

УДК 691.32;624.15

А.М. Чернухин, к.т.н., НИИСП, Киев

## ПОДБОР СОСТАВА ПЛАСТИЧНОГО БЕТОНА ДЛЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ, ВОЗВОДИМОЙ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

### АННОТАЦИЯ

В статье изложена методика подбора состава пластичного бетона в стационарной лаборатории подрядчика и корректировка его состава непосредственно на строительной площадке.

Результаты лабораторных исследований по подбору пластичного бетона для завесы подтверждены испытаниями образцов, взятыми при бетонировании и вырезанными из построенной завесы.

Ключевые слова: завеса, пластичный бетон, испытания.

Возведение способом «стена в грунте» относительно тонких противофильтрационных завес в грунтовых основаниях различных насыпей, в том числе плотин и дамб с их неравномерными нагрузками на основания как в процессе возведения, так и в период эксплуатации, требует, чтобы материал завес, в том числе и из твердеющих материалов, например, бетонов, был способен деформироваться без образования трещин.

По рекомендации НИИ строительного производства (г.Киев) в основании земляной плотины высотой 30 м, возводимой в зоне с сейсмичностью в 8 баллов по шкале Рихтера, институтом «Укрводпроект» была запроектирована, а итальянской фирмой «RODIO» способом «стена в грунте» построена совершенная бетонная противофильтрационная завеса длиной 610 м. Глубина завесы колебалась от 50 м до 70 м. Толщина на всем протяжении завесы оставалась постоянной и составляла 0,8 м.

Первоначальные требования к качеству пластичного бетона, приведенные в проекте, были заимствованы из рекомендаций, опубликованных в Бюллетене COLD № 51 – 1985, издаваемом Международной ассоциацией по большим плотинам. Применительно к условиям строительства противофильтрационной завесы они были включены в Сборник технических требований (СТТ) [ 2 ].

В соответствии с СТТ пластичный бетон должен приготавливаться из цемента, бентонитового

порошка (разновидность глины), песка и воды. Необходимая пластичность бетона должна была обеспечиваться упомянутыми материалами без применения пластификаторов бетона.

В соответствии с СТТ качество пластичного бетона определялось его свойствами, которые на 90-й день твердения образцов во влажной среде при температуре не выше 25°C должны были характеризоваться следующими показателями::

- относительной деформацией, измеренной на приборе трехосного сжатия при боковом давлении 100 кПа, не менее 10%;
- модулем деформации не более 40 МПа;
- коэффициентом фильтрации не более  $K_f < 1,1 \cdot 10^{-8}$  м/с;
- прочностью при одноосном сжатии не менее 0,4 МПа.

При этом к раствору пластичного бетона перед укладкой в конструкцию завесы добавлялись технологические требования, обусловленные способом его укладки в глинистый раствор по вертикально перемещающейся трубе (метод ВПТ). Подвижность свежеприготовленного раствора пластичного бетона в течение часа должна была находиться в пределах 18 – 21 см.

При проведении международной экспертизы проекта, которую выполняли французская фирма «БРЖМ/ЭДФ» и фирма «РОДИО» (подрядчик по предполагаемому строительству завесы), приведенные выше требования к качеству пластичного бетона возражений не вызвали.

Подбор состава пластичного бетона осуществлялся подрядчиком – итальянской фирмой «РОДИО» [3].

Известно, что фирма «РОДИО» специализируется на строительстве уникальных подземных и заглубленных в грунт сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Например, параллельно с исследованиями по подбору составов пластичного бетона для настоящей завесы она подбирала состав бетона для строительства способом «стена в грунте» ограждающих стен строительного котлована Национальной библиотеки Египта, строящейся в г. Александрия под эгидой ООН.

Строительная лаборатория фирмы оснащена самым современным оборудованием.

Методика подбора состава пластичного бетона, примененная в этой лаборатории, может быть полезна и для отечественных строителей.

Подбор состава пластичного бетона для противофильтрационной завесы в основании земляной плотины был начат за полгода до предполагаемого начала строительства

В исследованиях применялись:

- портландцемент марки С.Р.А. 55 (NF-p15.301) цементного завода г. Бизерта, у которого тонкость помола составляла 3600 см<sup>2</sup>/г;

- бентонит типа IS из Алжира, у которого число пластичности варьировалось в пределах от 200 до 800 ;

- песчаная смесь, состоящая из песка речного окатанного с размером фракций 0,5 мм до 1 мм и дробленого ( отсева щебня) с размером фракций от 1 мм до 2 мм ;

- вода пресная с РН=7,5, в которой сухой остаток солей составлял не более 330 мг/л, в том числе сульфатов было в ней не более 44,16 мг/л.

Технология приготовления пластичного бетона в лаборатории была следующей.

Составляющие бетона в заданных программой исследований соотношениях добавлялись в воду, полученная бетонная смесь перемешивалась в течение 10 мин, после чего разливалась в формы цилиндров высотой и диаметром по 15 см .

После выдерживания во влажной среде в течение 7,14,28 и 90 дней образцы бетона испытывалась на приборе трехосного (стабилометрах) сжатия.

Прибор трехосного сжатия состоял из нескольких блоков (рис.1): главный блок — это одометр с прозрачными стенками, в который помещался ис-

пытываемый образец бетона с предварительно одетым на него резиновым чехлом для исключения проникания в образец воды, создающей боковое давление, блок, включающий пресс, который создавал вертикальную нагрузку на образец с заданной скоростью в пределах от 0,013 мм/мин до 0,05 мм/мин, и устройство для подачи воды в торец образца с необходимым напором при определении его водонепроницаемости; гидроблок, обеспечивающий подачу воды в одометр для создания бокового давления на образец величиной от 100 кПа до 300 кПа.

Вертикальная нагрузка на бетонный образец в приборе трехосного сжатия возрастала при различных скоростях движения поршня пресса.

Основная часть исследований проводилась при максимальной скорости 0,05 мм/мин и прекращалась, как только в образце появлялись трещины, и он начинал разрушаться. При меньшей скорости приложения нагрузки, равной 0,013 мм/мин, трещины появлялись, когда относительная деформация такого же точно образца бетона оказывалась на 20 — 25 % большей. Интересно отметить, что уменьшение скорости приложения вертикальной нагрузки в указанном диапазоне увеличивало относительную деформацию бетона на величину, эквивалентную возрастанию бокового давления на образец примерно на 100 кПа.

На рис. 2 показаны типичные графики испытания бетонных образцов на приборах трехосного и одноосного сжатия после их выдерживания в тече-

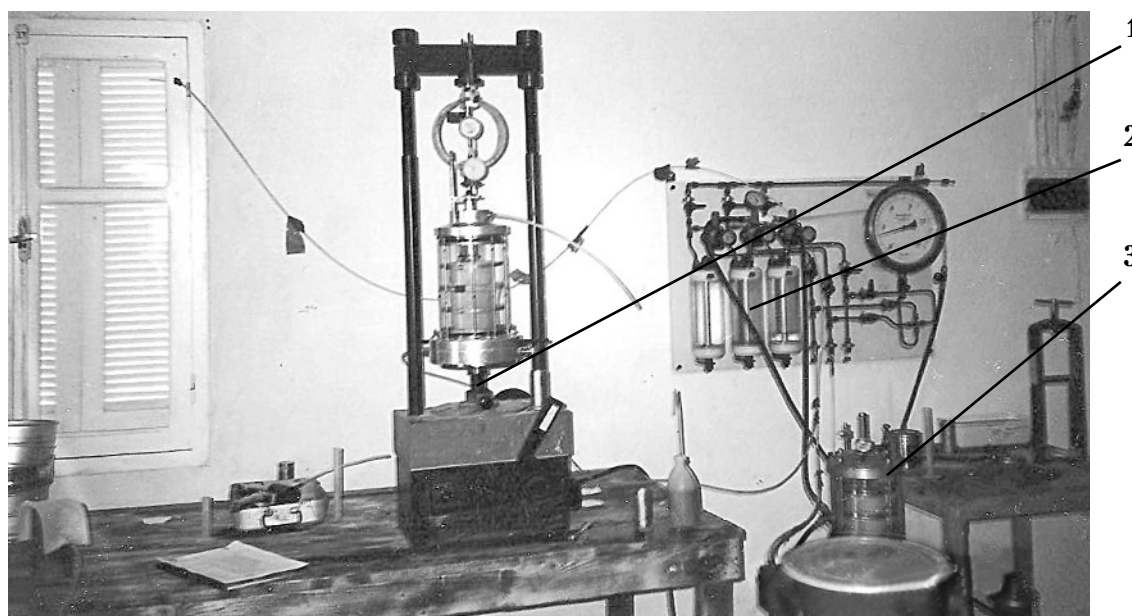


Рис.1. Прибор трехосного сжатия: 1 – прибор трехосного сжатия EL25-302/1 на 110 кН; 2 – гидравлическая система; 3 – фильтрационный прибор

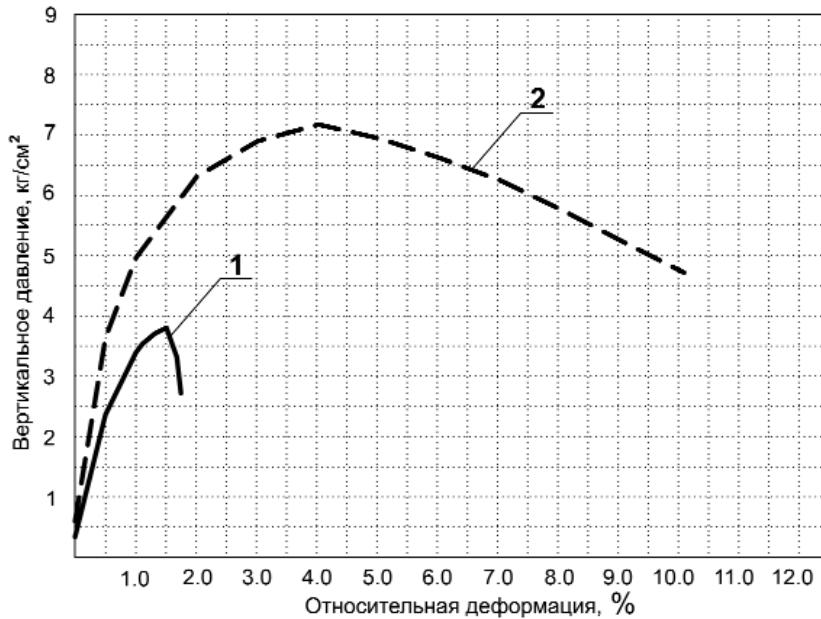


Рис. 2. Графики испытания пластичного бетона М4-тер после 28-дневного твердения на приборах: 1 – одноосного; 2 – трехосного сжатия

ние 28 суток во влажной среде и температуре наружного воздуха 20°С.

Анализ графиков показывает, что относительная деформация, определенная на приборе трехосного сжатия при боковом давлении 100 кПа на момент разрушения, оказалась в 2,6 раза больше чем та же деформация при одноосном сжатии. При этом появление трещин в образце было зафиксировано при давлении в 1,9 раза больше чем при одноосном сжатии.

Методика приготовления бетона при подборе состава бетона в лабораторных условиях была следующей.

Вначале в бетономешалку заливали 1000 л воды, а затем в воду в заданных в опыте соотношениях добавляли цемент, глину и песок до тех пор, пока раствор не приобретал подвижность в 18 – 21 см.

В проведенных опытах количество составляющих в бетоне по отношению к воде варьировалось в следующих пределах: цемента (Ц/В) – 0,17 до 0,3, т.е.изменение составило 1,76 раза; песка, состоящего из окатанных и дробленых фракций (П/В) – от 1,5 до 3,72, т.е изменение составило 2,48 раза; бентонита (Б/В) – от 0,06 до 0,215, т.е. изменение составило 3,58 раза (причем часть бентонита вводилась в бетономешалку после суточного выдерживания в воде).

Приведенные пределы варьирования составляющими показывают, что для достижения необхо-

димых пластических деформаций бетона исследователи изменяли преимущественно количественное содержание бентонита.

К началу строительства завесы в лабораторных условиях было приготовлено 40 составов пластичного бетона и испытано около 480 образцов. При этом исполнители работы при назначении количества составляющих в бетоне использовали метод целенаправленного поиска, а не метод планирования экспериментов, который позволил бы сократить число опытов.

Лучший из исследованных составов пластичного бетона бетон марки М4-тер при боковом давлении 200 кПа показал относительную деформацию всего в

5,58%, что оказалось почти в два раза меньше требований СТТ [2].

В сложившейся ситуации проектным бюро принято решение проверить необходимость придерживаться принятых в СТТ требований к пластическим деформациям бетона на физической модели с учетом данных, полученных при последних инженерно-геологических изысканиях, выполненных по оси завесы, которые существенно отличались от тех, которыми руководствовались при разработке проекта.

Исследования, выполненные на физической модели противодиффузионной завесы в институте ВНИИВОДГЕО (г.Москва), показали, что «горизонтальные смещения верхней части завесы при боковом давлении на завесу более 200 кПа, создаваемом весом плотины высотой 30м, и ускорении сейсмических колебаний, отвечающим сейсмичности района строительства в 8 баллов, не превысят 4,4% от ее толщины».

Результаты исследований позволили снизить деформационные требования к качеству пластичного бетона, заложенные в СТТ, и согласиться с допустимостью применения в конструкции завесы пластичного бетона с показателями бетона марки М4-тер, который имел значительный запас по показателю прочности. Последнее обстоятельство позволяло уже в условиях строительной площадки увеличить в нем содержание бентонита с 65 кг/м<sup>3</sup>

до 81 кг/м<sup>3</sup> и уменьшить количество цемента с 90 кг/м<sup>3</sup> до 85 кг/м<sup>3</sup>.

Новому составу пластичного бетона присвоили марку МС-3.

Состав бетона марки МС-3 приведен в таблице 1.

Перед укладкой в завесу этот состав должен был пройти проверку приготовления и укладки в конструкцию завесы на опытных участках (панелях). К началу работ по бетонированию для состава бетона марки МС-3 имелись данные измерений его свойств только на 7-й день твердения. По этим данным был составлен прогноз изменения его деформационных свойств на 90-й день, как требовалось по утвержденному проекту в СТТ. При составлении прогноза были использованы закономерности изменения во времени деформационных свойств бе-

тона марки М4тер, по которому были известны результаты изменений деформационных показателей свойств бетона на протяжении всех 90 дней.

В соответствии с прогнозом на 90-й день твердения относительная деформация бетона при боковом давлении на образец в 200 кПа могла достичь 6,58%, что было больше максимальных смещений верхней части будущей завесы, определенной институтом ВНИИВОДГЕО.

За окончательные производственные показатели деформационных свойств пластичного бетона были приняты такие:

- относительная деформация на 90-й день твердения при боковом давлении 200 кПа должна была составлять не менее 5,5 %;
- модуль деформации — не более 400 кПа;

- прочность и коэффициент фильтрации оставались в пределах требований СТТ.

За подвижностью бетона, укладываемого в конструкцию завесы, а также за условиями хранения бетонных образцов во влажной среде и температуре не выше 25°С осуществлялся постоянный контроль.

Для получения оперативных сведений об изменении свойств бетона, уложенного в завесу во времени, требовалось из каждых 30 м<sup>3</sup> укладываемого бетона отбирать по 6 образцов. При объеме панели 300 м<sup>3</sup> отбиралось 60 образцов. Такого количества образцов было достаточно для выполнения всех видов испытаний, проводимых на 7, 14, 28 и 90 дни хранения и для передачи заказчику для длительного хранения.

Промежуточные результаты испытаний образцов бетона марки МС-3, взятые при бетонировании первых 24 панелей, показаны на рис. 3. Испытания проводились на приборе трехосного сжатия при боковом обжатии образцов в 200 кПа, и скорости приложения вертикальной сжимающей нагрузки — 0,05 мм/мин.

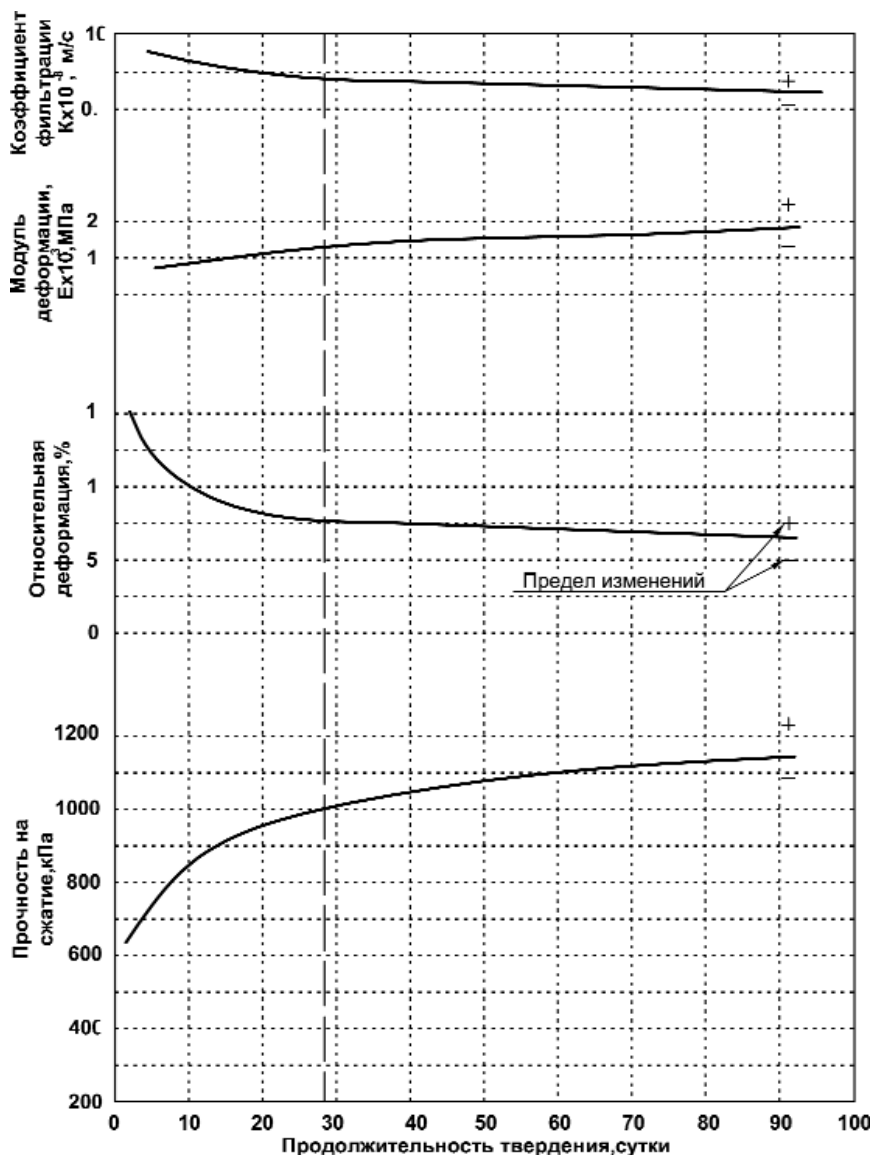


Рис. 3. Промежуточные результаты лабораторных испытаний пластичного бетона МС-3, уложенного в первые 24 панели при  $\sigma_3=200$  кПа,  $V_{ит}=0,05$  мм/мин

Таблица 1. Состав пластичного бетона марки МС-3

Составляющие	Количество составляющих, кг, из расчета на	
	1000 л воды	1 м <sup>3</sup> бетона
Вода	1000	415
Цемент	210	85
Бентонит в воде	100	41
Бентонит сухой	100	40
Песок окатанный	2600	1053
Песок дробленый	940	381
Общий вес	4950	2015

Из графиков следует, что в промежутке между 28 и 90 сутками твердения пластичного бетона коэффициент фильтрации практически не изменялся и составил около  $0,5 \times 10^{-8}$  м/с, модуль деформации увеличился с 12 МПа до 18 МПа, относительная деформация снизилась с 7,5% до 6,4%, прочность повысилась с 1 МПа до 1,12 МПа.

После завершения строительства завесы из 10 ее панелей (6% от их общего количества в завесе) были вырезаны монолиты размером приблизительно 35X35X35 см. На специальных амортизирующих подкладках эти монолиты автокарами были доставлены в строительную лабораторию. В лаборатории из монолитов были вырезаны цилиндрические образцы, которые были испытаны на приборе трехосного сжатия.

Таблица 2. Относительная деформация бетона марки МС-3, полученная при испытании образцов, вырезанных из панелей завесы

Номер панели	Срок твердения, сут.	Относительная деформация, %
60	140	6,53
92	100	9,73
1	100	5,45
117	97	6,54
121	96	5,12
115	90	7,27
128	60	11,36
137	66	9,40
147	70	6,65
157	40	7,23

Результаты испытаний образцов бетона марки МС-3, взятого из 10 панелей завесы, приведены в табл.2.

Данные таблицы показывают, что относительная пластическая деформация первых шести образцов бетона, которые были взяты из завесы на 90-й день после укладки, составила 6,77%, что оказалось выше относительной деформации пластичного бетона, как по прогнозу, так и принятого к производству. Относительная деформация остальных четырех образцов, срок твердения которых в завесе не достиг 90 -дневного возраста, укладывался в прогнозируемые показатели.

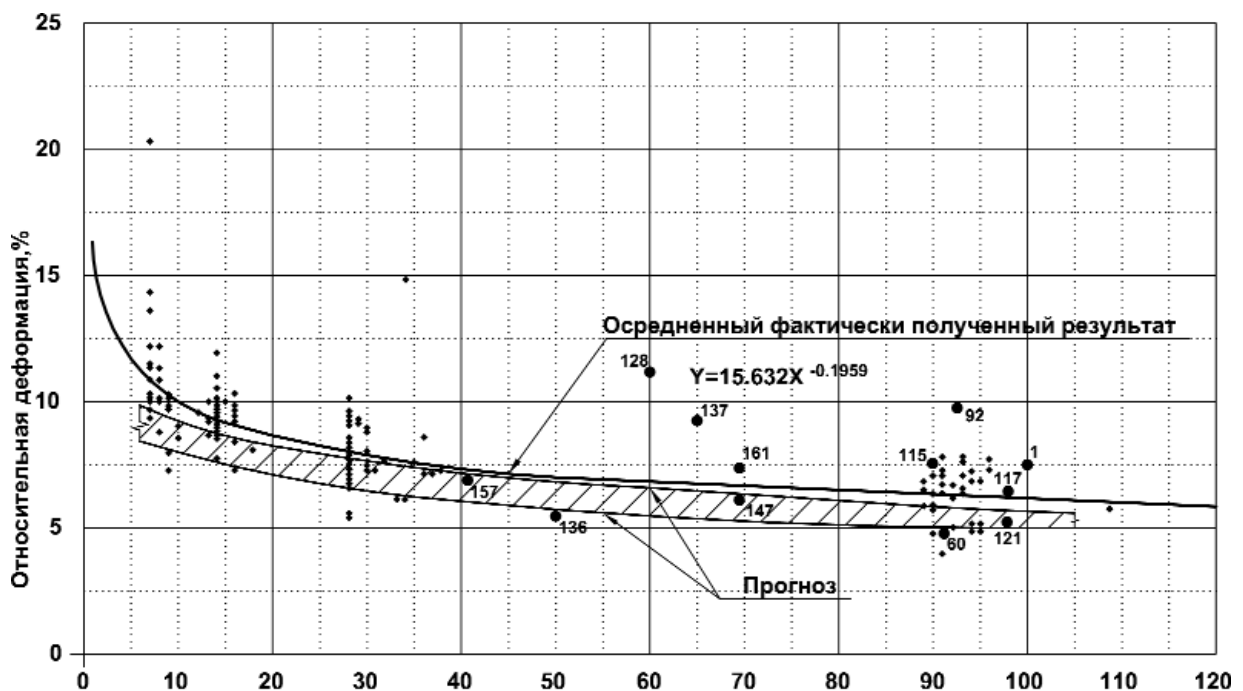


Рис. 4. Изменение во времени относительной деформации бетона МС-3, фактически полученной по пробам раствора, взятым при бетонировании  $\blacklozenge$  и монолитам, взятым из тела завесы  $\bullet$ , и по прогнозу  $\text{шaded}$

На рис. 4 приведены результаты измерений относительной деформации пластичного бетона марки МС-3 во времени, определенные по образцам бетона, взятым при бетонировании и вырезанным из тела завесы. Из рисунка видно, что кривая, характеризующая осредненный результат измерений относительной деформации, проходит выше прогнозируемых и принятых к производству показателей.

Всего в завесу, имеющую площадь напорного фронта 32868,3 м<sup>2</sup> и состоящую из 165 секций, за 11 месяцев в период с 2.10.96г по 01.09.97 г. было уложено 27 000 м<sup>3</sup> бетона, из которого было отобрано 5400 образцов бетона для испытаний, из них около 1000 передана заказчику на длительное хранение.

Наблюдения за балансом воды в водохранилище, проводимые в течение последних 12 лет со дня полного заполнения его водой, подтвердили противифльтрационную надежность завесы, построенной способом «стена в грунте», в качестве противифльтрационного материала которой был применен пластичный бетон состава МС-3.

В результате проведенных исследований удалось получить пластичный бетон состава МС-3, который по результатам испытания образцов, взятых на 90-й день после укладки его в завесу, отвечал следующим показателям: коэффициент фильтрации составил  $0,5 \times 10^{-8}$  м/с, относительная деформация при боковом давлении на образец 200 кПа составляла 6,77%, модуль деформации — 18 МПа, прочность на одноосное сжатие — 1,12 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Чернухин А.М. *Строительство противифльтрационной завесы глубиной 70 м. // Строительное производство. 1999. – №.40. – С.3.*

2. *Плотина Сиди эль Беррак в Тунисской республике. Земляная плотина. Противифльтрационные мероприятия. Укрводпроект. – Киев, 1995.*

3. Чернухин А.М. *Предварительный отчет о реализации проекта противифльтрационной завесы (ПФЗ) в основании плотины Сиди эль Беррак в Тунисской республике. – Октябрь, 1997.*

4 *Rapport technique end final. ESSAIS DE LABORATOIRE SUR MORTIERS PLASTIQUES. September – October, RODIO.1996 j.*

#### АНОТАЦІЯ

У статті наведена методика підбору складу пластичного бетону в стаціонарній лабораторії підрядника, та коригування його складу безпосередньо на будівельному майданчику.

Результати лабораторних досліджень із підбору пластичного бетону для завіси підтверджені випробуваннями зразків, узятих при бетонуванні та вирізаними із збудованої завіси.

Ключові слова: завіса, пластичний бетон, випробування.

#### ANNOTATION

In this article described the technique of composition selection of plastic concrete in contractors fixed laboratory and correction of it's composition directly on the building site.

The results of laboratory researches on composition selection of plastic concrete for the ground water cutoff proved by the test of samples, taked during the installation of cutoff and cuted from the monoliths of builded cutoff.

Keywords: cutoff, plastic concrete, test.