

DOI: 10.34031/2618-7183-2021-4-2-19-28

Тарек С.С., аспирант,
Толстиков В.В., кандидат технических наук,
Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия

*Ответственный автор E-mail: sohaib85sabah@gmail.com

МИРОВОЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЛОТИН ИЗ ОСОБО ТОЩЕЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Аннотация: в статье рассмотрены основные аспекты строительства плотин симметричного профиля из материала «твёрдая насыпь» или другие названия («тощий» бетон, цементированная «песчано-гравийная смесь» CSG). Рассматриваются конструкции типовых профилей плотин уже осуществлённых проектов, и приводятся сведения, касающиеся характеристик и методов производства данного материала. Рассмотрены основные свойства этого материала и принцип его получения. Проанализированы работы в этой области инженеров из России, Японии, Ирана, Кореи, Китая, и Турции. Эти конструкции плотин характеризуются высокой надёжностью и экономичностью, но и, главное, намного большей технологичностью или высокой скоростью строительства, мало зависящей от местных природных факторов, чем традиционные плотины из укатанного бетона.

Ключевые слова: гравитационные плотины, укатанный бетон (УБ), укатанный бетон с высоким содержанием вяжущих (RCC), особо тощий укатанный бетон или твёрдая насыпь (cemented sand and gravel-CSG)

Введение

Идея «твёрдой насыпи» – особо тощего укатанного бетона (расход цемента 50 кг/м^3) была предложена в 1992 г. П. Лонде, который в то время занимал пост президента Международной комиссии по большим плотинам [2, 14]. Особо тощий укатанный бетон представляет собой жёсткую бетонную смесь с пониженным содержанием цемента ($50 \div 60 \text{ кг/м}^3$) и повышенным содержанием пуццоланы (зола – уноса), уплотняемую вибрационными катками [7, 12]. С тех пор новый тип плотины из материала «твёрдая насыпь» получил все большее распространение благодаря своей дешевизне, лёгкости производства и минимальному воздействию на окружающую среду [5]. Наибольшее распространение данный тип плотин получил в Японии, где уже накоплен достаточно большой опыт строительства, который можно использовать при строительстве плотин в других странах [6, 12, 16].

Методы и материалы

Преимущества строительства плотины из материала «твёрдая насыпь»

1. Возможность строительства на слабом основании.
2. Гибкость (податливость) материала снижает неравномерность осадок.
3. Меньшее содержание цемента, уменьшает стоимость.
4. Меньшее количество цемента ведёт к уменьшению температурных напряжений.
5. Касательные напряжения почти вдвое меньше, чем в обычных гравитационных плотинах.
6. В качестве заполнителя можно использовать местные материалы.
7. Уменьшения объёма дробления и сортировочных работ.
8. Нет необходимости в строительстве большого бетонного завода.
9. Высокая скорость возведения из-за отсутствия необходимости обработки «холодных швов» и технологии возведения как обычных земляных плотин.
10. Для плотин из твёрдой насыпи водонепроницаемость обеспечивается за счёт создания верховой грани из традиционного бетона или покрытием полимерной плёнкой.
11. Низкая жёсткость является следствием ограниченной прочности на одноосное сжатие твёрдой насыпи.
12. Минимальное воздействие на окружающую среду.

Мировой опыт строительства гравитационных плотин из материала «твёрдая насыпь»

На основе оправдавшегося опыта строительства плотин из традиционного укатанного бетона предлагаются новые конструктивные решения, и совершенствуются старые. Первая концепция моделей конструкций гравитационной плотины из особо тощего укатанного бетона базировалась на увеличение площади контакта, с целью улучшения условия устойчивости путём дополнительной перегрузки водой

водохранилища верховой наклонной грани сооружения [1, 3]. Гравитационные плотины из УБ с вертикальной напорной гранью, высотой более 50÷60 метров, нельзя строить на полускальных и грунтовых основаниях. Эти ограничения преодолеваются переходом на симметричный профиль плотин из особо тощего УБ, без обработки швов УБ и с устройством на верхнем откосе железобетонного или синтетического экрана после возведения плотины на рис. 1.



Рис. 1. Типовой профиль плотины из hard fill («твёрдая насыпь»)
Fig. 1. Typical dam profile from hard fill («Solid embankment»)

В книге Ю.П. Ляпичева расчёты таких плотин симметричного профиля высотой от 30 до 100 м с заложением откосов 0,5÷0,7 показали их высокую сейсмостойкость и технико-экономическую эффективность по сравнению с обычными плотинами из УБ не только на скальных, но и особенно на нескальных (грунтовых) основаниях [8, 13]. В настоящее время новые конструкции симметричных плотин из УБ получают все большее распространение в ряде стран мира. В табл. 1 перечислены уже построенные [4].

Таблица 1

Плотины из твёрдой насыпи, построенные в разных странах [4].

Table 1

Solid dams built in different countries [4].

Плотина	Страна	Высота (м)	Длина (м)	Объем м3х1000	Откос граней	
					Верховой	Низовой
Marathia	Греция	26	265	33	0.50:1	0.50:1
Ano Mera	Греция	32	150	45	0.50:1	0.50:1
Contraembalse de Monción	Доминик. Республика	20	254	155	0.70:1	0.67:1
Ойюк	Турция	100	121.2	470	0.70:1	0.70:1
Cindere	Турция	107	281	1680	0.70:1	0.70:1
Can-asujan	Филиппины	25	136	-	-	-

В Японском варианте этот материал называется CSG (cemented sand and gravel) – цементированная песчано-гравийная смесь. Так же к строительству намечен ряд плотин из данного материала, к ним относятся плотина Пападиана (108 м, Греция), Кахир (53 м, Иран). Также рассматривались варианты строительства Юмагузинской плотины (65 м) в России из «твёрдой насыпи», но из-за недостатка информации об этом материале был предпочтён вариант каменно-набросной плотины, и Ituango (180 м) в Колумбии на скальном основании в сейсмическом регионе также рассматривалось строить из «тощего» бетона, но по той же причине предпочтение было отдано варианту каменно-набросной плотины с ж/б экраном. Технология приготовления смеси CSG представлена на рис. 2 где показаны первичный и вторичный кавальеры, необходимые для начального перемешивания и отбора крупных фракций, установка для добавления в песчано-гравийный материал цемента и воды и установка для перемешивания полученной смеси [15].



Рис. 2. Технологическая схема производства смеси CSG:
1 – Бульдозер; 2 – Колёсный погрузчик; 3 – Экскаватор; 4 – Автосамосвал [15]
Fig. 2. Flow chart for the production of CSG mixture
1 – Bulldozer; 2 – Wheel loader; 3 – Excavator; 4 – Dump truck

Примеры симметричных плотин из материала «твёрдая насыпь»

Плотина Нагашима. Первым примером является сооружение верховой перемычки (высота 14,9 м, объем = 22900 м³) для плотины Нагашима в 1991 году. Затем были построены другие перемычки для плотин Surikamigawa, Chubetsu, Kubusugawa на рис. 3 (а), Токуяма и Такизава. Первым постоянным сооружением, построенным с применением метода цементированной ПГС стала плотина Окукуби, высотой 29 м на рис. 3 (б). Также одной из первых постоянных сооружений данного типа стала регулирующая дамба высотой 34 м в верховой части водохранилища Nagashima на рис. 4.

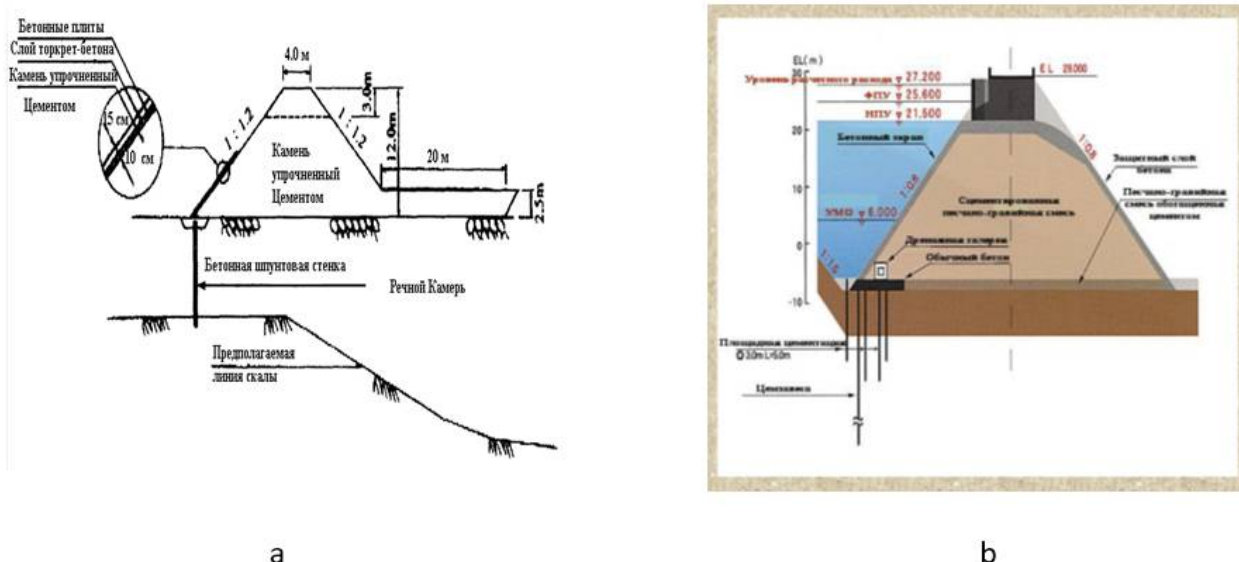


Рис. 3. Поперечный разрез верховой перемычки плотины (а) Kubusugawa и (б) Okukubi
Fig. 3. Cross section of the upper lintel of the dam (a) Kubusugawa and (b) Okukubi

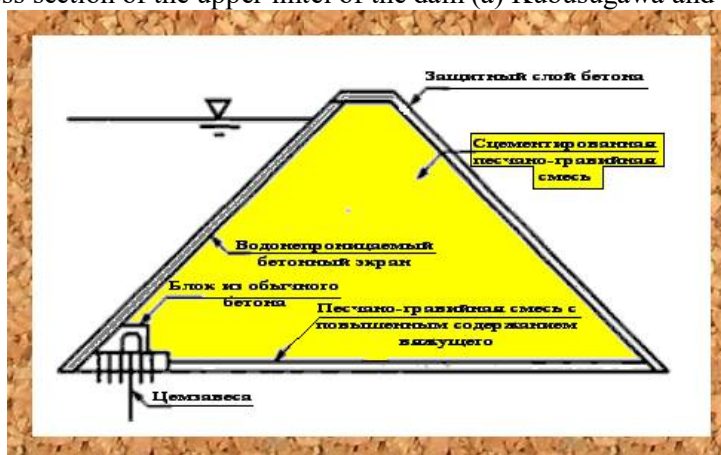


Рис. 4. Поперечный разрез плотины Nagashima
Fig. 4. Cross section of the Nagashima Dam

История строительства плотин CSG в Японии в хронологическом порядке представлена в табл. 2, где показано, как этот процесс развивался начиная с 1992 г. От перемычки на гидроузле Нагашима плотины Окукуби ,пострукции в 2011 г. [15].

Таблица 2

Примеры использования материала CSG в строительстве в Японии [15]

Table 2

Examples of the use of CSG material in construction in Japan [15]

Название плотины	Сооружение, построенное методом CSG	Год строительства	Объем тела (м3)	Высота (м)	Длина по гребню (м)	Тип заполнителя	Примечания
Нагашима	Верховая перемычка	1992	22900	14.9	86.5		
Чубетсу	Верховая перемычка	1994	2376	4	60	Речной гравий	Впервые использовался метод CSG
Кубусугава	Верховая перемычка	1994	13650	12	76.5	Речной гравий	
Суриками-гава	Верховая перемычка	1995-1996	14500	21.5	115	Речной гравий	
Уназуки	Укрепление откоса	1995-1997	5000	3	300	Отработанный грунт из карьера	
Кавабе	Дорога к телу плотины	1998		11.5	38.2	Речной гравий	
Нагашима	Работы по контролю фильтрации	1999	23100	33	127	Скала, вынутая из основания	
Хаизука	Наносорегулирующая дамба	2000	19500	13.5	100	Речной гравий	
Накакобо	Верховая перемычка	2002	4600	7.6	66.5	Речной гравий	
Хироками	Верховая перемычка	2002	2500	6.5	38	Скала, вынутая из основания	
Икирики	Вспомогательная плотина Kawai	2004	3300			Речной гравий	трапециевидной плотины CSG
Kasegawa	Верховая перемычка	2009-2010	Около 68000	29.3	115.2	Скала, вынутая из основания	Трапециевидная плотина из CSG
Тобетсу	Вспомогательная плотина	2009-2010	813000	52	432	Отработанный грунт из карьера	Трапециевидная плотина из CSG
Окукуби	Тело плотины	2010-2011	339000	39	400	Речной гравий	Трапециевидная плотина из CSG

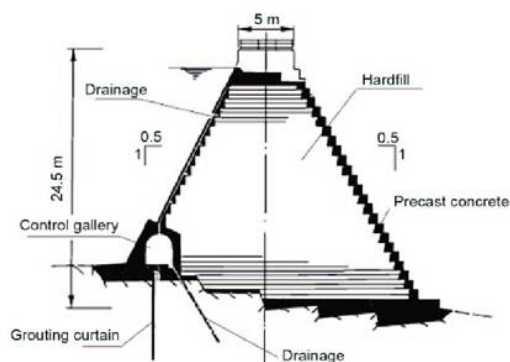
Плотина Marathia (Греция) высота плотины 26 м. Длина плотины по гребню 265 м. Она построена в 1992 г. в северо-западной части острова Мешконос в пятистах метрах от моря и с тех пор при наполненном ВБ работает надёжно рис. 5 (а) и (б).

Плотина Contraembalse de Moncion (Доминиканская Республика)

Водосбросная плотина Moncion высотой 28м была построена в 1996 г. в Доминиканской Республике и работает надёжно. Плотина расположена на слабом песчаном основании и поэтому имеет симметричный профиль с заложением откосов 0,7 рис. 6 (а) и (б).



a

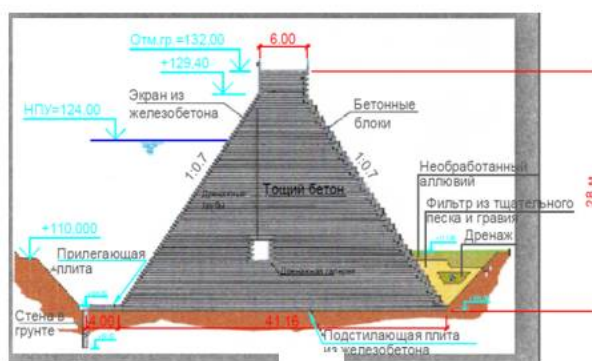


b

Рис. 5. (а) Плотина Marathia и (б) Поперечный разрез плотины Marathia
Fig. 5. (a) Marathia Dam and (b) Cross section of the Marathia dam



a



b

Рис. 6. (а) Плотины Contraembalse de Moncion и (б) Поперечный разрез секции плотина
Fig. 6.(a) Dam Contraembalse de Moncion and (b) Cross section of the dam section

Плотины Оуук и Синдере (Турция)

В 2003 г. В Турции начато строительство симметричной плотины Ойюк из особо тощего УБ высотой 100 м, длиной по гребню 212 м с заложением откосов 0,7. На гребне плотины размещён регулируемый водослив шириной 12 м, расположенный под углом 73 к оси плотины с тем, чтобы лоток водослива был параллелен оси русла реки как показано на рис. 10. Плотина расположена в районе 9-бальной сейсмичности и рассчитана на воздействие максимально возможного землетрясения (МВЗ) с ускорением 0,4g и эксплуатационного расчётного землетрясения 0,24g. Профиль плотины рис. 7 с заложение откосов 0,7 выполнены из тощего УБ (с расходом цемента 50 и золы-уноса 100 кг/м³) за исключением нижних 7 м из обычного бетона и низовой грани призмы из УБ-3 высотой 18 м.

Плотина Синдере – первая плотина из тощего бетона с низким содержанием цемента (50 кг / м³ Портленд цемент + 20 кг/м³ летучей золы = 70 кг/м³ цемента) в Турции. Строительство длилось с 2002 по 2007 года. Плотина запроектирована симметричного профиля с заложением верхового и низового откоса 0,7:1. Плотина Синдере, с объёмом водохранилища 84,3 км³, высотой 107 м от основания, длиной по гребню 281 м, является самой высокой плотиной в мире такого типа. Объём бетона 1680000 м³ из которых 1500000 м³ тощий бетон и 180000 м³ обычный бетон рис. 8 (а) и (б). Свойства материалов, уложенных тело плотины, представлены в табл. 3.

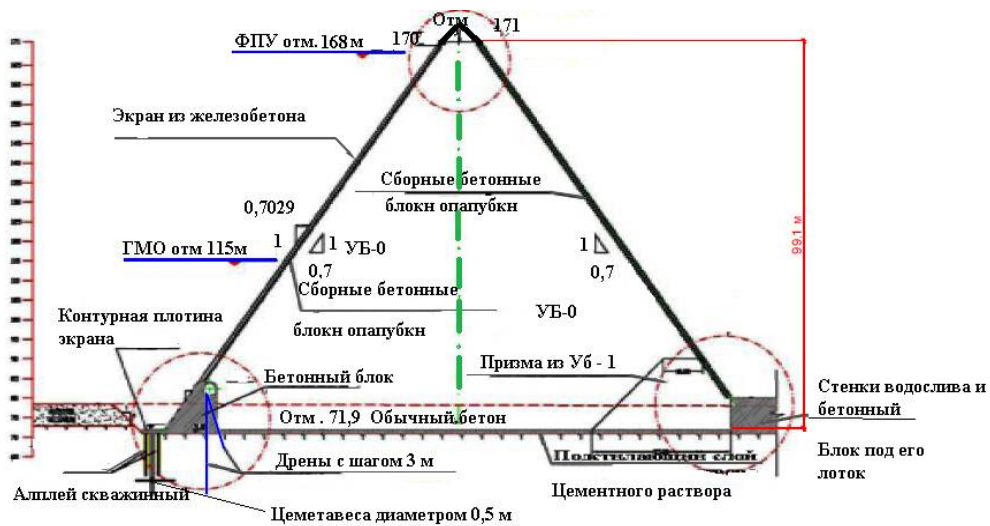
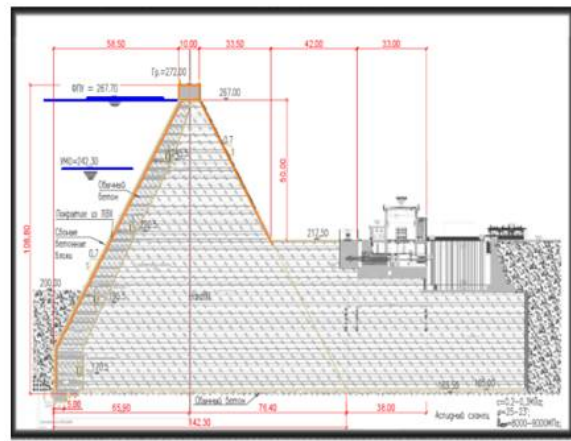


Рис. 7. Поперечный разрез плотины Ойюк
Fig. 7. Cross section of the Oyuk dam



a



b

Рис. 8. (а) Плотина Синдере и (б) Поперечный разрез Синдере
Fig. 8. (a) Cindere Dam and (b) Cross section of Cindere

Таблица 3

Расчётные свойства материалов плотины Синдере

Table 3

Design Properties of Cindere Dam Materials

Материал	Прочность на сжатие (МПа)	Прочность на растяжение (МПа)	Сцепление (МПа)	Угол внутреннего трения (Градусы)	Общее содержание цемента
Тощий бетон	6.0	0,6	0,8	45	70(50+20)
Бетон выравнивающего слоя	14.0	1,4	2.0	37	250
Бетон напорной грани	10.0	1.0	1.5	37	160
Строительный из-вестковый раствор	7.0	0.7	1.0	40-45	300
Сборные элементы	30.0	3.0	4.5	37	350

Плотина Кахир (Иран)

Плотина Кахир будет первой симметричной плотиной из тощего бетона, построенной в Иране. Высота плотины 53 м, ширина по гребню – 4 м, длина по гребню – 370 м. Заложение откосов 1:0,7. Роль противофильтрационного элемента в плотине играет верховая грань из вибрированного бетона, толщиной Свойства материалов плотины в табл. 4, $t=0,3+0,00235H$ (м). Объем бетона – 510000 м³. В настоящее время построено порядка 5÷7 плотин из твёрдой насыпи рис. 9.



Рис. 9. Поперечный разрез типовой секции плотины Kahir
Fig. 9. Cross section of a typical section of the Kahir dam

Таблица 4

Свойства материалов плотины Kahir

Table 4

Kahir Dam Material Properties

Свойства материала	Симметричная плотина			Гравитационная (треугольная) плотина	
	Бетон	Тощий бетон	Основание	Тело плотины	Основание
Модуль деформации E (МПа)	28000	5000	3000	24000	11000
Коэфф. Пуассона	0,167	0,25	0,30	0,20	0,30
Удельный вес (кг/м ³)	2400	2200	---	2400	---

Свойства материала плотины из материала «твёрдая насыпь»

Материал «твёрдая насыпь» является результатом добавления небольшого количества цемента (50÷80 кг/м³) в практически необработанный речной гравий или другой материал, находящийся недалеко от строительной площадки, и перемешанный простыми механизмами. Так как прочностные требования к этому материалу ниже, чем к материалу в плотине RCC треугольного профиля. В качестве заполнителя может быть использован грунт более низкого качества, например, выветрился скала, речной гравий, береговые наносы с минимальной его обработкой: удалением частиц диаметром более 80 мм, и содержание частиц размером менее 0,075 мм не должно превышать 6% рис. 10. Свойства твёрдой насыпи зависят от различных факторов, в частности от гранулометрического состава грунта, содержания воды, метода смешивания с цементом и метода укатки. Сам процесс производства этого материала исключает возможность точного определения свойств до проведения изысканий и опытов на месте строительства. При проведении опытов с образцами «твёрдой насыпи» была получена диаграмма зависимости напряжения–деформации [11]. Форма диаграммы напряжения-деформации нелинейная, т.е. цементированная песчано-гравийная смесь имеет упруго-пластические свойства. До достижения предела пропорциональности рост деформаций образца начинает превышать рост напряжений. После предела прочности происходит хрупкое его разрушение. Для образцов, взятых из 50 см слоя CSG, значение плотности варьировалось в диапазоне от 2,23 т/м³ до 2,51 т/м³ со средним значением 2,41 т/м³. Прочность на сжатие колебалась в значениях от 3,1 до 8,48 МПа со средним значением 5,78 МПа [9, 10]. Значение статического модуля упругости изменялось от 2000 до 17100 МПа со средним значением 9550 МПа. Широкий диапазон значений был обнаружен даже в одинаковых образцах, уложенных в одно время. Значения коэффициента Пуассона, измеренного в справочных целях, варьирова-

лось от 0,03 до 0,23 (в 70% случаях менее 0,15), что меньше коэффициента Пуассона в обычном бетоне, равное $0,16 \pm 0,2$ как показано в табл. 5.

Таблица 5

Значения свойства материала твёрдая насыпь

Table 5

Material property values solid fill

Образцов, взятых из 50 см слоя CSG	Минимальные значения	Максимальные значения	Средние значения
Плотности	2,23 т/м ³	2,51 т/м ³	2,41 т/м ³
Прочность на сжатие	3,1 МПа	8,48 МПа	5,78 МПа
Модуля упругости	2000 МПа	17100 МПа	9550 МПа
Коэффициента Пуассона	0,03	0,23	0,15 (70% случаях)

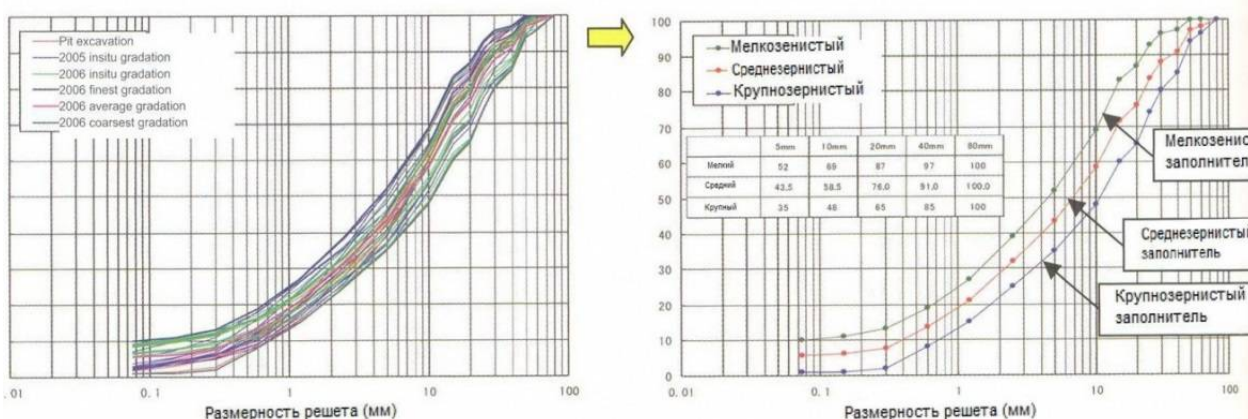


Рис. 10. Логарифмические кривые гранулометрических составов

Fig. 10. Logarithmic curves of particle size distributions

Тем не менее, прочность CSG предлагается оценивать по следующим принципам:

А) Установление диапазона гранулометрического состава; Б) Установление удельного содержания воды. Нижняя и верхняя границы графика соответствуют гран составам крупнозернистого и мелкозернистого заполнителей. Нижняя граница соответствует минимально допустимой прочности материала CSG. Следовательно, при подборе гранулометрического состава внутри границ приведённых кривых с соответствующим содержанием воды, которое будет находиться внутри ромба, необходимая прочность материала CSG будет достигнута [11].

Выводы

Рассмотрение мирового опыта строительства гравитационных плотин из особо тощей бетонной смеси показывает, что в настоящее время новые конструкции симметричных плотин получают все большее распространение в ряде стран мира. Результаты различных исследований при строительстве сооружений из этого материала показывают, что при большем объёме бетона по сравнению с традиционными плотинами из укатанного (RCC) бетона эти сооружения оказываются экономичней и обладают равной или в некоторых случаях большей надёжностью. В распластаных профилях плотин из CSG экономически обоснован переход на новые более технологичные конструкции плотин с отказом от обязательной обработки всех строительных швов и подготовки заполнителей для бетона. Укатанный бетон CSG является новым типом жесткого малоцементного бетона с еще не полностью использованными технологическими возможностями и широким диапазоном физико-механических характеристик от традиционного УБ (RCC) с высоким (свыше 150 кг/м³) расходом вяжущих (цемент + пуццоланы) до особо жёсткого УБ с очень низким расходом вяжущих (до 50 кг/м³) и до разнозернистого камня, упрочненного цементным раствором. Это позволяет УБ использовать как в обычных плотинах с вертикальной напорной гранью, во внутренних зонах плотин, так и в смешанных плотинах симметричного профиля из УБ и камня, упрочнённого цементом.

Дальнейшие более глубокие исследования конструкций плотин из особо тощего укатанного бетона могут сблизить текущие конструктивные подходы которые в силу недостатка изучения данного вопроса ещё не находили должного понимания.

Литература

1. Intern. Journal on Hydropower and Dams. 2000 World Atlas & Industry Guide. RCC Dams, 2000.
2. Londe. P. and Lino. M. The faced symmetrical hardfill dam: a new concept for RCC Water Power and Dam Construction, London, February 1992.
3. Roller compacted concrete for gravity dams. State of the art and case histories. Boletín126. International Commission on Large Dams (ICOLD). Francia y Estados Unidos, 2003.
4. Raphael J.M. The optimum gravity dam, construction method for gravity dams in Rapid construction of concrete dams, ASCE, New York, 1970.
5. "Water Proofing and Protection with Flexible Synthetic Geomembrane," Carpi Tech S.A., www.carpitech.com.
6. Mixing devices for CSG method. Information guide. Japan Dam Foundation. 2012. 10 p.
7. Ляпичев Ю.П. Новые конструкции плотин из укатанного бетона и камня // Проблемы теории и практики в инженерных исследованиях: Сб. научн. трудов. М.: АСВ, 1998. С. 39 – 43.
8. ICOLD/CIGB. The gravity dam: a dam for the future / Le barrage-poids: un barrage d'avenir. Bulletin № 117, ICOLD/CIGB, Paris, 2000.
9. JANCOLD. CSG Method. Current activities on dams in Japan, 2000
10. Hamed Mahdiloo Torkamani. Evaluation and comparing of faced symmetrical hard-fill dams (FSHD) and concrete faced rock-fill dams (CFRD). University of Kurdistan / Mahab Ghodss Consulting Engineering Co., Tehran, Iran.
11. BaCaRa. Roller-compacted concrete dams, Ponts et Chaussees, Paris, 1997.
12. Trapezoidal CSG dam. Japan Dam Engineering Center. 2012. 10 p.
13. Ляпичев Ю.П. Проектирование и строительство современных высоких плотин: учебное пособие. М.: Издательство РУДН, 2009.
14. Water Power and Dam Construction, London, February 1992.
15. Глаговский В.Б., Радченко В.Г. По теме Новые тенденции в строительстве грунтовых плотин, (ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева"). Гидротехнические строительства. 2013. № 1.
16. Tadaniko Fujisawa. Trapezoidal CSG dam. Dams in Japan / ICOLD. 2012. P. 36 – 61.

References

1. Intern. Journal on Hydropower and Dams. 2000 World Atlas & Industry Guide. RCC Dams, 2000.
2. Londe. P. and Lino. M. The faced symmetrical hardfill dam: a new concept for RCC Water Power and Dam Construction, London, February 1992.
3. Roller compacted concrete for gravity dams. State of the art and case histories. Boletín126. International Commission on Large Dams (ICOLD). Francia y Estados Unidos, 2003.
4. Raphael J.M. The optimum gravity dam, construction method for gravity dams in Rapid construction of concrete dams, ASCE, New York, 1970.
5. "Water Proofing and Protection with Flexible Synthetic Geomembrane," Carpi Tech S.A., www.carpitech.com.
6. Mixing devices for CSG method. Information guide. Japan Dam Foundation. 2012. 10 p.
7. Lyapichev Yu.P. New constructions of dams made of rolled concrete and stone. Problems of theory and practice in engineering research: Collection of scientific works. M.: ASV, 1998. P. 39 – 43. (rus.)
8. ICOLD/CIGB. The gravity dam: a dam for the future. Le barrage-poids: un barrage d'avenir. Bulletin 117, ICOLD/CIGB, Paris, 2000.
9. JANCOLD. CSG Method. Current activities on dams in Japan, 2000
10. Hamed Mahdiloo Torkamani. Evaluation and comparing of faced symmetrical hard-fill dams (FSHD) and concrete faced rock-fill dams (CFRD). University of Kurdistan. Mahab Ghodss Consulting Engineering Co., Tehran, Iran.
11. BaCaRa. Roller-compacted concrete dams, Ponts et Chaussees, Paris, 1997.
12. Trapezoidal CSG dam. Japan Dam Engineering Center. 2012. 10 p.
13. Lyapichev Yu.P. Design and construction of modern high dams: textbook.M.: RUDN Publishing House, 2009. (rus.)
14. Water Power and Dam Construction, London, February 1992.

- 15 Glagovsky V.B., Radchenko V.G. On the topic New trends in the construction of ground dams, (JSC “ARRI named after B.E. Vedeneev”). Hydraulic engineering construction. 2013. 1. (rus.)
16. Tadaniko Fujisawa. Trapezoidal CSG dam. Dams in Japan. ICOLD. 2012. R. 36 – 61.

*Tarek S.S., Postgraduate,
Tolstikov V.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*
*Corresponding author E-mail: sohaib85sabab@gmail.com

WORLD EXPERIENCE IN THE CONSTRUCTION OF GRAVITY DAMS FROM A PARTICULARLY LEAN CONCRETE MIX

Abstract: the article discusses the main aspects of the construction of dams with a symmetrical profile from the material "solid embankment" or other names ("lean" concrete, cemented "sand and gravel mixture" CSG). The design of typical profiles of dams of implemented projects is considered, and information regarding the characteristics and methods of production of this material is provided. The main properties of this material and the principle of its preparation are considered. The work in this area of engineers from Russia, Japan, Iran, Korea, China, and Turkey is analyzed. These dam structures are characterized by high reliability and efficiency, but also, most importantly, by a much higher adaptability or high speed of construction, which is little dependent on local natural factors than traditional rolled concrete dams.

Keywords: gravity dams, rolled concrete (RC), rolled concrete with high binder content (RCBC), extra lean rolled concrete or hard fill (cemented sand and gravel-CSG)

Для цитирования: Тарек С.С., Толстиков В.В. Мировой опыт строительства гравитационных плотин из особо тощей бетонной смеси // Строительные материалы и изделия. 2021. Том 4. № 2. С. 19 – 28. DOI: 10.34031/2618-7183-2021-4-2-19-28

For citation: Tarek S.S., Tolstikov V.V. World experience in the construction of gravity dams from particularly lean concrete mix. Construction Materials and Products. 2021. 4 (2). P. 19– 28. DOI: 10.34031/2618-7183-2021-4-2-19-28

*Поступила в редакцию 12 февраля 2021 г.
Принята в доработанном виде 10 марта 2021 г.
Одобрена для публикации 2 апреля 2021 г.*

*Received: February 12, 2021.
Revised: March 10, 2021.
Accepted: April 2, 2021.*