

ВЛИЯНИЕ АККУМУЛИРУЮЩИХ ЖИДКУЮ ФАЗУ ДОБАВОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ

Наджим Наджах Абид¹, Коваль С.В.¹, д.т.н., проф., Артур Якубчак²

¹ Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г.Одесса

² Варминско-Мазурский Университет, г.Ольштын, Польша

Анализ материалов мировых симпозиумов, показывает, что одним из революционных направлений в технологии бетона является использование т.н. самоуплотняющихся бетонов (SCC, Self-Compacting Concrete). Разработка и применение самоуплотняющихся бетонов высокой прочности 50-60 МПа обосновывается в условиях Ирака развитием строительства ответственных объектов и необходимостью внедрения современных технологий и материалов, а также мировых стандартов на изготовление железобетонных изделий и конструкций.

В Ираке защищено в последние годы несколько диссертаций на тему SCC. Однако в них не рассмотрены вопросы поведения таких бетонов условиях сухого и жаркого климата. Практически не освещен данный вопрос и в мировой литературе. Высокопрочные бетоны SCC имеют весьма низкое водовяжущее отношение и содержат недостаточное количество воды затворения для того, чтобы обеспечить заполнение крупных капилляров, необходимых для поддержания реакций гидратации и пуццолановой реакции в течение времени, что вызывает опасность развития усадочных деформаций и трещинообразования.

В проводимых исследованиях¹ реализуется одна из идей, по которой самовысыханию можно противодействовать с помощью предварительного насыщенных дисперсных пористых добавок, являющихся дополнительным внутренним источником «поставки» воды для продолжения гидратации и компенсатора влагопотерь, вызванных химической усадкой в процессе гидратации.

На первом этапе обоснованы и исследованы возможности модифицирования твердеющего высокопрочного самоуплотняющегося бетона для снижения усадки и влагопотерь в условиях повышенных температур [1-3]. На втором этапе, используя новое для Ирака направление

¹ Исследования выполнены в рамках договора о сотрудничестве между ОГАСА и Варминско-Мазурским Университетом (г. Ольштын, Польша)

компьютерное моделирование, разработаны базовые составы высокопрочного самоуплотняющегося бетона [4-5]. На третьем, завершающем, этапе исследованы свойства высокопрочных самоуплотняющихся бетонов с добавками – компенсаторами усадки.

Одна из концепций внутреннего ухода за бетоном - концепция предварительно насыщенных пористых заполнителей (LWA, Light Weight Aggregate), обеспечивающих дополнительный внутренний источник воды и компенсацию влагопотерь, вызванных усадкой [6-8].

Для выполнения функции внутреннего «резервуара» и перемещения воды, заполнитель должен содержать поры большие, чем поры в цементной пасте. В процессе формирования гидратов вода, защемленная в пористом материале, оттягивается из этих пор в значительно меньшие поры цементного камня, что минимизирует развитие усадки (так как напряжение усадки, согласно уравнению Кельвина-Лапласа, контролируется размерами мельчайших пор). При этом увеличивается полнота гидратации цемента в бетоне, что способствует и повышению эффективности использования минеральных добавок, таких как зола унос и шлак, которые воспринимаются как главные источники получения материалов для «зеленых» бетонов, изготовленных по максимально экологически чистым технологиям.

Результатом применения водонасыщенных добавок является, в частности, уменьшение микротрещинообразования в контактной зоне из-за повышения совместимости заполнителя и окружающей его цементной матрицы, а также гигроскопическое равновесие между двумя пористыми материалами (капиллярно пористая структура заполнителя и цементной матрицы).

Два других типа добавок для предотвращения самовысыхания - полимерные добавки SAP, адсорбирующие значительное количество воды (*Superabsorbent polymers*) и водорастворимые химические соединения VMA (*Viscosity modifying admixture*), которые уменьшают испарение воды при выдерживании бетона, а также ее миграцию в теле бетона [7, 8]. Водорастворимые полимеры (например, эфиры целлюлозы), имеющие гидроксильные (-ОН) и эфирные (-О-) функциональные группы улучшают сохранение воды в бетоне и повышают степень гидратации цемента.

Целью исследований явилось подтверждение положительной роли водонасыщенных компонентов для уменьшения усадки бетона.

Исследованы возможности внутреннего ухода при введении в цементный раствор пористых и химических добавок всех трех групп. Исходные твердые субстанции представляли собой зерна размером 2-4 мм, полученные просеиванием через соответствующие сита. Исследо-

вано водопоглощение обычного плотного заполнителя, бентонита, перлита, пемзы керамзита и суперадсорбента (SAP).

Наибольшее водопоглощение показал образец SAP, который увеличил свою массу практически в 100 раз, бентонит – в 5 раз. Близкое увеличение массы у образцов керамзита и пемзы (соответственно на 33, 4 и 25,3 %). Следует отметить, что эти данные могут рассматриваться как ориентировочные, так как водонасыщение определяется видом материала и особенностями его структуры.

При исследовании влияния добавок в цементных растворах их количество принято 30% от объема раствора. Исключение составляла целлюлоза, которая вводилась в количестве 0,3% от массы цемента. Все растворы содержали поликарбоксилатный суперпластификатор Sika ViscoCrete в количестве 0,2 % при постоянном количестве воды в растворе ($V/C=0,35$).

Испытание прочности образцов проведено на прессе Controls 65-L1301 (рис.1а). При определении прочности на изгиб образцы-балочки размерами 4х4х16см нагружали до разрушения сосредоточенной нагрузкой с запрограммированной скоростью 25Н/с и высокоточным измерением прогиба (рис.1б), что позволяло, используя специальную компьютерную программу, определять энергию разрушения образца.

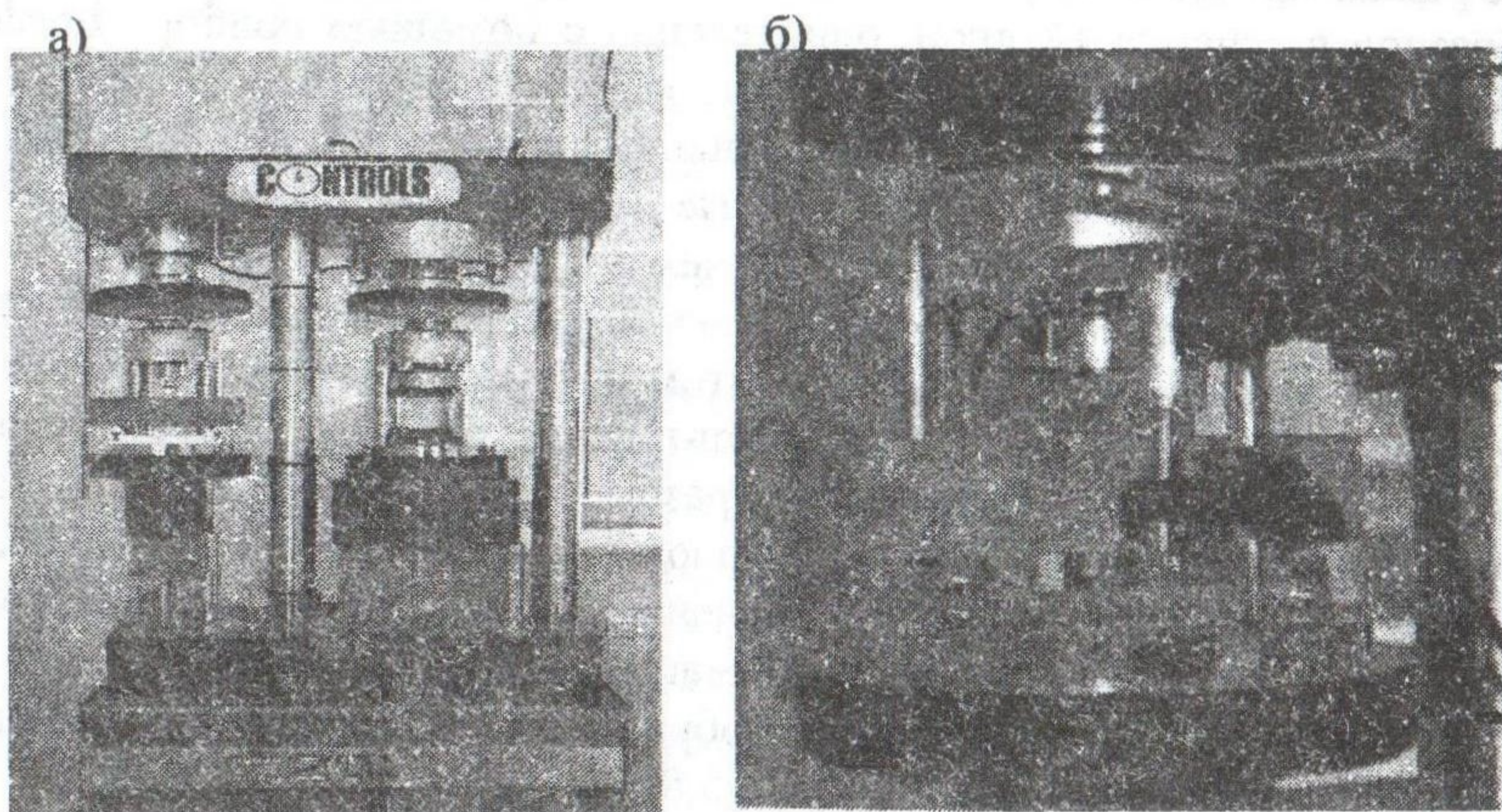


Рис.1. Вид пресса Controls 65-L1301 (а) и определение прочности на изгиб при одновременной фиксации прогиба образца (б)

В таблице 1 представлены данные механических испытаний растворов. Обращает на себя внимание положительное влияние исследуе-

мых добавок на прочность образцов, испытанных на растяжение при изгибе. Практически все добавки увеличили прочность по сравнению с контрольным составом (SAP – более чем в 1,5 раза). Эти данные и большой прогиб образцов и энергии разрушения подтверждают эффективность введения пористых и других материалов, аккумулирующими влагу, с позиций уменьшения внутрискруктурных напряжений.

Таблица. 1. Результаты эксперимента по определению свойств растворов

Компонент	Максимальный изгиб образца [μm]	Прочность на изгиб [МПа]	Прочность на сжатие [МПа]	Энергия разрушения [кН·μm]
эталон	56,07	1,57	55,86	19,37
керамзит	58,25	1,66	33,93	22,90
пемза	72,63	2,01	38,41	27,13
SAP	53,17	2,56	30,11	28,94
перлит	131,53	1,88	22,51	49,91
целлюлоза	51,37	1,93	27,14	23,74
бентонит	69,77	1,91	30,60	34,22

На втором этапе исследованы усадка и влагопотери раствора [2]. На рис.2а представлена относительная зависимость изменения усадки образцов в течение 13 дней, определена с помощью прибора Граф-Кауфмана. Образцы, содержащие в своем составе добавки бентонита, целлюлозы, а также SAP, имеют большие деформации, чем контрольный образец без добавок. Собственные деформации образца, содержащего бентонит, в два раза больше, чем у контрольного образца. Несколько меньшие деформации отмечаются у образцов с добавкой SAP. В то же время у образцов с керамзитом и пемзой деформации усадки остаются практически на уровне контрольного состава. В условиях хранения в нормальных условиях образцы, содержащие в своем составе добавки в виде бентонита, целлюлозы, а также SAP наиболее заметно уменьшили массу по сравнению с контрольным образцом (рис.2б), вследствие большого содержания воды. Близкими значениями убытка массы характеризуются образцы с добавками керамзита (-5,12%), перлита (-5,99%) и пемзы (-5,81%).

В последующих опытах определено влияние добавок на усадку в закрытых условиях. Изготовлена установка для измерения собственных деформаций, являющаяся прототипом прибора, описанного в [8].

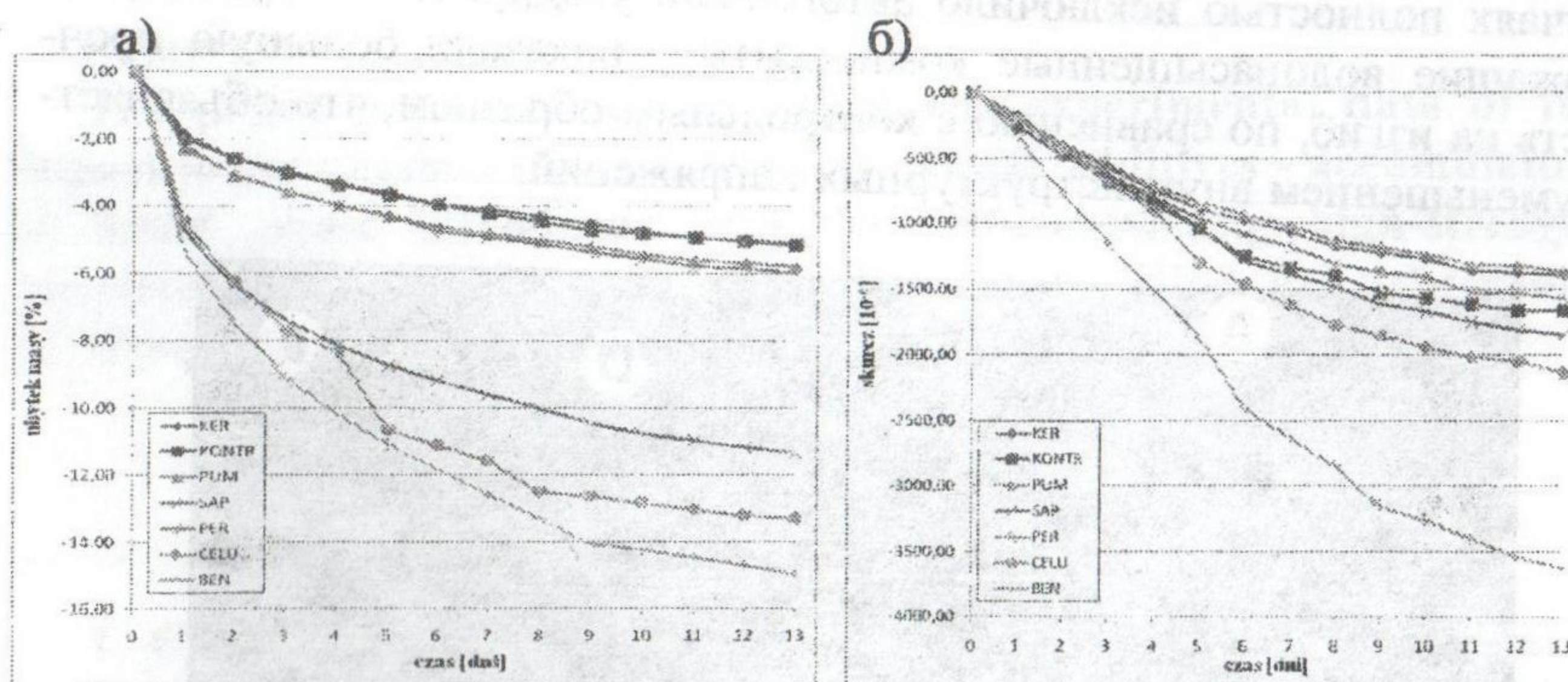


Рис.2. Относительное изменение усадки (а) и потери массы образцов (б)

Цилиндрические формы длиной 60 см из пластиковой гофрированной трубы жестко закреплены одним концом к стальной плите, второй конец находится в свободном состоянии и упирается в датчик измерения деформаций. Каждая форма лежит на двух стальных прутьях, покрытых тонким слоем силикона с целью снизить влияние на точность измерений сил трения. Деформации измерялись высокоточными датчиками 82-P0331/C фирмы Controls с точностью 0,15 микрона, подключенными к компьютеру. Первые два дня деформации фиксировались каждые 15 минут, а в последующем - каждый час.

На рис.4 показано измерение длины образцов в период до 6 дней. Все образцы показали начальное увеличение длины. После периода «удлинения», длившегося примерно от 10 часов до одних суток, проявилась достаточно сильная усадка, особенно у контрольного образца без добавок.

Наибольшую усадку продемонстрировал контрольный образец. Усадка образцов цементной пасты, содержащей керамзит и пемзу, практически не проявилась в процессе начального твердения. Близкий характер роста собственных деформаций имеет образец с добавкой SAP, который после существенного увеличения объема также практически не изменил свою длину после затвердевания. Заметно меньшая величина усадки отмечена у образцов с перлитом и целлюлозой.

Выводы

Введение в цементный раствор добавочных источников воды с помощью специальных добавок приводит к изменению его свойств. Применение добавок (в частности керамзита) уменьшило, а в некоторых

случаях полностью исключило автогенную усадку. Все образцы, содержащие водонасыщенные компоненты, показали большую прочность на изгиб, по сравнению с контрольным образцом, что объясняется уменьшением внутрискруктурных напряжений.

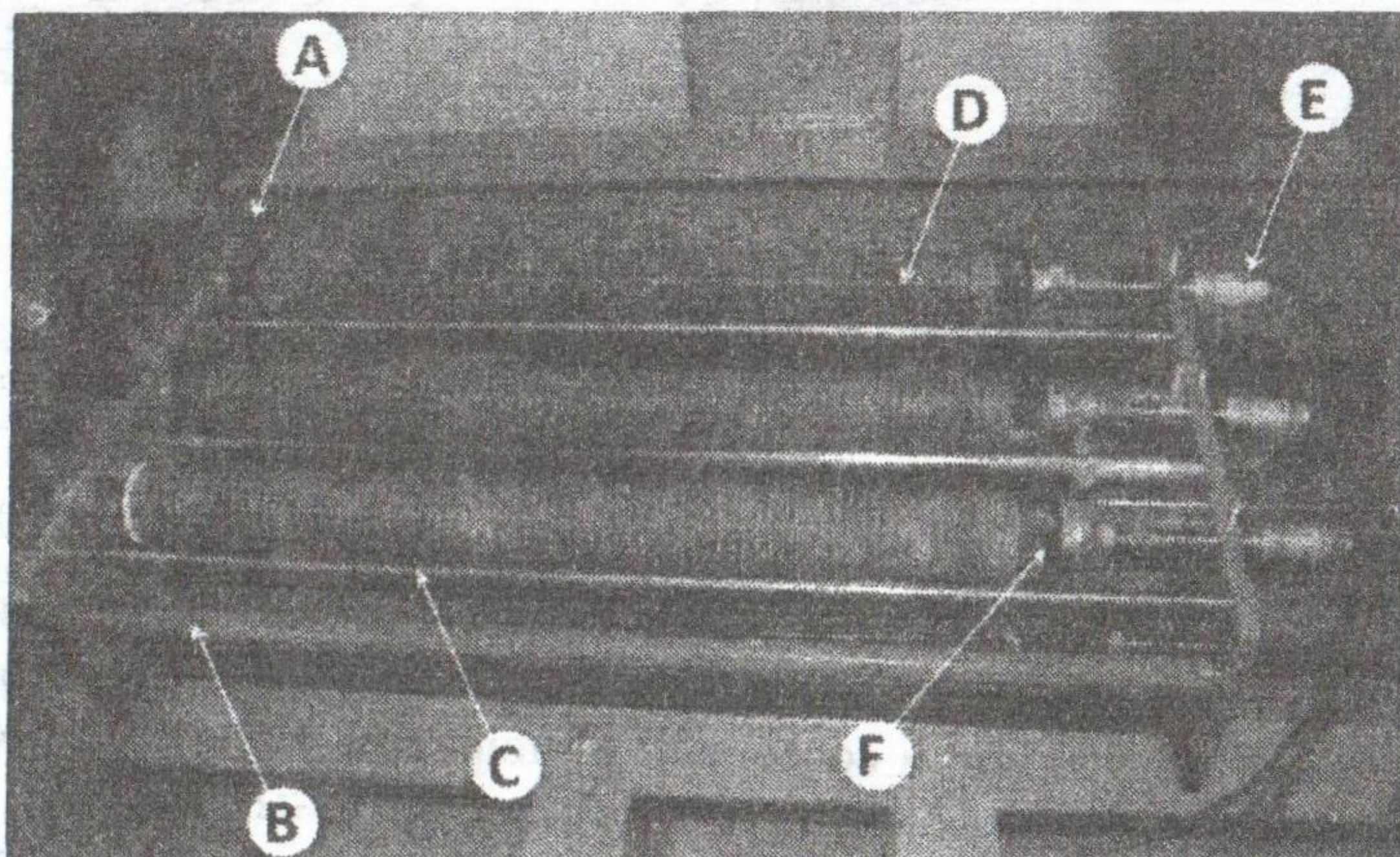


Рис.3. Установка для измерения автогенной усадки

- a - стальная плита; b - соединяющие пруты диаметром 22 мм;
- c - направляющие стальные пруты (салазки);
- d - гофрированная пластиковая труба, заполненная раствором;
- e - датчики деформаций; f - запорные торцевые насадки

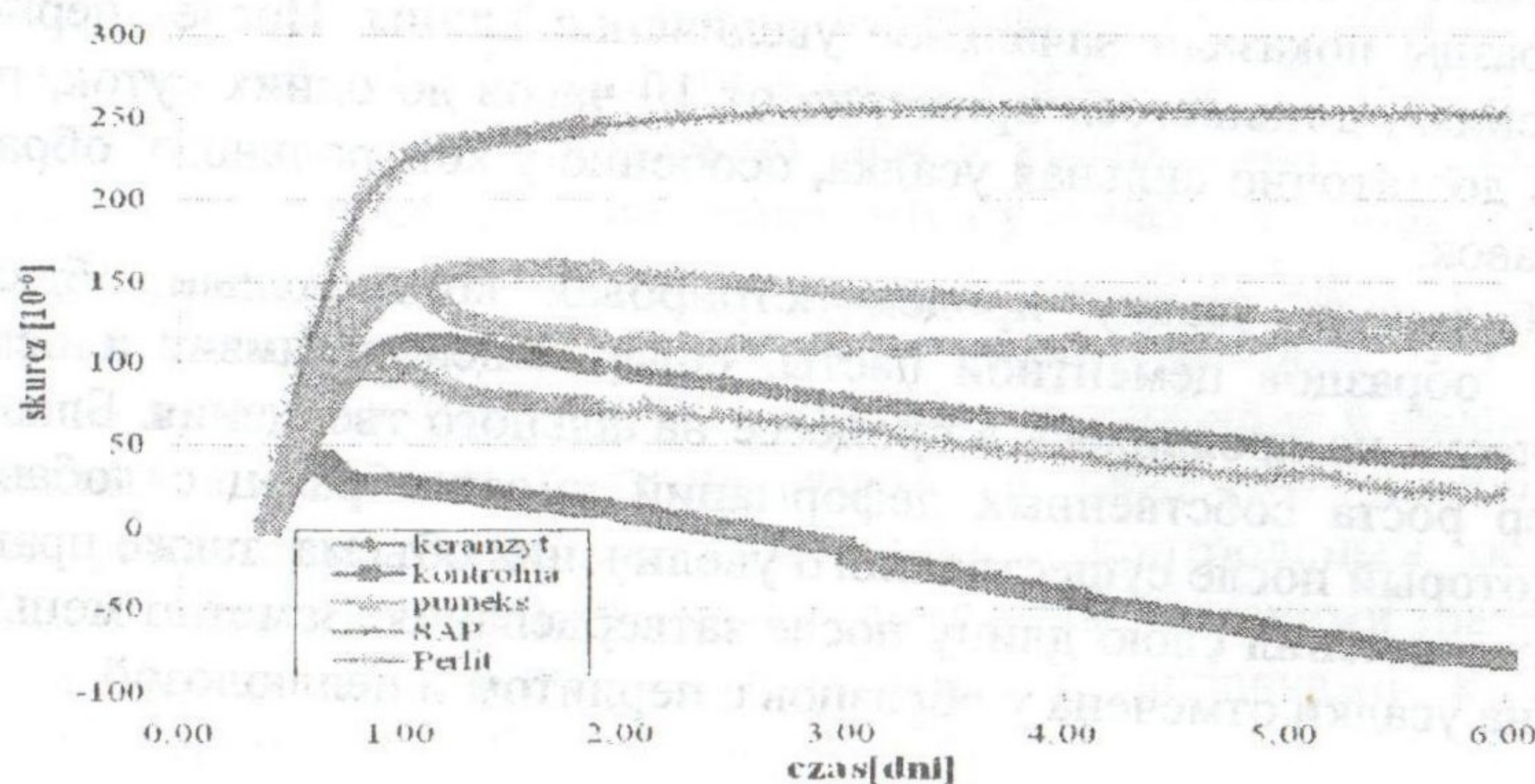


Рис.4. Изменение деформаций образцов в закрытых условиях

Summary

The paper presents the theoretical and experimental data of the impact to the characteristics of cement mortar additives - accumulators of liquid phase introduced into the self-compacting high-strength concrete to eliminate self-desiccation and eliminate shrinkage deformations while hardening in the dry hot climate.

Литература

1. С.В.Коваль, А.Якубчак, Наджах Абид. Сравнительный анализ добавок для внутреннего ухода за твердеющим бетоном //Сб. «Дни современного бетона», Запорожье. – 2012, С.126-132.
2. Koval S, Nadzach Abid, Jakóbczak A. Modyfikowanie kompozytów cementowych przez dodatki – kompensatory skurczu // Materiały, instalacje i technologie energooszczędne w budownictwie: Międz. konf. Biała Podlaska, 2012. S.123-129.
3. Абид Н. Пути снижения влагопотерь самоуплотняющегося бетона в условиях сухого и жаркого климата //Вісник ОДАБА. –Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2011. –Вип.№43. –С.176-182.
4. Коваль С.В., Наджах Абид, Ситарски М. Самоуплотняющийся бетон: области применения, тестирование и особенности состава // Строительные материалы и изделия, 2012. –№3. - с.2-5.
5. Коваль С., Ситарски М., Абид Н. Оценка эффективности добавок для получения самоуплотняющегося бетона // Вестник национального технического университета «ХПИ» «Химия, химическая технология и экология», Харьков: НТУ. –Вып. №50 (2011). –С. 143-149.
6. Kliger P., Lamond J.F. Significance of test and properties of Concrete and Concrete-making materials //ASTM special technical publication, 1944, 169 s.
7. Internal Curing Using Expanded Shale, Clay and Slate Lightweight Aggregate / Chapter 46 - Lightweight Concrete and Aggregate, American Society of Testing Materials, ESCSI, 2006, 4 s. 8. Jensen O. M., Hansen P. F. A dilatometer for measuring autogenous deformation in hardening portland cement paste // Materials and Structures, 28, 1995. -S. 406-409.