

УДК 626:691.5

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.155.2015.91732>

АЛЮМИНАТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ ДЛЯ РЕМОНТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Инженеры Ю.А. Суханова, Н.Н. Партала, д-р техн. наук А.А. Плагин, д-р-инж. Х.-Б. Фишер

АЛЮМІНАТНІ ЦЕМЕНТИ ДЛЯ РЕМОНТУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Инженеры Ю.А. Суханова, Н.Н. Партала, д-р техн. наук А.А. Плагин, д-р-инж. Х.-Б. Фишер

ALUMINATE CEMENT FOR THE RECONSTRUCTION OF THE HYDRAULIC STRUCTURES

Engineers Yu.A.Sukhanova, N.N.Partala, DSc A.A. Plugin, Dr-Ing. H.-B. Fischer

Выполнен анализ материалов, пригодных для ремонта подводных частей гидротехнических сооружений. В результате этого анализа, а также экспериментальных исследований влияния модифицирующих добавок на сроки схватывания, для разработки ремонтных композитов выбрали глиноземистый цемент.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, подводная часть, бетон, ремонт, алюминатный цемент.

Виконано аналіз матеріалів, придатних для ремонту підводних частин гідротехнічних споруд. В результаті цього аналізу, а також експериментальних досліджень впливу модифікуючих добавок на терміни тужавлення, для розробки ремонтних композитів обрано глиноземистий цемент.

Ключові слова: гідротехнічна споруда, підводна частина, бетон, алюмінатний цемент

Hydraulic engineering constructions counteract the pressure of the water. The analysis of materials suitable for the reconstruction of their underwater parts has been made. There are a lot of composites and methods, but before using them we must take measures for dewatering an affected part of the construction. As a result of this analysis, as well as experimental researches aimed on how modifying additives influence on the setting time, we have chosen an aluminous cement as a base for repair composites that we would like to invent. Aluminous cement is well known quick hardening cement, but at the same time the hardening processes is not fast enough in the conditions of significant filtration. Regulation of setting time can be made by addition of a $Ca(OH)_2$ and C_3A .

Keywords: hydraulic engineering constructions, underwater part, concrete, reconstruction, aluminous cement.

Актуальность темы. Спрос на энергоносители и необходимость решать экологические проблемы в последние годы увеличили интерес к альтернативным источникам энергии, среди которых малые ГЭС (МГЭС). Согласно [1] к МГЭС относятся станции установленной мощностью от 0,1 до 30 МВт с диаметром рабочего колеса гидротурбины не более 3 м. В 60-х на территории Украины эксплуатировалось порядка 1600 подобных станций, но в период увлечения гигантоманией, которая выразилась в строительстве Днепровского каскада ГЭС, и дешевизны ресурсов, большая часть МГЭС были остановлены, оборудование демонтировано. В результате к началу 2010 г. на территории Украины продолжало работать всего около 10 МГЭС, остальные – законсервированы, но, фактически, безнадзорно разрушались (рис.1). Из инженерного опыта, а так же в литературных источниках [4] показано, что наиболее трудноустраняемые повреждения накапливались в подводных конструкциях сооружений.

Стимулирование со стороны государства в виде назначения выгодного

тарифа на покупку электроэнергии, выработанной альтернативными источниками, в т.ч. МГЭС, привело к увеличению числа генерирующих станций за счет расконсервации наиболее хорошо сохранившихся МГЭС. По состоянию на 1 марта 2012 г. в реестре значилось уже 72 действующих МГЭС суммарной мощностью 110 МВт. Это составляет около 24,4 % от потенциальной мощности около 450 МВт, которую можно получить за счет ресурсов малых рек Украины [3]. Дальнейший рост выработки электроэнергии сегментом малой энергетики возможно обеспечить либо путем строительства новых объектов на неосвоенных водотоках (реках Карпат и т.д.) и гидроузлах неэнергетического значения (плотинах, водохранилищах и т.д.), либо реконструкции существующих объектов. В современных условиях высокого риска инвестирования в новое строительство особое значение приобретает ремонт и реконструкция существующих МГЭС. Поэтому перед инвесторами стоит актуальный вопрос по выбору материалов и технологий ремонта, которые обеспечат эффективную экономически выгодную эксплуатацию МГЭС.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

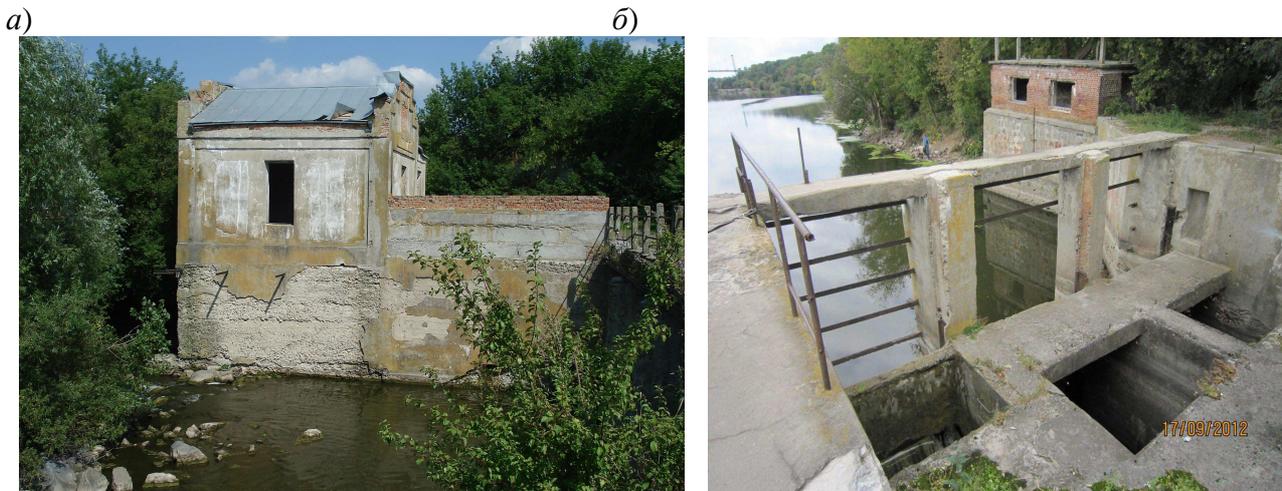


Рис.1 Современное состояние малых гидроэлектростанций: *а* – Новолабуновской на р. Хомора, Хмельницкая обл.; *б* – в г. Житомир на р. Тетерев

Цель работы – выбор вяжущего вещества для разработки композитов для ремонта подводной части гидротехнических сооружений без их осушения.

Анализ условий эксплуатации подводной части гидротехнических сооружений. Главной особенностью работы гидротехнических сооружений является их противодействие напору воды. Под действием градиента напора происходит движение жидкости в бетонном массиве, неизбежно имеющем пассивные трещины и пустоты, из верхнего бьефа гидроузла в нижний бьеф. Движение фильтрационного потока (флюида), по статистике, чаще всего является причиной преждевременного вынужденного ремонта бетонных сооружений. Флюид, в зависимости от химического состава воды, выносит свободную известь (выщелачивание, коррозия I вида) и/или заносит химические соединения, которые кристаллизуются под испаряющей поверхностью или вступают в реакцию с продуктами гидратации цемента с увеличением в объеме и разрушают бетон изнутри (коррозия III вида).

Учитывая градиент напора, ремонтные композиты, применяемые к дефектным граням, должны быть не только прочными и водонепроницаемыми, но и удобоукладываемыми для нанесения непосредственно под водой водолазами, а

также быстротвердеющими, чтобы избежать размыва водой. Свойства композитов в наибольшей степени определяет тип вяжущего, который должен назначаться исходя из условий работы конструкции (причин, вызывающей ее разрушение).

Анализ современных ремонтных материалов, применяемых для ремонта гидротехнических сооружений, в т.ч. т.н. «пенетрирующих», и способов их применения (табл.1) показал, что все они являются композитами, состоящими из цемента или полимера и заполнителей, кремнеземистых наполнителей, химических и полимерных добавок, волокон и т.п. Эти материалы быстротвердеющие, безусадочные, с хорошей адгезией к старому бетону. Их наносят на влажные поверхности, но не в подводных условиях, т.е. при производстве работ вода должна быть отведена, что само по себе является затратным мероприятием.

Для ремонта подводной части сооружений без водопонижения применяют специальные способы работ – ВПТ, ВР, увеличения сечения, затвора-присоса и т.д [2]. Так, т.н. Rescon-метод заключается в закачивании в опалубку эпоксидного компаунда, который, отвердевая, создает на поверхности конструкции водонепроницаемую оболочку. Однако стоимость применяемых при этом

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

материалов и сооружение опалубки существенно удорожает стоимость ремонта.

Таблица 1

Композиты, применяемые для ремонта гидротехнических сооружений

Наименование, торговая марка, производитель материала	Характеристика композита	Способ нанесения
Emaco [®] Fast Fluid; Emaco [®] S66	Безусадочная быстротвердеющая сухая смесь наливного типа (начало схватывания 15 мин.)	На влажную поверхность. Толщина укладки от 10 до 100 мм
Macflow BASF Construction Chemicals	Пластифицированный расширяющийся цемент	На влажную поверхность. Опалубку необходимо покрыть антиадгезивом (Эмульсол ЭМ-1)
Сиолит Т	Сухая цементно-минеральная смесь, (начало схватывания 30-40 мин)	Нанесение торкретированием на влажную поверхность
Sika [®] Injection-451	Эпоксидная инъекционная смола	Мокрым способом на влажную поверхность
SikaWrap [®] -530 C/105 + Sikadur-330	Однонаправленная ткань из углеродного волокна (стекловолокно) + смола для пропитки	
Ceresit CD 22	Крупнозернистая ремонтно-восстановительная смесь	На прочное, сухое основание
Ceresit CX 1	Смесь для устранения протечек воды через трещины, (начало схватывания 1 мин)	На влажную поверхность
Хурех Adi-Con CSF (R)	Сухая кремнеземная химическая добавка с полимерными волокнами	На влажную поверхность

Поскольку для подводных работ необходимо особо быстрое схватывание и твердение композитов, в качестве вяжущего для них обращает на себя внимание глиноземистый цемент (табл.2). Глиноземистый цемент впервые запущен в промышленное производство в 1912 г. во Франции. Это быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, состоящее преимущественно из низкоосновных алюминатов кальция. Прочность 13-суточного камня глиноземистого цемента превышает прочность 28-суточного портландцементного камня.

Причинами, ограничивающими широкое применение глиноземистых цементов, являются дефицитность сырья – высокосортных бокситов, энергоемкость производства, не до конца изученный

процесс фазовых превращений во времени, приводящий к сбросу прочности через длительное время [5]. Введение в алюминатные цементы более 2 % добавок-модификаторов действующей нормативно-технической документацией не предусмотрено [2].

Материалы экспериментальных исследований.

Выполнены экспериментальные исследования влияния добавок-модификаторов на сроки схватывания глиноземистого цемента марки ГЦ40 производства ООО «Спецстрой Харьков». В качестве добавок-модификаторов использовали известь-пушонку $Ca(OH)_2$ и трехкальциевый алюминат C_3A . Сроки схватывания определяли в соответствии с ГОСТ 310.3. При затворении водой и перемешивании

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

отмечали выделение значительно количество тепла. Образцы схватывались и твердели на воздухе. Признаков усадки и трещин на образцах цементного камня (из кольца

прибора Вика) не отмечали. Результаты исследований представлены в табл.3 и на рис.2.

Таблица 2

Физико-механические показатели цемента марки ГЦ40
ДСТУ Б В.2.7-258:2011 (ГОСТ 969-91) и цементного камня на его основе

Наименование показателя	Значение для цемента марки ГЦ40
Пористость [5]	3–3,3 г/см ³
Плотность цементного камня	1600–1800 кг/м ³
Предел прочности при сжатии в возрасте 3 суток	40 МПа
Сроки схватывания:	Боится низких температур
- начало	> 45 мин
- конец	< 12 ч
Водопотребность	24–28 %
Стоек к растворам кальциевых и магниевых солей, слабым растворам органических кислот; малостоек к растворам калиевых, натриевых, аммонийных солей, щелочей. Стоек при высоких температурах 1200–1400°C. При высыхании подвергается значительной усадке. Через 10–20 лет наблюдается снижение прочности до 50 %	

Таблица 3

Результаты исследований влияния модифицирующих добавок на сроки схватывания глиноземистого цемента

№ серии испытаний	Состав смеси, %			Температура среды, °С	Сроки схватывания, мин		Примечание
	ГЦ40	Ca(OH) ₂	C ₃ A		Начало	Конец	
1	80	20	0	20	2,9	8,1	
	70		10		2,8	5,5	
	67,5		12,5		1,4	4,8	
	65		15		1,0	3,2	н/у*
2	90	10	0	20	3,0	13	
	70	30			3,2	8	
3	90	0	10	20	74	нет	
	80	10			1,2	6,6	
	70	20			2,8	5,5	
	60	30			1,8	6	
4	72,5	15	12,5	20	1,7	5,7	
				15	4,3	10	
				13	5,9	14	
				17	4,5	11	

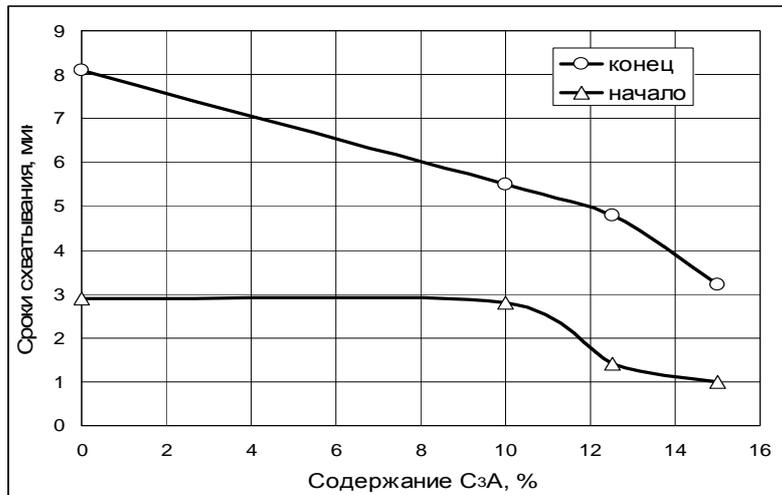
н/у – смесь неудобокладываемая

Выводы и рекомендации. В результате анализа условий эксплуатации подводной части гидротехнических сооружений и современных материалов, применяемых для их ремонта без отводы воды, установлено, что приемлемыми для

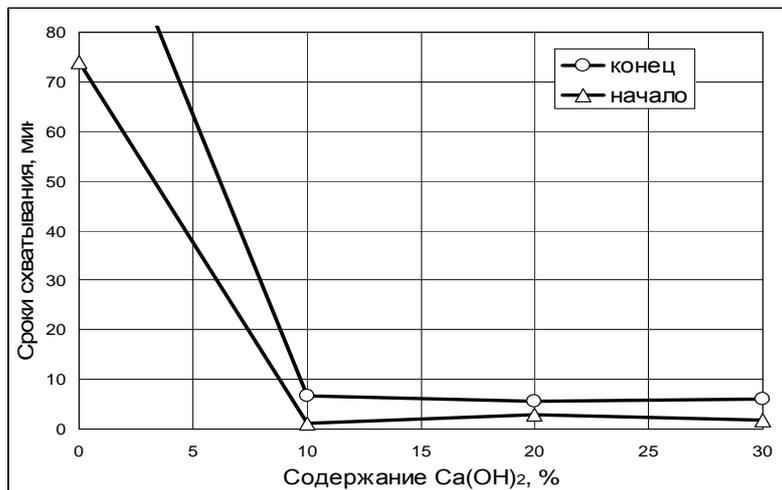
такого ремонта могут быть композиции на основе глиноземистого клинкера, характеризующиеся малыми сроками схватывания, предотвращающими их размыв.

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

a)



б)



в)

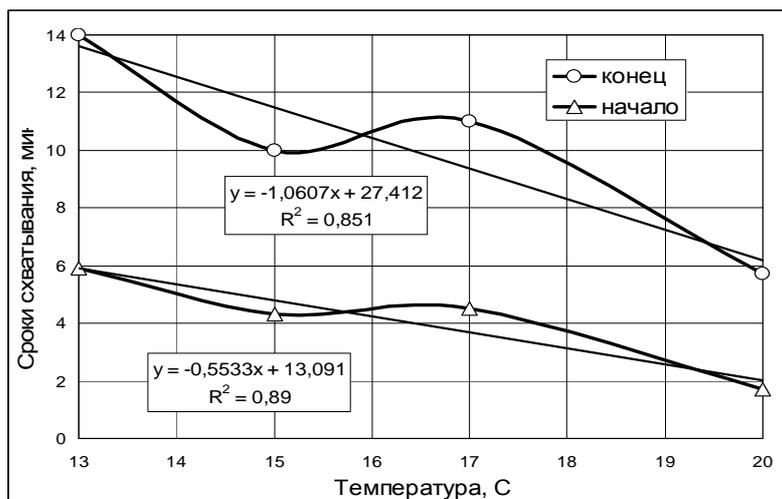


Рис.2 Зависимости сроков схватывания композита на основе глиноземистого клинкера: а – от содержания C_3A при постоянном содержании $Ca(OH)_2$ 20 %; б – от содержания $Ca(OH)_2$ при постоянном содержании C_3A 10 %; в – от температуры окружающей среды при постоянном содержании C_3A 12,5 % и $Ca(OH)_2$ 15 %

Обрані праці 5-ї міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 23–24 квітня 2015 року

В результате экспериментальных исследований установлено, что введение C_3A в композицию на основе глиноземистого цемента, содержащую 20 % $Ca(OH)_2$, обеспечивает снижение сроков схватывания (начала и конца) при 20°C от 2,9 и 8,1 мин до 1,0 и 3,2 мин или в 2,9–2,5 раз. Введение $Ca(OH)_2$ в композицию на основе глиноземистого цемента, содержащую 10 % C_3A , обеспечивает снижение сроков схватывания при 20°C от более 10 мин до 1,8 и 1,6 мин. Т.е. повышение основности композиции на основе глиноземистого

цемента обеспечивает ускорение схватывания в 2,5–2,9 раз и более, а для достижения минимальных сроков схватывания менее 1,5 и 3,5 мин содержание модифицирующих добавок $Ca(OH)_2$ и C_3A должно составлять не менее 10 и 12,5 %, соответственно.

Установлено, что снижение температуры от 20 до 13°C приводит к увеличению сроков схватывания композиций на основе глиноземистого цемента от 1,7 и 5,7 мин до 4,5 и 11 мин, т.е. в 1,9–2,6 раз.

Список использованной литературы

- 1 СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования/ - с.2
- 2 ДСТУ Б В.2.7-258:2011 (ГОСТ 969-91) Цементи глиноземисті та високоглиноземисті. Технічні умови/ - табл.2
- 3 А.В.Яцыка, Малые реки Украины./ Справочник, 1991 г./- с.192
- 4 Пшинько А.Н., Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений/ Днепрпетровск «Пороги», 2000 г// - с.11-37
- 5 А.В.Волженский., Минеральные вяжущие вещества./ Москва 1966 г// - с.379-387

Суханова Юлия Андреевна, ведущий инженер ООО «Гидротехпроект», г. Харьков, Украина; Тел. (095) 0438838., E-mail: jvine@mail.ru

Партала Наталья Николаевна заведующая лаборатории кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинский государственный университет железнодорожного транспорта. Тел.: (057) 730-10-63 E-mail: natabim@mail.ru

Плугин Андрей Аркадьевич, д.т.н., проф., зав. кафедры строительных материалов, конструкций и сооружений Украинский государственный университет железнодорожного транспорта; Тел. (057)730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Фишер Ханс-Бертрам, д-р-инж., Институт строительных материалов им.Ф.А.Фингера, Веймарский архитектурно-строительный университет, Германия; Тел.: +49 (0) 3643 584712, E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Sukhanova Yulia A., leading engineer of design and research institute «Hydrotechproject»; tel. (095) 043 88 38; E-mail: jvine@mail.ru

Partala Natalia M..head of the Laboratory department building materials, structures and buildings Ukrainian State Academy of Railway Transport UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: natabim@mail.ru

Plugin Andrii A., DSc, Prof, Head of Building Materials, Constructions and Structures Dept, UksSURT; Tel. +38 (057)730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua

Fischer Hans-Bertram, Dr-Ing., F.A. Finger Institute for Building Material Engineering, Bauhaus-Universität Weimar Tel.: +49 (0) 3643 584712, E-mail: hans-bertram.fischer@uni-weimar.de

Стаття прийнята 25.05.2015 р