (регенерационные стоки утилизированные), при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций. Приведены расчетные характеристики добавки, ее назначение, особенности подбора состава модифицированного бетона, рекомендации по приготовлению водных растворов добавки и бетонной смеси, контролю за производством работ и качеством бетона, технике безопасности и охране труда, а так же требования к материалам для изготовления бетонов, модифицированных *PCU*.

При составлении рекомендаций использованы результаты экспериментальных исследований НИИЖБ, Брестского политехнического института, а также опыт применения бетонов с комплексной добавкой *PCU* на заводах железобетонных конструкций Республики Беларусь.

3.1. Общие положения

3.1.1. Настоящие рекомендации распространяются главным образом на применение добавки *PCU* при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций и изделий из бетонов: тяжелого средней плотности свыше 2200 до 2500 кг/м³; мелкозернистого средней плотности свыше 1800 кг/м³. Допускается так же к применению при изготовлении конструкций из легкого бетона, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 25820-83.

3.1.2. Добавка *PCU* представляет собой утилизированный регенерационный сток сахаро-рафинадного производства, содержащий гл. образом в своем составе органические красящие вещества (ОКВ), хлорид натрия, и гидроокись натрия.

3.1.3. Применение добавки *PCU* в бетонную смесь позволяет при проектировании конструкционных бетонов достичь одну из следующих целей:

- увеличить прочность бетона на 20, ..., 30% или уменьшить расход цемента до 10%;
- сократить энергозатраты на тепловую обработку до 25% или ускорить достижение *отпускной* прочности конструкций при твердении бетона в естественных условиях;
- повысить морозостойкость и водонепроницаемость бетона на 1,5 - 2 марки.

3.1.4. Бетоны с добавкой *PCU*, бетонные смеси, применяемые для них материалы, технология изготовления конструкций должны соответствовать требованиям, предъявляемым стандартами, главами СНиП и другими нормативными документами к конкретным видам изделий и конструкций с учетом их назначения.

3.1.5. Добавку *PCU* рекомендуется вводить в состав бетонов для неармированных и армированных конструкций с учетом требований настоящих рекомендаций.

3.1.6. Введение добавки *PCU* в состав бетонных смесей не замедляет процесс твердения. Поэтому тепловлажностную обработку конструкций и изделий, отформованных из бетонных смесей с добавкой *PCU*, следует производить по тем же режимам, что и для отформованных из бетонных смесей без добавок.

3.1.7. Область применения неармированных и армированных конструкций из бетона с добавкой *PCU* определяется его физико-механическими свойствами и аналогично области применения конструкционных бетонов без добавки.

3.1.8. Содержание добавки *PCU* в бетоне рекомендуется применять в оптимальном количестве, но не превышающем 1,0% от массы цемента.

3.1.9. Выбор арматурной стали в железобетонных конструкциях следует производить в зависимости от типа конструкции, наличия предварительного напряжения, а также от условий возведения и эксплуатации здания или сооружения, в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84.

3.1.10. В конструкциях, предназначенных для эксплуатации в агрессивных газовых средах, в зоне действия блуждающих токов от посторонних источников, возможность применения бетонов с добавкой определяется в соответствии со СНиП 2.03.П-85: "Защита строительных конструкций от коррозии" и "Руководство по применению химических добавок в бетоне". -М., Стройиздат, 1981.

3.2. Требования к материалам

3.2.1. Добавка *PCU* должна удовлетворять требованиям ТУ 18-1-18-85 Министерства пищевой промышленности.

3.2.2. Добавку *PCU* допускается вводить в состав бетонов на портландцементе, удовлетворяющих техническим требованиям ГОСТ 10178-85 "Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия". Применение других видов цементов требует дополнительной проверки.

3.2.3. Заполнители для бетонов должны соответствовать требованиям ГОСТ 10268-80, ГОСТ 8267-82, ГОСТ 10260-82 и ГОСТ 8736-85.

3.2.4. Вода для приготовления бетонной смеси должна отвечать требованиям ГОСТ 23732-79.

3.3. Особенности подбора состава бетона

3.3.1. Подбор состава бетона, модифицированного *PCY* с учетом проектных требований к бетону и бетонной смеси, производится путем корректировки подобранного состава бетона без добавки при минимальном расходе цемента.

3.3.2. Оптимальное количество добавки для конкретных конструктивных бетонов уточняется экспериментальным путем на данных конкретных материалах.

3.3.3. Рекомендуемые пределы оптимального содержания добавки *PCY* в процентах к массе цемента (в расчете на сухое вещество):

- для бетона, подвергаемого ТВО - 0,25, ..., 0,5%;
- для бетона естественного твердения - 0,4, ..., 0,6% .

3.3.4. Оптимальное количество добавки *PCY* принимается путем сравнения характеристик бетона с добавкой и бетона без добавки.

3.3.5. При применении добавки с целью сокращения расхода цемента, корректировка состава бетона производится следующим образом:

- выполняется перерасчет исходного состава с уменьшением расхода цемента на 5, 8 и 10% при сохранении неизменной доли песка в смеси заполнителей;

- готовятся пробные замесы на каждый расход цемента с введением добавки в пределах рекомендуемых количеств с интервалом 0,1%. при этом подвижность бетонной смеси должна соответствовать заданной;

- из каждого замеса бетонной смеси формируют образцы, которые твердеют по принятым режимам и испытываются в установленные сроки;

- по результатам испытаний устанавливают оптимальный состав бетона.

3.3.6. При применении добавки *PCY* с целью повышения прочности, морозостойкости, водонепроницаемости корректировка состава осуществляется без изменения расхода цемента, но с уменьшенным

водосодержанием бетонной смеси при сохранении заданной подвижности.

3.3.7. Составы бетона, модифицированные добавкой *PCU*, должны быть проверены непосредственно в производственных условиях путем испытания контрольных образцов, изготовленных по действующей технологии и подвергнутых ТВО по тому же режиму, что и изделия без добавки.

3.4. Приготовление бетонной смеси с добавкой *PCU*

3.4.1. Технология приготовления бетонов, модифицированных добавкой *PCU*, отличается от обычной тем, что в бетоносмеситель вместе с водой подается необходимое на замес количество добавки, установленное при подборе состава бетона.

3.4.2. Завод-изготовитель поставляет водный раствор добавки *PCU*, концентрации и плотности состава, соответствующего ТУ.

Таблица 3.1

Концентрация раствора <i>PCU</i> , %	Плотность при 20° С, г/см ³	Содержание <i>PCU</i> , кг	
		в 1 л	в 1 кг
5,85	1,03	0,060	0,058
7,30	1,04	0,076	0,073
8,75	1,05	0,092	0,088
10,20	1,06	0,108	0,102
11,60	1,07	0,124	0,116
13,10	1,08	0,141	0,131
14,55	1,09	0,159	0,146
16,00	1,10	0,176	0,160
17,40	1,11	0,193	0,174
18,85	1,12	0,211	0,188
20,30	1,13	0,229	0,203
21,75	1,14	0,248	0,218
23,25	1,15	0,267	0,232
24,65	1,16	0,285	0,246

3.4.3. Раствор добавки РСУ может быть доведен до рабочей концентрации в приготовительной емкости технологической линии завода путем смешивания поставляемого продукта РСУ и воды. Необходимое количество раствора добавки D_n , л, для заправки приготовительной емкости определяется по формуле:

$$D_n = V_n \cdot (C_1 / C_2) \quad (1)$$

где: V_n - объем приготавливаемого раствора, л;

C_1 - содержание безводного вещества добавки в 1 л раствора рабочей концентрации, кг (находится по табл.3.1);

C_2 - то же в 1 л исходного продукта.

Необходимое количество воды, л, для заправки приготовительной емкости определяются по формуле:

$$B_n = V_n - D_n \quad (2)$$

Раствор добавки РСУ считается пригодным, если его плотность и концентрация соответствуют требуемой.

3.4.4. Необходимое количество добавки рабочей концентрации на замес бетонной смеси D_s , л, и воды B_s , л с учетом количества добавки, определяется по формулам:

$$D_s = (S \cdot Ц) / (k \cdot P); \quad (3)$$

$$B_s = B - D_s \cdot P(1 - k/100); \quad (4)$$

где: S - количество добавки в расчете на сухое вещество, % от массы цемента;

$Ц$ - расход цемента, кг/м³;

k - концентрация рабочего раствора добавки, %;

P - плотность рабочего раствора добавки, г/см³;

B - расход воды на замес бетонной смеси при введении добавки в виде сухих продуктов, л.

3.4.5. Необходимое количество добавки рабочей концентрации вводится с помощью жидкостного дозатора добавки в дозатор воды одновременно с подачей расчетного ее количества.

3.4.6. Раствор добавки рабочей концентрации следует хранить при положительной температуре не выше 30-50⁰ С.

3.5. Контроль за производством работ и качеством бетона

3.5.1. Контроль за производством работ и качеством бетона изделий и конструкций следует осуществлять систематически согласно действующей нормативно-технической документации, принятой для изготовления изделий и конструкций из бетона без добавки.

3.5.2. Качество исходных материалов должно соответствовать требованиям п. 3.2 настоящих рекомендаций. По истечении гарантийного срока хранения материалов необходимо проверить их соответствие всем показателям согласно нормативным документам.

3.5.3. Особенность контроля за приготовлением рабочего раствора добавки и бетонной смеси состоит в систематической проверке:

- плотности рабочего раствора добавки;
- правильности дозирования добавки и материалов не реже 2-х раз в смену;
- соответствия времени перемешивания смеси заданному;
- соответствия подвижности (жесткости), плотности бетонной смеси заданным не реже двух раз в смену непосредственно перед укладкой.

3.5.4. Не допускается расходование водных растворов добавки, рабочая концентрация которых отличается от заданных, без перерасчета и предварительного тщательного перемешивания.

3.6. Техника безопасности и охрана труда

3.6.1. При производстве работ необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, регламентированные требованиями СНиП III-4-80 "Техника безопасности в строительстве", "Руководства по применению химических добавок в бетоне" -М.: - НИИЖБ, 1981, указаний данного раздела.

3.6.2. Запрещается принимать пищу в помещениях, где хранится добавка или готовится водный ее раствор. Необходимо остерегаться попадания в пищу.

3.6.3. В отделениях приготовления растворов добавок необходимо предусмотреть приточно-вытяжную вентиляцию.

3.6.4. Перед допуском к работе рабочие должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе с добавками.

3.6.5. Рабочие занятые приготовлением растворов добавки, должны работать в спецодежде из водоотталкивающей ткани, в очках и перчатках.

4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВКИ РСУ В БЕТОН

4.1. Практическое применение добавки РСУ в стройиндустрии

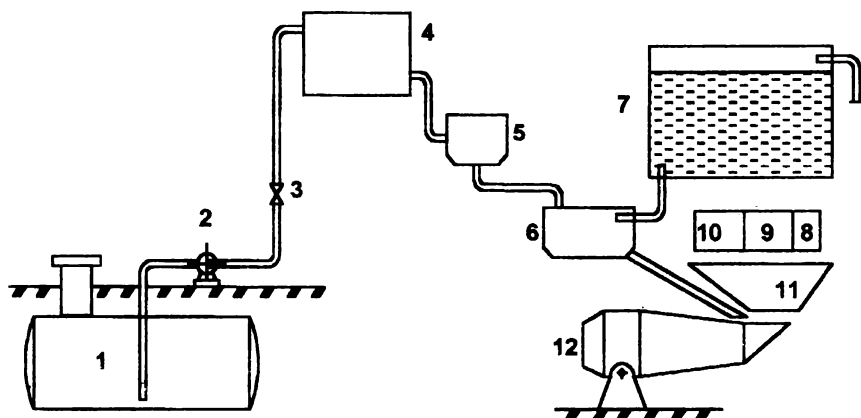
Доведенная до требуемой концентрации и соответствующей ей плотности согласно ТУ добавка РСУ накапливается в двух резервуарах-усреднителях в виде вагон-цистерн емкостью 60 м³ каждая, которые установлены на специально спроектированную эстакаду на высоте 6,5 м. Такое обоснованное практикой решение дает возможность заводу без дополнительных трудо- и энергозатрат производить загрузку добавки РСУ как на стадии ее заготовки, так и при загрузке в авто- или железнодорожные цистерны при отправке потребителю (Рис. 4.1). Простота и малая энергоемкость при ее получении позволяет заводу-изготовителю отпускать по минимальной стоимости.

На данном этапе РСУ является конкурентноспособной добавкой на рынке Республики Беларусь по ряду факторов. Превалирующим является то, что оптимальное ее количество значительно улучшает технологические свойства бетонной смеси, физико-механические и эксплуатационные характеристики бетона при низкой стоимости.

РСУ отличается своей технологичностью, поскольку раствор определенной концентрации, полученный на сахаро-рафинадном заводе, применяется в том же виде и на заводах ЖБИ. Экспериментально проверено, что его физико-технические свойства сохраняются более двух лет. Добавка РСУ отличается сравнительно низкой ценой, обусловленной способом ее получения. Конкурентность на данном этапе обеспечивается за счет следующих особенностей.

1. Известная добавка УПБ (упаренная последрожевая барда), представляющая отход пищевой промышленности, широко использовалась на заводах СЖБ Республики Беларусь. УПБ производится Лужанским и Черновицким заводами Украины. Однако, образование независимых государств Беларуси и Украины привело к разрыву

экономических связей между ними, что отрицательно сказалось на конкурентоспособности этой добавки на рынке Беларуси.



Вис. 4.1. Схема технологической линии для приготовления бетонной смеси, модифицированной добавкой РСУ

1 - приемный резервуар для добавки РСУ; 2 - насос типа ИВ6-10Х для подачи добавки в промежуточную емкость; 3 - задвижка; 4 - промежуточная емкость; 5 - дозатор добавки РСУ типа АДЖ; 6 - дозатор воды; 7 - емкость для воды; 8; 9; 10 - заторы цемента и сыпучих материалов; 11 - смеситель; 12 - бетоносмеситель.

2. Добавки в бетон, полученные на специализированных заводах, дорогостоящи, а их применение может быть ограничено в силу многих факторов. Так суперпластификатор С-3 эффективен при изготовлении железобетонных конструкций из бетонов высокого класса. Применение его в конструктивных бетонах классов В15...В25 приводит к необоснованному удорожанию изделий, хотя технологический эффект применения С-3 для таких бетонов практически аналогичен действию РСУ. Но ведь именно такие бетоны и составляют основной объем продукции, выпускаемый большинством заводов ЖБИ. В тоже время стоимость РСУ в расчете потребности на 1 м³ более, чем на порядок ниже, чем стоимость С-3. Следовательно, ниша рынка для добавки РСУ достаточно велика, ее применение экономически оправдано.

Добавку *PCY* можно применять как при изготовлении сборных, так и монолитных железобетонных конструкций. В табл. 4.1. приведен перечень изделий одного из заводов ЖБИ с технологическими и физико-техническими характеристиками бетонов, а также экономией цемента по данным производственных испытаний.

Для нахождения рынка сбыта добавки *PCY* выпущен рекламный информационный листок. Определив рынок сбыта, предварительно установив соответствующую цену, добавку со Слуцкого сахаро-рафинадного комбината в виде готового продукта 15...20% концентрации согласно паспортных данных направляют потребителю железнодорожным транспортом, либо автотранспортом.

Слуцкий сахаро-рафинадный комбинат в Республике Беларусь расположен с географической точки зрения в удобном месте. Сырьем является сахарная свекла, которой завод обеспечивается с близлежащих районов Минской, Гродненской и Брестской областей. Сахарная свекла является основной культурой для данного региона. Запас сырья рассчитывается на 9 месяцев, а на 3 летних месяца завод останавливается для проведения профилактических работ. Объем выпускаемой добавки *PCY* позволяет обеспечить бесперебойную работу заводов, выпускающих сборный железобетон. Таким образом, проведенные маркетинговые исследования на данном этапе позволяют регенерационные стоки сахаро-рафинадной промышленности преобразовать в экономически выгодный и экологически безопасный товар.

4.3. Автоматизированное проектирование бетонных смесей

Современное производство бетона характеризуется большим разнообразием факторов, влияющих на технологию изготовления, энергозатраты, его физико-технические параметры, долговечность и стоимость.

Многообразие видов конструкционных бетонов, их классы по прочности, марки по плотности, морозостойкости, водонепроницаемости, а так же многообразие марок цементов, особенности их гранулометрического состава, разнообразие заполнителей, непостоянство их влажности требуют от заводов железобетонных конструкций высокой гибкости и точности технологий приготовления бетонных

Таблица 4.1

Наименование изделий, класс бетона	Расход материалов, кг/м ³			W/C	Подвижн., жесткость, см, с.	Отпускн. прочн., %	Прочность при сжатии пропаренного бетона				Экономия цемента, %
							при t _{из.} = 60°C		при t _{из.} = 80°C		
	Ц	П	Щ				пос. ТВО	ч-з 28 сут.	пос.ТВО	ч-з 28 сут.	
Перекрышки, В 15	340/325	740/765	1170	0.44	5...10 с	70	12.5/14.1	18.5/20.6	14.3/15.8	20.4/21.8	4.4
Фундаментные подушки, В 15	319/303	730/750	1200	0.47	5...10 с	90	16.8/18.3	18.9/20.7	18.5/19.8	20.4/22.3	5.1
Плиты перекрытий, В 15	461/433	585/620	1100	0.55	10...12 см	70	12.6/14.8	18.7/21.5	14.8/15.6	20.3/21.6	6.1
Лестничные марши, В 15	457/429	590/615	1100	0.56	10...12 см	85	15.9/17.5	19.1/20.6	18.3/19.6	20.7/22.4	6.2
Диафрагмы жесткости, плиты каналов, В 22.5	473/446	610/635	1130	0.41	1...4 см	100	28.5/29.6	30.5/31.8	29.3/30.8	32.7/33.1	5.7
Плитка тротуарная, В 22.5	426/401	690/715	1150	0.41	5...10 с	100	27.1/28.6	29.6/31.9	29.4/31.3	31.5/33.1	5.9
Бордюр дорожный, В 25	414/390	690/715	1150	0.41	5...10 с	70	26.4/27.6	28.8/40.7	28.7/29.8	39.4/42.6	5.8

ПРИМЕЧАНИЕ: В числителе указаны значения расхода материалов и прочности при сжатии бетона без добавки, в знаменателе - с добавкой РС 0.25% от массы цемента. Экономия цемента производилась для составов бетона, подвергаемого ТВО при при t_{из.} = 80°C.

смесей, возможности их быстрого перерасчета с учетом дозировок модификатора, требуемой удобоукладываемости, режимов ТВО.

В лабораториях заводов необходимо учитывать возможность появления новых ГОСТ или дополнений к ним. Под рукой технолога постоянно должна находиться всевозможная справочная информация в виде различных рекомендаций, методик и др. Кроме того, сама методика расчетов различных бетонных смесей достаточно трудоемка, так как требует решения многопараметрической задачи, и многовариантна. Усложняет оперативность и значительно повышает трудоемкость расчетов наличие существенно нелинейной связи исходных параметров проектируемых бетонов с выходными.

Поэтому как в процессе экспериментальных исследований, так и на производстве при определении оптимальных дозировок приходится рассчитывать большое количество составов, вести их постоянную корректировку. Результаты испытаний необходимо обрабатывать статистически, вести документирование, строить графики и диаграммы.

Это вызывает необходимость разработки адаптивной системы управления технологическим процессом производства конструктивных бетонов с использованием автоматизированного рабочего места (АРМ). Ее основу составляет подсистема автоматизированного проектирования бетонных смесей заданных свойств, функционирующая в виде технологической линии проектирования (ТЛП).

Предлагаемая ТЛП **BETON** позволяет в диалоговом режиме в системе "Технолог-АРМ" оперативно проектировать составы конструктивных бетонов с добавкой РСУ с учетом изменяющихся характеристик исходных материалов. Адекватность полученных результатов проверяют экспериментально для наиболее характерных составов бетона. Если выходные параметры проектируемого бетона (прочность, жесткость/подвижность) превышают допускаемую величину, технолог имеет возможность оперативно корректировать состав бетона до требуемой адекватности основных параметров через систему коэффициентов, учитывающих реальные свойства исходных материалов. Полученные и откорректированные с учетом подсистемы адаптации бетонные смеси различных классов используют при выпуске требуемой номенклатуры бетонных и железобетонных конструкций.

ТЛП **BETON** функционирует под управлением ОС Windows.

Учитывая вышесказанное, а так же уникальные возможности ОС Windows для построения дружественного интерфейса в системе "Технолог-АРМ", при создании ТЛП ВЕТОН авторы стремились, чтобы она удовлетворяла следующим условиям [5]:

1. **Дружественный интерфейс** системы. Это достигается использованием возможностей операционной системы Windows и программированием *под Windows* с использованием библиотек объектно-ориентированного программирования OWL. Основная его особенность - полиэкранный графический режим и наличие развитой системы диалоговых окон (рис. 4.2; 4.3).

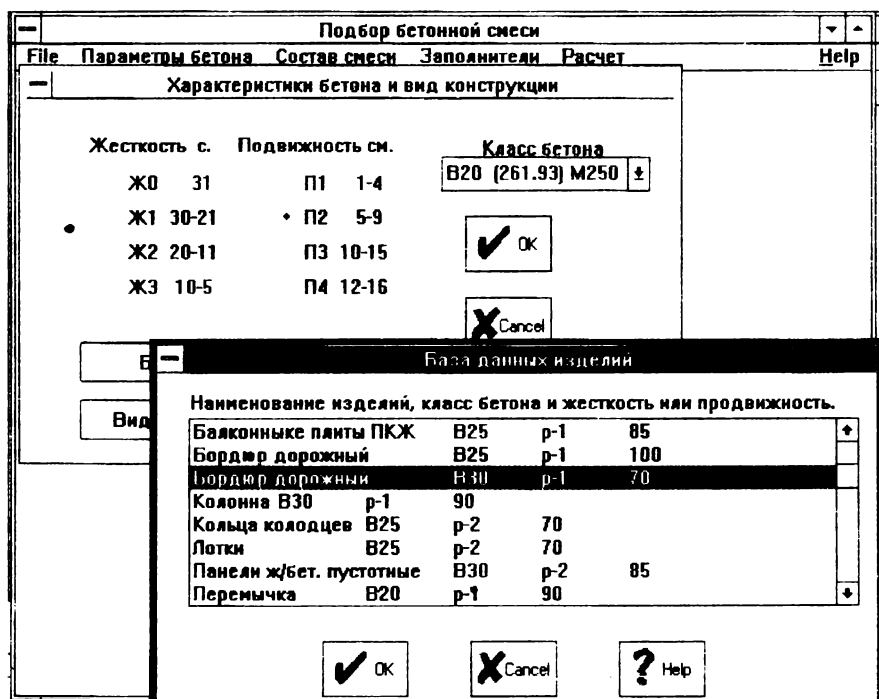


Рис. 4.2. Фрагмент окна при работе с номенклатурой изделий

Через систему связи и внедрения объектов (OLE) имеется возможность обмена данными с программным комплексом EXCEL, WORD и др. Возможна работа в мультисредах.

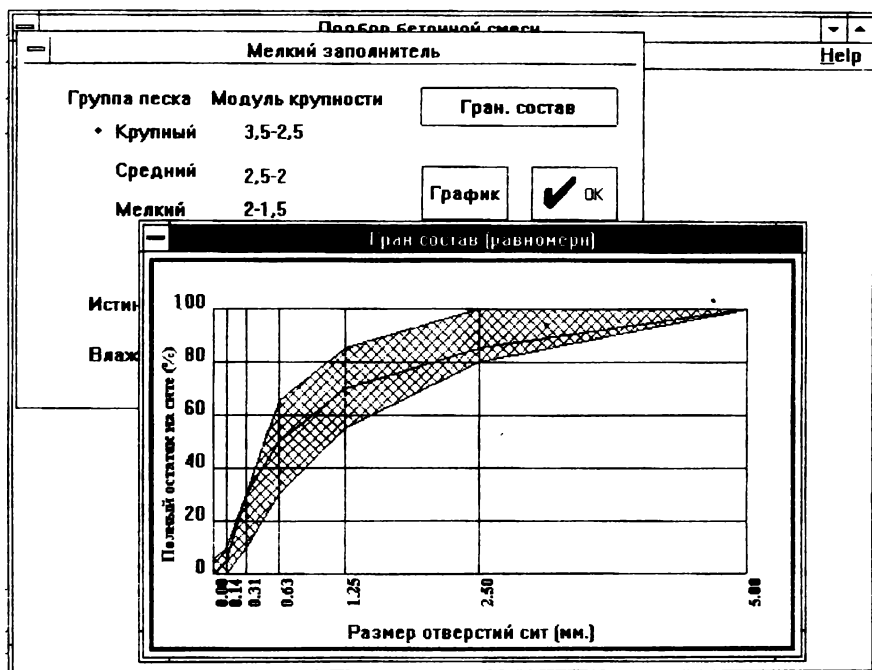


Рис. 4.3. Фрагмент окна для подбора параметров заполнителя

2. Система **ВЕТОН** снабжена развитым *гипертекстовым файлом* HELP (Подсказка), обеспечивающим технолога необходимой справочной информацией в виде текста, формул, таблиц и рисунков *по ключевым словам*, а так же *базой данных*. *Гипертекстовый файл* подсказки сформирован по тематическим разделам. Нажатием кнопки "? Help" предусматривается выход в *гипертекстовый файл* из диалоговых областей (Рис. 4.4).

3. Система строится "*открытой*". Это значит, что *Пользователь* системы имеет возможность вносить изменения в информационные файлы и файлы базы данных. Кроме того авторы программы по заказу

Пользователя могут вносить другие изменения с учетом особенностей конкретных заводов, типов бетонов, применяемых модификаторов и т.д. Предусматривается так же возможность создания подсистем управления технологией приготовления бетонных смесей и режимов термообработки через комплекс коммуникационного оборудования.

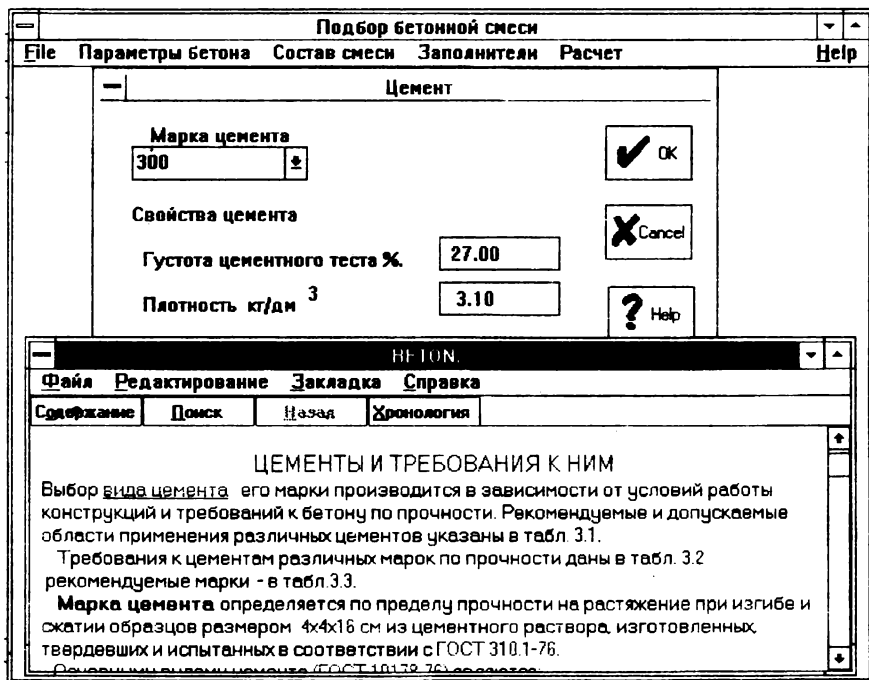


Рис. 4.4. Пример окна с фрагментом гипертекстового файла

С использованием системы OLE ОС Windows открывается возможность создавать на базе системы **ВЕТОН** динамическую интегрированную среду пользователя, с помощью которой могут быть задействованы такие пользовательские системы, как EXCEL, AutoCAD, WORD и др., необходимые для построения трехмерных диаграмм, графиков, чертежей, с целью выполнения научно-прогнозирующих оценок.

4. **Возможность статистической обработки** результатов испытаний образцов с целью подтверждения их достоверности и составления прогноза при планировании эксперимента.

5. Наличие **информационной рабочей книги**. С ее помощью Пользователю предоставляется возможность вести учет теоретических результатов расчета и соответствующих им результатов испытаний, использовать эти данные при статистической обработке и исследованиях, подборе оптимальных составов, а также составлении отчетов и других рабочих документов, вести *рабочий архив*.

Таким образом, программный комплекс **ВЕТОН** представляет собой *систему* структурных, функциональных, математических и информационных моделей, адекватно отражающих процесс проектирования и прогнозирования бетона как конструкционного материала. Он не только является мощным инструментом в руках *исследователя*, но в современных условиях незаменим в лабораториях заводов, выпускающих бетонных и железобетонные конструкции. Полезна она и при использовании в учебном процессе студентами строительных специальностей.

В качестве АРМ в настоящее время наиболее перспективно использовать персональный компьютер на базе процессора Pentium.

4.3. Экономическая эффективность от утилизации РС

К оценке экономической эффективности, полученной от утилизации регенерационных стоков, необходимо подходить с учетом экономического и социально-экологического факторов.

Патенто-информационные исследования не выявили эффективного способа очистки регенерационных стоков либо их обезвреживания как в отечественной практике, так и за рубежом [5]. Установлено, что полное обезвреживание регенерационных стоков практически невозможно: их выпаривание сопровождается вспениванием и образованием нагара при огромных затратах электроэнергии. Опыты с вымораживанием также не приводят к положительному результату. С учетом высокой стоимости технологии очистки стоков, строительство собственных очистных сооружений сахаро-рафинадному комбинату не под силу, а направлять стоки на

городские очистные сооружения запрещено по причине их несоответствия технологическим процессам работы этих очистных сооружений. Поэтому до внедрения схемы утилизации стоки направлялись на поля фильтрации, нанося вред окружающей среде. Таким образом, утилизация стоков - единственно правильное решение, так как сахаро-рафинадные заводы получают дополнительный товарный продукт, не неся существенных затрат на его производство.

Второй фактор - эффективность добавки *PCU* при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций. Экономический эффект может быть получен при:

- увеличении технологичности бетонной смеси не снижая при этом расход цемента;
- сокращении расхода цемента до 10% не снижая температуру изотермического прогрева при ТВО бетона;
- снижении температуры изотермического прогрева с 80° С до 60° С, без сокращения расхода цемента;
- снижении материалоемкости конструкций.

При проектном расходе цемента, снижая значения *W/C* до требуемой подвижности бетонной смеси, удается повысить прочность в 28-суточном возрасте до 20...35%. Повышение прочности бетона экономически целесообразно в конструкциях, работающих на сжатие. Это позволяет уменьшить сечение или объем рабочей арматуры. Уменьшение сечения, в зависимости от класса бетона, способствует сокращению расхода материалов (цемента, заполнителей) [7].

Как показывает производственный опыт внедрения добавки *PCU* на ряде заводов Республики Беларусь, при изготовлении железобетонных конструкций чаще всего ее используют для получения комплексного эффекта - частичного сокращения расхода цемента (до 5%) с одновременным улучшением технологичности бетонной смеси (табл. 4.1).

Вместе с тем, введение добавки *PCU* требует определенных затрат, связанных с ее стоимостью. Исходя из этого, расчеты экономической эффективности 1 м³ железобетонных конструкций с учетом удорожающих и удешевляющих факторов, могут быть выполнены на основании существующих прейскурантов цен оптовой торговли, нормативной и справочной литературы применительно к заводам сборного железобетона конкретной местности, и цены на добавку *PCU*. Так применительно к Брестской области экономическая

эффективность добавки *PCU* определялась при сокращении расхода цемента до 10%, на основании проведенных лабораторных и производственных испытаний [2, 7, 13, 16]. В качестве исходных данных использовались калькуляции себестоимости изделий с добавкой (новая техника) и без ее. За эталон исходного уровня принимался аналог - изделия из бетона с пластифицирующей добавкой УПБ (ОСТ 18-126-73), так же являющейся отходом производства. За новую технику принимались изделия из бетона с добавкой *PCU*, взятой в количестве 0,25% от массы цемента.

Актуальная цена стоимости 1 м³ бетона с добавкой *PCU* по состоянию на любой месяц текущего года может быть получена умножением базовой цены по состоянию на 1 января 1994 г. на ежемесячный коэффициент удорожания материалов.

При использовании добавки *PCU* удорожания основных фондов практически не происходит, так как в технологических линиях типовых проектов заводов ЖБК предусмотрены резервные емкости, дозаторы и все другое необходимое оборудование для применения добавок в бетон.

Таким образом, при оценке эффективности схемы утилизации РС необходимо суммировать доходы сахарорафинадного завода при продаже РСУ как товарного продукта, и прибыли, получаемой от применения конструктивных бетонов, модифицированных РСУ. Важен так же и социальный эффект - улучшение условий труда рабочих за счет повышения технологических свойств бетонной смеси, сокращения времени на работу вибро-инструментов, безопасности работ с добавкой РСУ как с веществом нетоксичным, неядовитым, не взрывоопасным и не пожароопасным.

Применение модификатора бетона РСУ в стройиндустрии решает и важную государственную экологическую задачу в Республике Беларусь, позволяющую исключить необходимость в очистке регенерационных стоков и сохранить земельные угодия, отводимые под поля фильтрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уласевич З.Н. Опыт утилизации регенерационных стоков сахаро-рафинадного производства в строительстве //Внедрение безотходных и малоотходных технологий - путь к решению экологических проблем //Тез. докл. научн. практ. конф. - Минск, 1988. - с.126-129.

2. Крылов Б.А., Уласевич З.Н. Использование добавки РС для улучшения пластических свойств бетонной смеси и сокращения энергозатрат //Ресурсосберегающие технологии производства бетона и железобетона: -М.: НИИЖБ, 1988. -с.120-125.

3. Сапронов А.Р., Кролчева Р.А. Красящие вещества и их влияние на качество сахара. -М.: Пищ. пром-сть, 1975. -347 с.

4. Бугаенко И.Ф., Гарсил Фуэнтос Мария, и др. Исследование красящих веществ, удаляемых анионитом АВ-17-2П при рафинировании сахара-песка //Сах. пром-сть.-1985. №9.-с.36-38.

5. Когановский А.М., Клименко И.А. Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от поверхностно-активных веществ. -Киев: Наук.думка, 1974. -159 с.

6. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. -М.: Стройиздат, 1990. -400 с.

7. Уласевич В.П., Уласевич З.Н. К вопросу ресурсосбережения при производстве железобетонных конструкций с добавкой РС //Тезисы докл. XX научн.-техн. конференции в рамках пробл."Наука и мир". ч.1. -Брест: БрПИ, 1992. -с. 128-130.

8. Практические методы по физической химии /Под ред. К.П. Мищенко и др. -Л.: Химия, 1982. -339 с.

9. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. -М.: Стройиздат, 1973. -207 с.

10. Рамачандран В.С. Добавки в бетон /Пер. с англ. -М.: Стройиздат, 1988. - 571 с.

11. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. -М.: Стройиздат, 1989. -728 с.

12. Вучков И.Н., Болджиева Л.Н. и др. Прикладной линейный регрессионный анализ. -М.: Финансы и статистика, 1986. -230 с.

13. Сончик С.Л., Уласевич В.П., Уласевич З.Н. Модификатор бетона РС - товарный продукт социально-этичного маркетинга. Методические указания. -Брест: БрПИ, 1994. -37 с.

14. Zinaida N.Ulasiewicz, Wiaczeslaw P.Ulasiewicz (Belorussia), Mical Boltryk (Poland). Utilization of the Regenerative Waste for Chemical Additives for Concrete.The Tenth International Conference on Solid Waste Management. Philadelphia, PA U.S.A. November 13-16, 1994.

15. Уласевич В.П., Уласевич З.Н., М.Болтрык Д.Малашкевич. К утилизации регенерационных стоков сахарорафинадных производств //Современные строительные конструкции. Проблемы и перспективы. Сборник трудов -Брест: БрПИ, 1995. -с. 82-87.

16. Уласевич В.П., Тимошевич В.В.. Система автоматизированного проектирования модифицированных бетонов заданных типов и свойств //Современные строительные конструкции. Проблемы и перспективы. Сборник трудов -Брест: БрПИ, 1995. -с. 88-93.

17. Уласевич З.Н., Уласевич В.П. Теоретическое обоснование эффективности применения модификатора бетона РСУ //Материалы научно-технической конференции, посвященной 30-летию ин-та. часть II. -Брест: БрПИ, 1996. с. 149-150.

Содержание

Предисловие	3
1. ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СТОКОВ	6
1.1. Физико-химические свойства регенерационных стоков	6
1.2. Основные технологические параметры модификатора <i>PCU</i>	9
2. МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ <i>PCU</i> КАК МОДИФИКАТОРА БЕТОНА	13
2.1. Место <i>PCU</i> в классификации модификаторов бетона	14
2.2. Цементные композиции с добавкой <i>PCU</i>	16
2.3. Бетон и раствор, модифицированный добавкой <i>PCU</i>	20
2.4. Прочность и деформативность модифицированного бетона ...	30
2.5. Морозостойкость бетона с добавкой <i>PCU</i>	34
2.6. Коррозионная стойкость арматуры и бетона	36
2.7. Легкий бетон с оптимальным количеством <i>PCU</i>	39
2.7. Теоретическое обоснование свойств бетона с добавкой <i>PCU</i> ...	42
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕТОНА С ДОБАВКОЙ <i>PCU</i> .. . для БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	44
3.1. Общие положения	45
3.3. Требования к материалам	46
3.4. Особенности подбора состава бетона	47
3.5. Приготовление бетонной смеси с добавкой <i>PCU</i>	48
3.6. Контроль за производством работ и качеством бетона	50
3.7. Техника безопасности и охрана труда	50
4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДОБАВКИ <i>PCU</i>	51
4.1. Практическое применение добавки <i>PCU</i> в стройиндустрии	51
4.2. Автоматизация проектирования бетонных смесей	53
4.3. Экономическая эффективность от утилизации <i>PC</i>	59
Список литературы	62

Научно-методическое издание

Уласевич Вячеслав Прокофьевич
Уласевич Зинаида Николаевна

КОНСТРУКЦИОННЫЙ БЕТОН С ДОБАВКОЙ РСУ

Под редакцией Уласевича В.П.

Подписано в печать 23.03.97 г. Формат 60x84/₁₆. Усл.п.л. 3,7. Уч.изд.л. 4,0. Заказ № 7/618. Тираж 300 экз. Набрано и сверстано на компьютерной системе Экоцентра по технологиям и информации ОСиЯ. Отпечатано на ризографе ООО FORT. 224017, Брест, ул. Сов. Конституции, 1.