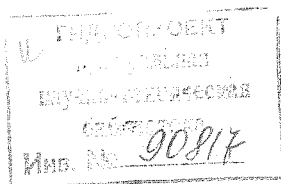


М.Ф.И.И.И. 626
626-3
133

А. Б. ГАДЖИЕВ

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

ИЗДАНИЕ 2-е, ДОПОЛНЕННОЕ



«ЭНЕРГИЯ»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1975

УДК 627.8.012.33

В книге приводится описание конструкций деформационных швов гидротехнических сооружений, результаты исследований работы швов. Рассматриваются возможности уменьшения ширины швов, методы уплотнения. Даются рекомендации по проектированию, устройству и ремонту уплотнений. Второе издание дополнено новыми материалами, накопившимися в последние годы.

Первое издание вышло в 1969 г.

Книга рассчитана на инженеров, занятых проектированием, строительством и эксплуатацией гидротехнических сооружений, а также на студентов вузов.

Рецензент Р. Н. Шманцарь

Г 30314-153 50-75
051(01)-75

© Издательство "Энергия", 1975

ПРЕДИСЛОВИЕ

В советской энергетике на ближайший период намечается строительство крупных и экономичных гидротехнических сооружений.

В гидротехнических сооружениях, отличающихся большим сроком службы, одним из ответственных элементов являются уплотняющие устройства деформационных швов, затраты на которые составляют до 3,0% общей стоимости бетонных сооружений. Несмотря на это, конструкции уплотняющих устройств разрабатываются часто без достаточного учета условий производства работ и эксплуатации. В результате этого в практике строительства гидротехнических сооружений появились самые разнообразные конструкции, иногда не обеспечивающие надежного уплотнения деформационных швов.

Пожалуй, ни в одном виде строительных работ качество не играет такой решающей роли, как при выполнении уплотняющих устройств в деформационных швах гидротехнических сооружений. Высокое качество работ является одним из основных условий надежной работы уплотнений; достижение его в значительной мере зависит от простоты конструкции. Конструкции уплотнений должны быть надежными в эксплуатации и требовать минимальных издержек производства, так как затраты на исправление дефектов в десятки, а иногда и в сотни раз превышают первоначальную стоимость уплотнений и не всегда дают желаемые результаты.

Вопросы проектирования, устройства и эксплуатации деформационных швов мало освещены в технической литературе [7, 24, 35, 38]. Исследования конструкций уплотнений и наблюдения за их работой в процессе эксплуатации ведутся в недостаточном объеме.

Во второе издание книги дополнительно включены следующие материалы: уплотнения временных (строительных) швов в арочных и гравитационных плотинах и других сооружениях, конструкция электронагревателя для разогрева заполнителя асфальтовых шпонок, способы образования швов, исследования материалов для заполнения асфальтовых шпонок, эксплуатация уплотняющих устройств и др.

Применяемые в массовом строительстве конструкции уплотняющих устройств разнотипны в одинаковых инженерно-геологических условиях. Разнотипные конструкции уплотнений, предназначенные для выполнения одинаковых функций в одном гидроузле, усложняют и удорожают производство строительно-монтажных работ. Способы устройства деформационных швов из-за необходимости значительных затрат ручного малопроизводительного труда обладают существенными недостатками, трудоемки, при этом стоимость их чрезвычайно высока. Кроме того, опыт эксплуатации подтверждает, что некоторые виды уплотнений не обеспечивают надежной герметизации шва. Часто в уплотнениях с асфальтовыми шпонками, металлическими диафрагмами без компенсаторов наблюдается фильтрация воды. Восстановить монолитность асфальтовой шпонки при помощи применяемых конструкций стационарного электронагрева практически невозможно. Вследствие замыкания электродов, утечки электрического тока по армоконструкциям сооружения, наличия в мастике каверн, а также вследствие значительной фильтрации воды по полости шпонки эффективности нагрева этим способом достичь трудно.

Ширина деформационных швов бетонных гидротехнических сооружений на сжимаемых основаниях принимается преувеличенной, не отвечающей фактической необходимости.

Развивающаяся промышленность полимерной химии во всех больших масштабах осваивает выпуск новых материалов, применение которых в гидротехническом строительстве может иметь большие технические и экономические преимущества. На основе этих материалов возможно осуществление конструкций, обладающих требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

В отечественном гидротехническом строительстве в последнее время применяют новые виды уплотнений, используют профильные резиновые ленты, стеклопластик, поливинилхлорид и другие синтетические материалы.

В зарубежной практике строительства высоких бетонных плотин [7] на скальном основании уплотнение температурных швов осуществляется при помощи металлических (из меди и бронзы, в отдельных случаях с последующей цементацией полости шва) и резиновых диафрагм, а также различных синтетических материалов на основе искусственных смол и пластиков. Применение таких диафрагм сокращает использование асфальтовых материалов и их производных. Благодаря этому значительно упрощается эксплуатация сооружения, а издержки эксплуатации снижаются до минимума.

Опыт отечественного строительства подтверждает экономическую целесообразность и техническую возможность применения для уплотнений полости деформационных швов вместо дорогостоящих меди, бронзы и латуни диафрагм из листов нержавеющей стали.

На протяжении многих лет автор принимал участие в проектировании, осуществлении и исследовании конструкций уплотнений деформационных швов (Каховская, Кременчугская, Красноярская, Братская,

Новосибирская, Нахичеванская ГЭС и др.) и в составлении рекомендаций по конструкциям и способам выполнения уплотнений.

Изучение отечественного и зарубежного опыта проектирования, устройства и эксплуатации деформационных швов гидротехнических сооружений позволило автору вскрыть недостатки применяемых конструкций, наметить способы их устранения, а также сделать некоторые рекомендации по разработке новых конструкций.

Автор приносит глубокую благодарность А. Л. Можевитину и И. Л. Сапиру за ценные указания и помощь при подготовке настоящей книги к изданию.

Просьба к читателям свои замечания и отзывы направлять по адресу: 192041, Ленинград, Д-41, Марсово поле, 1, Ленинградское отделение издательства "Энергия".

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

1-1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ШВОВ

Бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения (плотины, здания гидроэлектростанций, судоходные сооружения и др.) обычно имеют значительные размеры. Эти сооружения, в зависимости от района строительства, вида основания, условий производства работ и т.п. испытывают всякого рода силовые воздействия, в результате чего в них возникают усадочные температурные и осадочные напряжения, могущие привести к возникновению крайне нежелательных трещин с различной степенью опасности.

К числу важнейших мероприятий, направленных на обеспечение монолитности массивных бетонных гидротехнических сооружений, относятся: 1) назначение наиболее рациональной их разрезки постоянными и временными швами в данных природных условиях (климат, геология); 2) создание благоприятного температурного режима сооружения как в строительный, так и в эксплуатационный периоды посредством различных мер (применение низкотермичных и малоусадочных марок цемента, уменьшение его расхода, трубное охлаждение, теплоизоляция бетонных поверхностей и др.); 3) повышение однородности бетона, обеспечение его высокой растяжимости, повышение прочности на осевое растяжение и армирование в местах вероятного появления трещин.

Основные деформации бетонных сооружений происходят в период их возведения, когда имеют место наибольшие температурные напряжения, являющиеся следствием экзотермии твердеющего бетона и колебаний температуры окружающей среды (воздуха, воды). Кроме того, в этот же период происходит и усадка бетона. Бетонные сооружения, возведенные на сжимаемых основаниях, вследствие неоднородности грунтов и изменения эксплуатационных нагрузок испытывают

неравномерные осадки и различного вида деформации, которые также могут привести к трещинообразованию и нарушению монолитности бетонного массива.

В период строительства температурные напряжения, вызываемые колебанием температуры окружающей среды и экзотермическим процессом твердеющего бетона, в некоторой степени устраняются разрезкой массивного сооружения на секции, столбы и блоки [4, 13] и охлаждением бетонной кладки. Эти меры должны увязываться с другими проектными мероприятиями по повышению трещиностойкости в строительный и эксплуатационный периоды.

Для предотвращения появления значительных напряжений от воздействия перечисленных выше факторов бетонные гидротехнические сооружения разрезаются по длине на отдельные секции деформационными швами. Эти швы обеспечивают независимую работу каждой секции и исключают возможность возникновения усилий между соседними секциями [29].

Деформационные швы, в зависимости от срока службы, делятся на постоянные (конструктивные) и временные (строительные). К постоянным относятся температурные швы в сооружениях на скальном основании. При наличии швов в этих сооружениях в результате воздействия на бетонную кладку колебаний температуры окружающей среды в эксплуатационный период не возникает значительных растягивающих напряжений; в этом случае секции сооружения приобретают известную свободу деформации. К постоянным относятся также деформационно-осадочные* швы сооружений на сжимаемых грунтах, обеспечивающие в условиях неравномерных осадок основания независимые вертикальные и горизонтальные перемещения и наклоны секций сооружения по отношению друг к другу и выполняющие одновременно функции температурных швов [7].

Временные температурно-осадочные (строительные) швы устраиваются с целью снижения температурных и осадочных напряжений, ими сооружение разрезается на отдельные столбы и блоки бетонирования. Эти швы бывают, как правило, вертикальные, горизонтальные и реже наклонные. Они устраиваются для предупреждения трещинообразования в бетонной кладке, которое вызывается экзотермией; эффект достигается за счет рассеивания тепла свежеложенного бетона и раскрытия этих швов в строительный период. После окончания усадки и стабилизации температурного режима бетона продольные временные швы до постановки сооружения под нагрузку подлежат монолитчиванию.

* В дальнейшем деформационно-осадочные швы будем сокращенно называть осадочными швами.

При строительстве бетонных плотин значительной высоты в современной практике находит применение столбчатая разрезка (см. рис. 2-6) на блоки бетонирования (без перевязки строительных швов).

В период возведения сооружения на податливом основании (при разрезке по быкам плотины, оголовкам камер шлюзов) напряжения на грунт от сооружений часто бывают выше допустимых из-за большого собственного веса сооружений. Для снятия напряжений от вышеуказанных нагрузок устраиваются временные осадочные швы (штрабы-замыкания).

1.2. ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ШИРИНУ ШВОВ

Деформации швов — их открытие и закрытие — зависят от температурного режима сооружения, характера основания, расстояния между швами, типа и размера сооружения, местоположения швов в сооружении и др.

Наибольшие деформации швов наблюдаются вблизи наружных поверхностей сооружения, соприкасающихся с водой или воздухом, со стороны верхнего и нижнего бьефов.

Ширина деформационных швов определяется на основе анализа деформаций основания, в зависимости от ожидаемого наклона секций в направлении оси плотины, высоты полубыков секций, с учетом экономических и производственных соображений [29]. Экономически целесообразная ширина шва определяется тем, что при увеличении ширины секции число швов уменьшается, но зато необходимо увеличивать ширину шва, усиливать армирование секции и повышать марку бетона для обеспечения прочности сооружения.

При назначении ширины шва и размеров уплотнений исходят также из ряда производственных условий: установки и разборки опалубки, удобства ремонта, монтажа.

Ширина раскрытия температурных швов в сооружениях, расположенных на прочных скальных основаниях, и швов-надрезов определяется по зависимости:

$$\Delta l_i = \alpha \frac{l_1 + l_2}{2} \Delta t, \quad (1.1)$$

где $\alpha = 1,0 \cdot 10^{-5}$, град⁻¹ — коэффициент линейного расширения бетона; l_1, l_2 — ширина двух смежных секций сооружения; Δt — диапазон изменения температуры секций сооружения в период эксплуатации.

Ширина деформационных швов в сооружениях, возводимых на сжимаемых основаниях, кроме температурных деформаций, зависит от деформаций, связанных с перекосом секций сооружений при неравномерной осадке основания. Перекос может вызвать навал одной секции на другую. Во избежание больших напряжений, которые могут при этом возникнуть, ширину шва приходится делать с запасом, обеспечивающим свободную деформацию без нажатия одной секции на другую. В этом случае ширина шва может быть определена по зависимости:

$$\Delta l = k(\Delta l_t + \Delta l_n), \quad (1-2)$$

где Δl_t — температурная деформация, определяемая по зависимости (1-1); Δl_n — деформация перекоса разделенных швом секций сооружения, определяемая по величине их неравномерной осадки; $k = 1,2-1,3$ — коэффициент запаса в ширине шва на необратимые деформации и на неточность расчетов.

Ширину температурного шва СНиП II-Н. 12-67 рекомендует назначать внутри массивного сооружения до 5 мм и у лицевых граней до 20 мм; ширина осадочного шва рекомендуется внизу у подошвы от 10 до 30 мм, а по верху быков, в зависимости от высоты, до 200 мм. Обычно ширина температурного шва в пределах распространения сезонных колебаний температуры до затухания их в глубине массива, на расстоянии в 2,5-6,0 м, принимается около 0,5-1,0 см.

Ширина узких строительных (температурно-усадочных) швов назначается в результате расчета температурно-усадочных деформаций бетона (марки бетона, температуры укладки, способа охлаждения и т. п.). Ширина широких строительных швов (замыкающих блоков) принимается в пределах от 1,2 до 3 м. В смешанных швах со стороны напорной и низовой граней устраиваются узкие швы, а в средней части профиля плотины — широкий шов. На поверхности полости швов устраиваются штрабы трапециевидальной формы, число которых зависит от длины шва (см. рис. 2-7).

Сравним теоретическое обоснование ширины швов и их деформации с натурными данными эксплуатации. На ширину деформационного шва влияют распределение температуры по бетонному массиву и инженерно-геологические характеристики грунтов основания (осадки, перекосы, навалы одной секции на другую в результате неравномерной осадки сооружения и т. п.).

Многочисленными исследованиями установлено, что температурные колебания на глубине массива в нескольких метрах от открытых поверхностей затухают. В результате общего хода гармонических температурных колебаний наружного воздуха на низовой и, в меньшей степени и реже, на верховой гранях плотины возникают попеременно

сжимающие и растягивающие напряжения, которые вызывают появление трещин между строительными швами. Расхождение шва между секциями сооружения происходит по закону тепловыделения и скорости теплоотдачи от поверхности бетона к воздуху.

Исходя из вышесказанного, раскрытие температурного шва по высоте сооружения может быть более правильно определено по следующему методу [4]. При расчете примем, что годовые колебания температуры наружного воздуха являются гармоническими и могут быть аппроксимированы (по С. И. Муромову) в виде действительной части комплексного выражения

$$T_t = T_0 \exp\left(\frac{2\pi i t}{\vartheta}\right) = T_0 \left(\cos \frac{2\pi t}{\vartheta} + i \sin \frac{2\pi t}{\vartheta}\right). \quad (1-3)$$

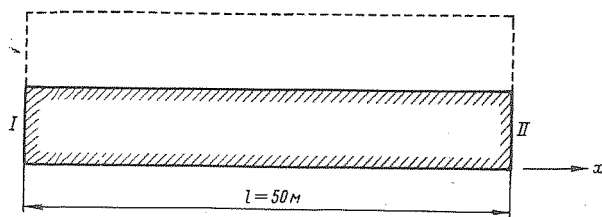


Рис. 1-1. Схема теплового расчета секции плотины Красноярской ГЭС

где T_0 — амплитуда колебаний температуры наружной поверхности; $\vartheta = 8760$ ч — период колебаний температуры; t — время.

Рассмотрим распределение температуры в секции длиной 50 м. С двух торцов секция подвержена воздействию тепловых потоков со стороны наружного воздуха. С боковых сторон секция может считаться адиабатно-теплоизолированной, так как там расположены идентичные секции. Таким образом, температурное поле в секции в первом приближении можно считать одномерным вдоль оси x (рис. 1-1). Поскольку теплообмен на торцах I и II одинаков, задача является симметричной, и достаточно рассмотреть распределение температуры в любой из двух половин секции. Распределение температуры может быть получено в результате решения дифференциального уравнения теплопроводности с граничными условиями III рода. Решение этой задачи известно [4, 26], оно может быть записано в виде:

$$T(x, t) = T_0 \left[A(x) \cos \frac{2\pi t}{\vartheta} + B(x) \sin \frac{2\pi t}{\vartheta} \right]. \quad (1-4)$$

Для достаточно толстых плит, у которых $\frac{l}{2} \geq \sqrt{\frac{\beta a}{\lambda}}$, каждую половину плиты можно считать полуограниченным массивом. Тогда величины $A(x)$ и $B(x)$ в выражении (1-4) могут быть представлены в виде:

$$A(x) = P (H \cos kx - K \sin kx) \exp(-kx); \quad (1-5)$$

$$B(x) = P (K \cos kx + H \sin kx) \exp(-kx), \quad (1-6)$$

где $K = \sqrt{\frac{\pi}{\beta a}}$; $H = \frac{\beta}{\lambda} + k$; $P = \frac{\beta}{\lambda (H^2 + K^2)}$; β - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности блока к окружающей среде, ккал/(м² · ч · град); λ - коэффициент теплопроводности бетона, ккал/(м · ч · град); $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ - коэффициент температуропроводности бетона, м²/ч; c - удельная весовая теплоемкость бетона, ккал/(кг · град); γ - плотность бетона, кг/м³.

Бетон Красноярской ГЭС имеет следующие теплофизические характеристики:

$\lambda = 1,7$ ккал/(м · ч · град); $c = 0,24$ ккал/(кг · град); $\gamma = 2400$ кг/м³;

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma} = \frac{1,7}{0,24 \cdot 2400} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч};$$

$$K = \sqrt{\frac{\pi}{\beta a}} = \sqrt{\frac{3,14}{8760 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}} = 0,346 \text{ м}^{-1}; \quad \frac{1}{K} = 2,9 \text{ м} < \frac{l}{2} = 25 \text{ м}.$$

Следовательно, для расчета коэффициентов $A(x)$ и $B(x)$ можно использовать выражения (1-5) и (1-6). Для рассматриваемого примера торца секции (15 м х 1,5 м) с учетом ветра коэффициент теплоотдачи может быть принят $\beta = 15$ ккал/(м² · ч · град), тогда

$$H = \frac{\beta}{\lambda} + K = \frac{15}{1,7} + 0,346 = 9,166 \text{ м}^{-1};$$

$$P = \frac{\beta}{\lambda (H^2 + K^2)} = \frac{15}{1,7 (9,166^2 + 0,346^2)} = 0,1048 \text{ м}.$$

В результате расчета коэффициентов $A(x)$ и $B(x)$ получим формулы для определения температуры в секции (табл. 1-1).

Окончательные результаты расчета распределения температуры в секции в зависимости от времени приведены в табл. 1-2.

Результаты расчетов представлены также на рис. 1-2.

На рис. 1-3 показаны относительные колебания температуры в течение года. Используя полученные данные распределения температур в массиве в зависимости от сезонных колебаний температуры наружного воздуха (рис. 1-2), определим деформации смежных граней секций, вызванные действием одномерного температурного поля по зависимости:

$$\Delta l_{i, t} = \alpha \frac{h(1+\nu)}{10} \sum_{k=0}^{10} a_{i, k} T_k, \quad (1-7)$$

Таблица 1-1.

Расчет коэффициентов $A(x)$ и $B(x)$ для определения температуры бетона в секции плотины

$x, \text{ м}$	$T(x), ^\circ\text{C}$
0	$T_0 (0,96060 \cos \frac{2\pi t}{\theta} + 0,03626 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
0,5	$T_0 (0,79067 \cos \frac{2\pi t}{\theta} + 0,16913 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
2,5	$T_0 (0,25075 \cos \frac{2\pi t}{\theta} + 0,31776 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
5,0	$T_0 (-0,03335 \cos \frac{2\pi t}{\theta} + 0,16713 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
10	$T_0 (-0,02828 \cos \frac{2\pi t}{\theta} - 0,01052 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
15	$T_0 (0,00262 \cos \frac{2\pi t}{\theta} - 0,00463 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
20	$T_0 (0,00072 \cos \frac{2\pi t}{\theta} + 0,00057 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$
25	$T_0 (-0,00012 \cos \frac{2\pi t}{\theta} + 0,00011 \sin \frac{2\pi t}{\theta})$

Таблица 1-2

Результаты расчета годового измерения температуры в бетонном массиве секции плотины Красноярской ГЭС

t/θ	$T(x), ^\circ\text{C}$							
	$x = 0$	$x = 0,5$	$x = 2,5$	$x = 5,0$	$x = 10$	$x = 15$	$x = 20$	$x = 25$
0	-18,84	-15,58	-4,81	+0,24	+0,14	-0,45	-0,41	-0,40
1/12	-16,73	-15,18	-7,62	-1,45	+0,17	-0,40	-0,42	-0,40
2/12	-10,22	-10,80	-8,09	-2,86	+0,05	-0,35	-0,42	-0,40
3/12	-1,10	-3,65	-6,50	-3,61	-0,20	-0,31	-0,41	-0,40
4/12	+8,22	+4,38	-3,28	-3,50	-0,49	-0,30	-0,40	-0,40
5/12	+15,23	+11,13	+0,72	-2,56	-0,77	-0,31	-0,39	-0,40
6/12	+18,04	+14,78	+4,41	-1,04	-0,94	-0,35	-0,39	-0,40
7/12	+15,93	+14,38	+6,82	+0,65	-0,97	-0,40	-0,38	-0,40
8/12	+9,42	+10,00	+7,29	+2,06	-0,85	-0,45	-0,38	-0,40
9/12	+0,30	+2,85	+5,70	+2,81	-0,60	-0,48	-0,39	-0,40
10/12	-9,02	-5,18	+2,48	+2,70	-0,31	-0,50	-0,40	-0,40
11/12	-16,03	-11,93	-1,52	+1,76	-0,03	-0,49	-0,41	-0,40
12/12	-18,84	-15,58	-4,81	+0,24	+0,14	-0,45	-0,41	-0,40

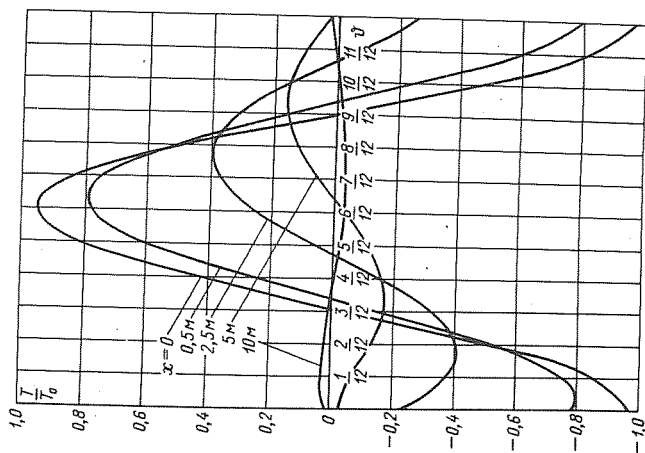


Рис. 1-2. Годовые колебания температуры в массиве бетонной секции

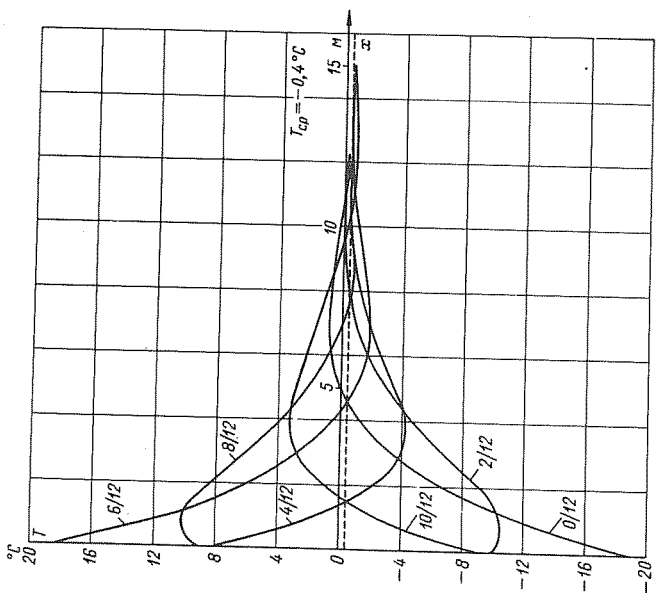


Рис. 1-3. Распределение температуры вдоль секции при годовых колебаниях температуры наружного воздуха

где $\Delta l_{i,t}$ — перемещение i -й точки смежной грани одной из секций от действия одномерного температурного поля; α — коэффициент линейного расширения бетона $1,0 \cdot 10^{-5}$, град; h — длина секции, м; $\nu = 0,15$ — коэффициент Пуассона для бетона; $a_{i,k}$ — коэффициенты, представляющие собой перемещение i -й точки грани секции от действия треугольной температурной нагрузки единичной интенсивности, приложенной к точке k , как показано на рис. 1-4. Коэффициенты $a_{i,k}$ зависят от соотношения h/l и числа участков, на которые разбита длина h ; T_k — температура точки k грани секции блока.

Для примера возьмем одну секцию сечением 15×30 м плотины Красноярской ГЭС и вычислим по формуле (1-7) величину температурных деформаций ее грани от действия сезонных колебаний температуры. Для этого разобьем кривую распреде-

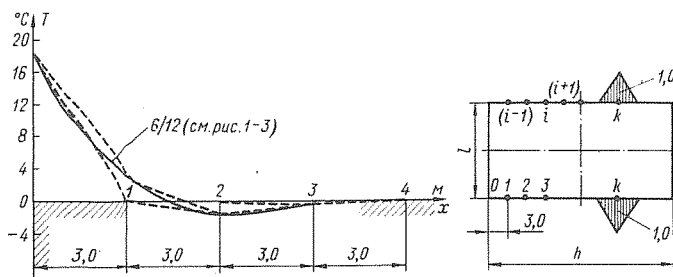


Рис. 1-4. Схема приложения треугольной температурной нагрузки единичной интенсивности

ния температуры для месяца 6/12 (рис. 1-3) на треугольные части (рис. 1-4). При данной схеме разбивки получаем значения температур T_k :

$$T_0 = 18,2^\circ\text{C}; \quad T_1 = 3,0^\circ\text{C}; \quad T_2 = -1,2^\circ\text{C}; \quad T_3 = -0,4^\circ\text{C}; \quad T_{4-10} = 0.$$

Температурные перемещения грани секции относительно оси шва будут

$$\Delta l_{0t} = 1 \cdot 10^{-5} \frac{30(1+0,15)}{10} (1,762 \cdot 18,2 + 0,911 \cdot 3,0 - 0,088 \cdot 1,2 + 0,088 \cdot 0,4) = 0,120 \text{ см};$$

$$\Delta l_{1t} = 1 \cdot 10^{-5} \frac{30(1+0,15)}{10} (0,505 \cdot 18,2 + 1,396 \cdot 3,0 - 0,551 \cdot 1,2 - 0,096 \cdot 0,4) = 0,044 \text{ см};$$

$$\Delta l_{2t} = 1 \cdot 10^{-5} \frac{30(1+0,15)}{10} (0,061 \cdot 18,2 + 0,566 \cdot 3,0 - 1,220 \cdot 1,2 - 0,547 \cdot 0,4) = 0,004 \text{ см};$$

$$\Delta l_{3t} = 0,0 \text{ см}.$$

При вычислении по формуле получаем наибольшую температурную деформацию шва от полного размаха колебания температуры:

$$\Delta l_t = \alpha \frac{l_1 + l_2}{2} \Delta t = 1,0^{-5} \cdot 1500 \cdot 36,9 = 0,55 \text{ см}.$$

Таким образом, полная односторонняя деформация секции составит 0,275 см. Полная односторонняя деформация секции по методу расчета раскрытия швов и трещин в массивных бетонных конструкциях [23] равна $2 \times 0,12 = 0,24$ см. Таким образом, формула (1-1) даст хорошие результаты. Метод [23] позволяет получить более точные результаты, так как учитывает сложное напряженное состояние, в действительности имеющую место в секции сооружения.

Ширина температурного шва, определяемая от действия одномерного поля (рис. 1-2) и вычисленная по формулам (1-1) и (1-7), приведена на рис. 1-5.

По произведенным расчетам (по методам П. И. Васильева [4] и Е. Н. Пересыпкина [23]) для наружных граней одной секции плотины Красноярской ГЭС (где среднегодовая температура минус $0,4^\circ \text{C}$)

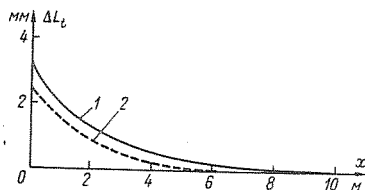


Рис. 1-5. Зависимость величины шва по глубине от наружной грани секции сооружения (при среднегодовой температуре наружного воздуха $-0,4^\circ \text{C}$)

1 - ширина шва, полученная по формуле (1-1); 2 - то же по формуле (1-7)

установлено, что деформации вызываются сезонными колебаниями температур наружного воздуха, которые отмечены в массиве бетона на глубине до 6,0 м. На эту глубину происходит минимальное раскрытие межсекционного шва. Аналогичные расчетные данные получены по Братской ГЭС [37] и Мамаканской ГЭС. Отсюда можно сделать вывод о том, что асфальтовая мастика в шахте шпонки должна обязательно разогреваться во время строительства в период поярусного заполнения и перед затоплением котлована.

Расчеты осадок гидротехнических сооружений

Основания гидротехнических сооружений с различными инженерно-геологическими условиями и физико-механическими свойствами должны удовлетворять условиям прочности и устойчивости на сдвиг в периоды строительства и эксплуатации под воздействием на них различных статических и динамических нагрузок.

В отечественной практике крупные гидротехнические сооружения (плотины, гидроэлектростанции, шлюзы) возводятся на любых грунтах. Нередко напорные гидротехнические сооружения строятся в условиях аллювиальных отложений, в частности на глинистых, песчаных и песчано-гравелистых основаниях.

При расчете осадок сооружения СНиП II-И. 1-62 рекомендует различать две задачи: а) конечную осадку (стабилизированную), соответствующую полному уплотнению грунта основания, и б) осадку, изменяющуюся во времени и соответствующую незавершенному процессу уплотнения грунта основания (нестабилизованную).

Расчет осадок производится:

1) для определения величин осадок, необходимых для выяснения эксплуатационных условий работы сооружения, а также для выбора их рациональной конструкции;

2) для установления величины ожидаемого перекоса или неравномерности осадок различных частей сооружения;

3) для условий работы сооружения, вида грунта основания и величины нагрузок на основание сооружения.

Конечные осадки бетонных и земляных сооружений рассчитывают разными методами.

По СНиП II-И. 1-62 расчет производится с учетом суммарных напряжений от внешней нагрузки для эксплуатационного случая и изменения по сравнению с природным состоянием собственного веса грунта основания.

Осадки сооружений рассчитываются также по методам: Н. М. Герсаванова — послойным элементарным суммированием [2]; К. Е. Егорова — для многослойного неоднородного основания эквивалентного слоя; Н. А. Цытовича с учетом фактической глубины залегания несжимаемых пород [2], неоднородной среды [2], Н. Н. Маслова и другим.

При расчете осадок по методу послойного суммирования пользуются формулой, применяемой в условиях невозможности бокового расширения грунта

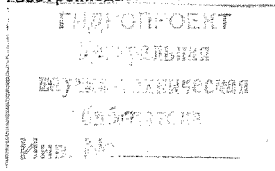
$$S = \sum_{i=1}^{i=n} h_i a_{0,i} \sigma_{z,i}, \quad (1-8)$$

где h_i — высота отдельного слоя основания, см; $\sigma_{z,i}$ — вертикальное напряжение в середине i -го слоя, кгс/см²; $a_{0,i}$ — коэффициент относительной сжимаемости i -го слоя.

Расчет осадок по методу К. Е. Егорова осуществляется с использованием таблиц, приведенных в литературе*, для определения величин безразмерной функции k , по формуле:

$$S = bp \sum_{i=1}^{i=n} \frac{k_i - k_{i-1}}{C_i}, \quad (1-9)$$

* Ничипорович А. А., Цыбульник Т. И. Прогноз осадок гидротехнических сооружений на связных грунтах. М., Госстройиздат. 1961. с. 132 с ил.



$k = \frac{l}{b}$ и $m = \frac{2z}{b}$. Индексы n и $n-1$ относятся к толще грунта от подошвы фундамента до подошвы n -го или $(n-1)$ -го слоя; z — расстояние от подошвы фундамента до границы рассматриваемого слоя;
 $C_i = \frac{E_i}{1-\mu_i}$ коэффициент линейно-деформируемого полупространства.

Анализ наблюдаемых и прогнозируемых осадок и перекосов по опыту эксплуатации гидросооружений

Опыт строительства гидротехнических сооружений, расположенных на сжимаемых основаниях, показал, что значительная часть осадок (до 85% расчетных величин) происходит в строительный период, т.е.

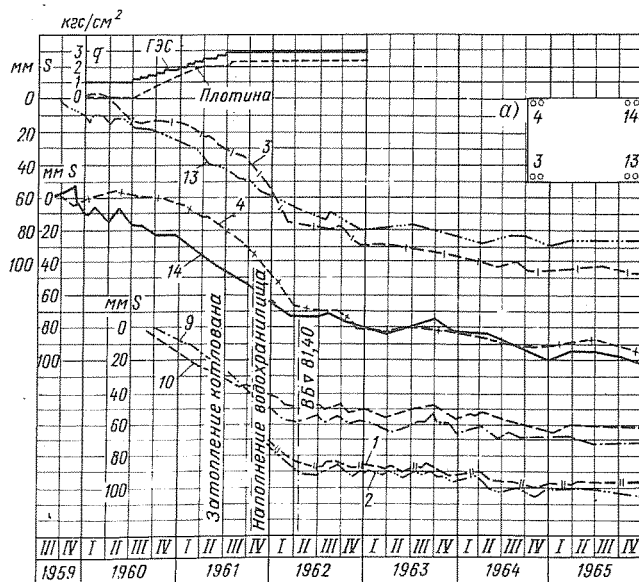
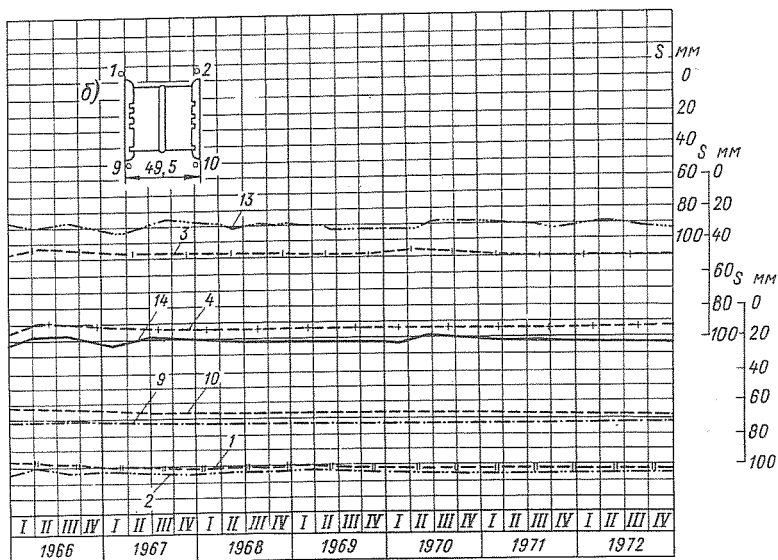


Рис. 1-6. Графики нагрузки q и осадки S секции №3 Ватkinsкой сливной плотины. Цифрами у кривых обозначены соответствующие

Из наблюдений НИС Гидропроекта им. С. Я. Жука и гидрошеха Воткинской ГЭС (1960–1972 гг.) за сооружениями Воткинской ГЭС установлено, что изменения осадок невелики и не выходят за пределы величин, наблюдавшихся на аналогичных сооружениях. Средние осадки секции здания ГЭС составляют 68–122 мм, водосливной плотины 84–114 мм, секций камер шлюза 75–94 мм. Интенсивность осадок



ГЭС. Схемы расположения марок на секциях № 3: а - в здании ГЭС; б - на водопропускных сооружениях

по секциям здания ГЭС и водосливной плотины затухает или осадки близки к стабилизации (рис. 1-6). Приращение осадок за 1972 г. составило 0-3 мм.

В пробольном направлении (поперек потока) наклоны сооружения в сторону левого и правого берегов секции здания ГЭС и водосливной плотины (октябрь 1961-1972 гг.) приведены в табл. 1-3.

Таблица 1-3
Наклон сооружений Воткинской ГЭС

Наименование сооружения	Номер секции	Наклон в мм на 1 м в сторону		
		верхнего бьефа	правого берега	левого берега
Здание ГЭС	1	0,23	0,0	0,0
	2	0,06	0,0	0,0
	3	0,15	0,07	0,0
	4	0,24	0,0	0,12
	5	0,41	0,0	0,17
Водосливная плотина	1	0,20	0,0	0,08
	2	0,49	0,0	0,02
	3	0,49	0,04	0,0
	4	0,41	0,06	0,0

Суммарные перемещения секции сооружения вдоль потока за счет наклона по наблюдениям за период с сентября 1961 г. по декабрь 1972 г. показаны в табл. 1-4.

Таблица 1-4
Суммарные перемещения секции
Воткинской ГЭС

Наименование сооружения	Перемещения в мм в сторону	
	нижнего бьефа	верхнего бьефа
Здание ГЭС, 1-5 секции	2,54 - 4,22	-
Плотина: 1, секция	3,69	-
4 секция	2,98	1,42

Наблюдениями также установлено, что величина температурных деформаций швов в различных частях сооружения неодинакова.

Различен также и характер деформаций в сооружениях, расположенных на разных основаниях [7].

Наблюдения на ряде сибирских ГЭС показали, что внутри этих сооружений раскрытие швов не превышает 3 мм, а снаружи - 10 мм. На Иркутской ГЭС величина раскрытия шва на глубине 42 м от НПГ и 18 м от напорной грани колеблется в пределах 0,4-0,6 мм, а на низовой грани 6-7 мм [35].

На Мамаканской плотине до наполнения водохранилища раскрытие шва на расстоянии 1,5 и 3,0 м от верховой грани составляло, соответственно, 4-6 и 2-3 мм. После наполнения водохранилища раскрытие шва в этих точках снизилось до 2,0 и 1,3 мм.

Такая же картина наблюдалась на плотине Бухтарминской ГЭС, где раскрытие швов на глубине 64 и 34 м от гребня плотины было, соответственно, 0,6 и 2,1 мм.

На плотине Братской ГЭС установлено, что схождение и расхождение шва внутри тела плотины происходит по всей высоте сооружения с разной амплитудой. Так, раскрытие шва у основания плотины составило 0,4-0,5 мм, на глубине 100 м от гребня плотины - 0,6-1,1 мм, на глубине 83 м - 1,1 и 1,5 мм и на глубине 65 м шов раскрывался до 1,8 мм. Закрытие шва характеризуется, соответственно, следующими величинами: 0,3-0,5; 0,6-1,1; 0,8-1,6; 1,2-2,2 мм. Схождение шва в глубине тела плотины начинается в апреле - мае и заканчивается в сентябре - октябре; с октября - ноября до февраля - марта шов раскрывается.

Натурные наблюдения за деформациями температурных швов показывают, что в центральной части сооружения ширину шва можно принимать минимально 1-3 мм; шов такой ширины может образоваться за счет остывания экзотермически разогретого бетона до среднегодовой температуры плотины при эксплуатации.

Так, на плотине Красноярской ГЭС раскрытие швов при остывании бетона от 40°C до 5-10°C при поперечном размере столба 11,5 м составило 1,5-2,0 мм [77]. Раскрытия шва наблюдались на Братской, Мамаканской плотинах, где ширина швов у лицевых граней сооружения в условиях сурового климата составила не более 10 мм.

Из приведенного нами анализа установлено, что раскрытия швов у подошвы сооружения практически равны нулю, примерно на 1/3 его высоты от подошвы, где их ширина составляла 1-3 мм, а сверху сооружения оно достигает 14 мм. Так, например, наибольшая амплитуда раскрытия швов на сооружениях Воткинской ГЭС следующая: на гребне быков сороудерживающего сооружения и водосливной плотины со стороны ВБ - 10 мм; на глубине 32,3 м от гребня - 7 мм; в галерее ГЭС и водосливной плотины (36 м от гребня) - 2,5 мм и у подошвы сооружения раскрытие швов не меняется (рис. 1-7).

Наблюдения за деформациями осадочных швов и осадками [77] сооружений Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС за период 1956-1972 гг. показывают, что абсолютная величина деформаций колеблется в небольших пределах; раскрытие и закрытие швов по зданию ГЭС не превышает 14 мм, по плотине - 11,6 мм, по шлюзу - 10,6 мм. Наибольшие плановые и высотные смещения секций составили: по зданию ГЭС - 7,4-6,8 мм, по водосливной плотине - 5-6,1 мм, по

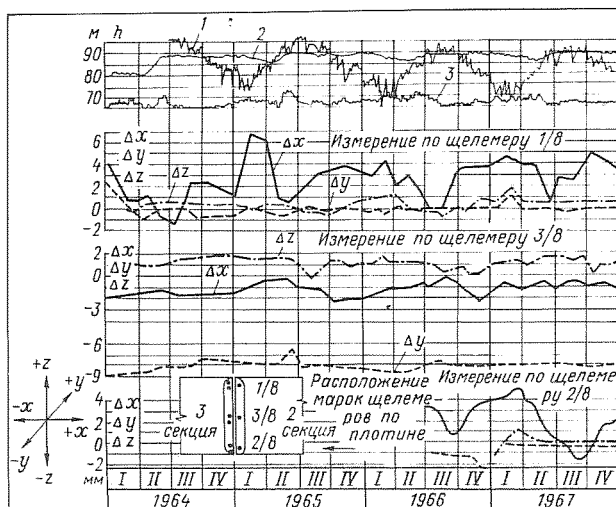


Рис. 1-7. График измерения раскрытия швов по щелемерам

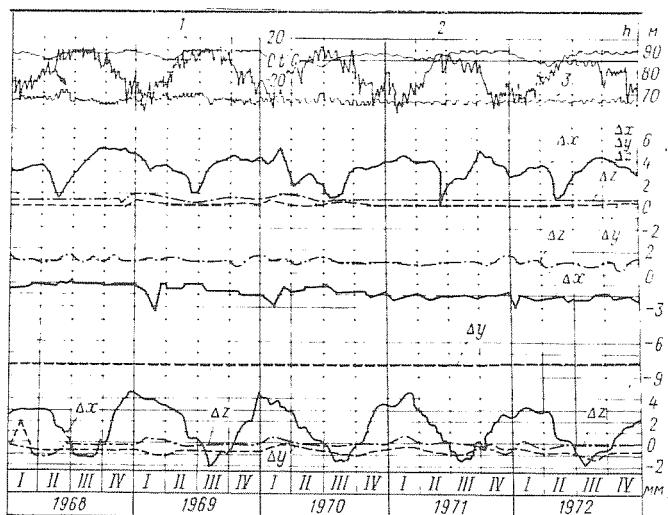
1 - изменение температуры наружного воздуха; 2 - уровень воды
относительное перемещение секции в сторону верхнего

судоходным сооружениям - 9,3-12,4 мм. Продольный наклон секций водосливной плотины незначителен, кроме секций, примыкающих к земляной плотине, где он составляет 0,4 мм на 1 м высоты.

Из наблюдений НИС Гидропроекта им. С. Я. Жука [22] за деформациями сооружений Волжской ГЭС имени В. И. Ленина, проводившихся в 1954-1969 гг., установлено, что осадки секций здания ГЭС близки к затуханию, а фактическая осадка сооружения в два раза меньше расчетной. В продольном направлении наклон секций здания ГЭС в среднем составлял 0,64‰ (секция 10) в сторону левого берега и 0,72‰ (секция 1) в сторону правого берега.

Определение наклона и ширины раскрытия полости шва секции сооружений по натурным данным

Величина наклона бетонных сооружений в натуральных условиях определяется по данным наблюдений за осадками высотных марок отдельных секций. Наклон может быть вычислен путем деления разности одновременно замеренных осадок по двум крайним маркам секций на



водосливной плотины Воткинской ГЭС

ВБ; 3 - уровень воды НБ; Δx - раскрытие (+) и закрытие (-) шва; Δy - (+) и нижнего (-) бьефа; Δz - то же по вертикали

расстояние между ними. В качестве примера возьмем данные по Воткинской ГЭС [7]. Расстояние между смежными осадочными реперами 10 и 9 секции 3 составляло $l = 47,5$ м; при этом неравномерность осадки $h_2 - h_1 = 8$ мм, высота сооружения секции $L = 46,0$ м. Величина наклона определяется по формуле:

$$i = (h_2 - h_1) / l = 8 / 47,5 = 0,17\text{‰} \quad (1-10)$$

Зная величину наклона секции и принимая изменение деформационного шва по прямолинейному закону, легко определить ширину раскрытия шва у гребня сооружения:

$$\Delta l_{\Pi} = Li = 0,46 \cdot 0,17 = 7,81 \approx 8,0 \text{ мм.} \quad (1-11)$$

Таким образом, необходимая ширина осадочного шва на уровне гребня плотины Воткинской ГЭС составляет

$$\Delta l = k(\Delta l_i + \Delta l_{\Pi}) = 1,2(2,7 + 8) = 13 \text{ мм}$$

против фактически принятой, ширины 240 мм. Это несоответствие объясняется тем, что при проектировании сооружений ширина деформационных швов назначается нередко по конструктивным соображениям, без учета опыта эксплуатации аналогичных сооружений, имеющих одинаковую геологию основания, климатические особенности, условия производства работ, и поэтому получается, как правило, преувеличенной.

В практике строительства гидротехнических сооружений финских и норвежских строительных фирм ширина температурных швов принимается равной 1–2 см. Она достигается путем наклейки нескольких слоев толя, пропитанного картона или минеральной ваты на горячем

Расчетные и натурные значения

Гидроузел	Объект	Размеры в плане, м	Характеристика	
			тип грунта	пористость
Волжская ГЭС имени В. И. Ленина	Машинное здание	600 x 100	Аллювиальные отложения, глинистые грунты четвертичного и третичного периодов	0,77–0,85
Шербаковская ГЭС на Волге	То же	220 x 84	Пермотриасовые глины на всю глубину	0,68
То же	Бетонная плотина	104 x 50	Пермотриасовые глины более 100 м	0,67
Цимлянская ГЭС на Дону	То же	495,5 x 60,5	Аллювиальные пески – 15 м, мергель – 4 м	–
То же	Машинное здание	116,5 x 56,5	Суглинки, супеси, пески – 100 м	–
Горьковская ГЭС	То же	215 x 63	Глинисто-мергелистые породы	0,61
То же	Водосливная плотина	293,75 x 39	Глинисто-мергелистые породы – 4–8 м пески – 3–6 м Глинисто-мергелистые породы – 50 м	0,61
Нижне-Свирская ГЭС	Машинное здание	129 x 57	Девонские глины	0,64
То же	Бетонная плотина	190 x 50	Девонские глины более 150 м	0,64

битуме. Такие швы устроены, в частности, в контрфорсных плотинах гидроэлектростанций Пазского каскада. В плотинах "Империзл" (США), Дебенек (ГДР) и шлюзе Гамбургском (ФРГ), построенных на сжимаемых основаниях, ширина осадочного шва назначалась в пределах 10-13 мм.

Следует отметить, что из рассмотренных примеров в большинстве случаев максимальная осадка и перекося сооружений наблюдается на крайних секциях плотины и здания ГЭС (монтажная площадка), примыкающих к береговым земляным сооружениям.

В настоящее время расчетные методы, позволяющие определить перекося сооружений, вызванные плановой неоднородностью основа-

Таблица 1-5

осадок гидротехнических сооружений

оснований число пластич- ности	$E \cdot 10^2$ кгс/см ²	На- грузка, кгс/см ²	Осадка натурная, см	Расчетные значения осадок по методам, см				
				последнего сум- мирования		Егорова	Цито- вича	неодно- родной среды
31-32	220	5,0	15	79,9	127,7	79,5	348,0	21,9
23	220	4,0	20-18	52,1	83,4	51,0	185	16,6
23	220	4,0	34	39,6	63,3	42	106,5	12,9
-	300	4,05	15-18	83,0	92,2	71,1	226,0	21,2
-	300	4,96	19,0	99,2	109,7	81,7	178,0	19,4
23	250	3,9	7,4	36,6	58,4	36,4	133,5	12,4
23-27	250	2,67	4-5	16,8	26,8	17,8	64,5	7,6
13-14	80	2,35	21,0	51,5	82,4	46,7	193,0	21,0
13-14	80	2,0	21,0	38,7	62,0	34,9	177,0	17,9

ний, практически отсутствуют. Дальнейшие задачи гидротехников, занимающихся прогнозированием этого явления, заключаются в том, чтобы создать более совершенные методы расчета.

Сравнение результатов расчета величин осадок, выполненного для некоторых плотин и зданий ГЭС, расположенных на сжимаемых грунтах (§ 1-2), с данными многолетних натурных наблюдений [2] показало, что расчетные значения осадок, полученные по методам суммирования К. Е. Егорова и Н. А. Цытовича, существенно больше (в 1,5-3,5 раза) фактически наблюдавшихся (табл. 1-5). Это несоответствие между наблюдаемыми и расчетными осадками объясняется как недостаточным совершенством расчетных методов, так и методов прогнозирования деформационных характеристик грунтов.

1.3. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ШВАМИ

Расстояние между швами и их расположение в сооружении решается в зависимости от высоты сооружения, характера основания, размера блоков и климатических условий, главным образом, от колебаний температуры наружного воздуха. Обычно скальные породы характеризуются большими силами сцепления в пределах до 2-8 и коэффициентами трения бетона по скале (0,6-0,8). Поэтому при таких основаниях требуется более частая разрезка сооружений температурными швами с учетом конструктивных особенностей каждого сооружения (плотины, здания ГЭС, шлюза и т. п.).

Так, например, в водосливных плотинах при больших пролетах сквозные температурные швы рекомендуется устраивать по осям быков. Кроме того, несквозные швы ("надрезы") могут устраиваться через каждые 10-12 м. В зданиях ГЭС сквозные температурные швы желательно устраивать между всеми агрегатами, независимо от расстояния между их осями.

В отдельных случаях, при надлежащем обосновании, а также при выполнении ряда мероприятий в период возведения сооружения (охлаждение воды и заполнителей, подбор марок и количества цемента, введение пластифицирующих добавок) допускается разрезка подводного массива здания ГЭС температурными швами через два агрегата (Кременчугская ГЭС).

Устройство часто расположенных температурных швов предопределяется стремлением уменьшить большие усадочные и температурные напряжения, которые могут возникнуть в сооружении в связи с тем, что подошва сооружения защемлена в скальном основании. Величина растягивающих напряжений уменьшается с уменьшением расстояния между постоянными деформационными швами.

В сооружениях, расположенных на несвязных сжимаемых грунтах (песках), расстояния между деформационно-осадочными швами могут быть значительно увеличены и определяются конструкцией плотины, характером основания и технико-экономическими соображениями. Увеличение расстояния между деформационными швами оправдывается тем, что коэффициент трения песчаных грунтов (0,35–0,45) и возникающие по контакту подошвы сооружения с основанием силы трения от температурных и усадочных деформаций будут значительно меньше, чем при скальном основании. Исходя из конструктивных особенностей каждого сооружения (плотины, здания ГЭС, шлюза и т. п.), может быть рекомендована менее частая их разрезка деформационными швами: в бетонных плотинах в пределах 35–40 м, в зданиях ГЭС – до 60 м (Волжская ГЭС и другие – через два агрегата), в шлюзах – до 40 м (табл. 1–6).

В сооружениях, расположенных на сжимаемых связных однородных грунтах (глина), характеризующихся величинами коэффициента сдвига 0,30–0,35, расстояние между деформационными швами можно принимать такими же, как и при песчаных грунтах основания. Под коэффициентом сдвига следует понимать коэффициент трения с учетом сцепления; его величина определяется по зависимости:

$$\operatorname{tg} \psi = f + c/p, \quad (1-12)$$

где f – коэффициент трения грунта; c – удельное сцепление грунта; p – удельное давление на грунт основания при расчетных условиях.

При малых значениях величины коэффициента сдвига в неоднородных сжимаемых связных грунтах (0,20–0,25) можно ожидать значительной неравномерности осадки сооружения. В этом случае количество сквозных деформационных швов рекомендуется уменьшать в несколько раз. Такое решение позволяет значительно уменьшить опасность неравномерных осадок секций сооружения. Что же касается несквозных температурных швов, то они могут устраиваться так часто, как это позволяют конструктивные особенности сооружения (плотины, здания гидроэлектростанции, шлюзы и т. п.).

В США расстояние между температурными швами зданий ГЭС принимается в зависимости от диаметра рабочего колеса турбины и от характера основания. Расстояние между температурными швами по длине плотины во всех сооружениях, выполненных Бюро Мелиорации США, изменялось в пределах от 9 до 24 м. Для небольших бетонных плотин расстояние между швами принималось 9–15 м (табл. 1–7).

В качестве примера разрезки деформационными швами сооружений, расположенных на податливых сжимаемых грунтах основания, можно привести Верхне-Сырскую ГЭС. Плотина при длине 111 м (три пролета по 37 м, в каждом пролете по два

Основные показатели уплотнений деформационных швов в
в некоторых гид

Гидроузел	Напор, м	Основание сооружений	Температуры наблюдаемые, °С		между деформ плотина
			мини- мальные	макси- мальные	
Братский	106,0	Траппы	-58,0	+35,0	22,0-22,0
Красноярский	100,0		-49	+39,0	15,0
Бухтарминский	67,0	Габбро	-43	+35,0	12,0 11,5
Усть-Каменогорский	37,0	Габбро	-51,0	+40	14,0 21,5
Мамаканский	46,5	Габбро	-60	+37	15,0
Кременчугский	19,5	Габбро	-15	+25	19,5
Каховский	17,0	Мелкие и сред- незернистые пески	-31,0	+40	47,0
Воткинский	23,0	Аргиллиты, алевролиты	-45	+30	48,0 (23,0-12,5)*
Волжский имени В. И. Ленина	29,0	Аллювиальные отложения	-38	+35	52,0
Волжский имени XXII съезда КПСС	27,0	Мелкозерни- стые пески	-28	+35	52,0 ВБ

* Несквозные швы.

температурных несквозных шва) и здание ГЭС при длине 117,7 м не имеют ни одного сквозного деформационного шва. Разрезка подводного массива здания ГЭС несквозными температурными швами осуществлена через каждый агрегат. По длине камеры шлюза сквозные деформационные швы устроены через 45 м; температурные несквозные швы - через 15 м.

Таблица 1-6

сооружениях, расположенных на разных грунтах оснований
роуэлах СССР

роуэлах СССР

Расстояние, м				Размеры шпонки, см	Работа уплотнений
ащонными швами		от напорной грани до уплотнений			
эдание ГЭС	шлюз	плотина	эдание ГЭС		
		2,5		110х80	Выпор мастики – течь на 5 шпонках
30,0		1,5		Металлические листы	Хорошая
19,0		4,0–5,0	4,0	30х30	Небольшая течь То же
22,0 и 28,3	25,0 (12,5)*	0,8 и 1,8	2,3	15х15 20х20	Небольшая течь То же
14,5		2,5		25х25	Хорошая
50,0	30 + 32,0 15,0 + 16	5,0	3,5	Резиновые 30х30	Хорошая То же
50,0	49,07	15,9 ВБ	7,3 ВБ 4,15 НБ	150х80 150х80 33х30	Небольшая течь Удовлетворительная Небольшая течь
55,0 24 НБ	31,5 (15)	2,5	3,75	120х80 80х80	Удовлетворительная То же
60,0	30,0	3,5 ВБ 19,0–25,0 НБ	11,4 ВБ 14,6 НБ	170х140 160х110 72х72	Небольшая течь То же " "
60,0	30,0	11,5 ВБ	+4,0 ВБ 8,5 НБ	170х140 160х110 80х80	Небольшая течь То же " "

Следует отметить, что в сооружениях гидроузлов Кайтакоски, Янискоски, Райякоски и др., построенных финской фирмой "Иматран Войма" на скальном основании и воспринимающих напор до 21 м, при эксплуатационных температурах наружного воздуха ниже -35°C

Некоторые характеристики постро

Гидроузел, страна	Реки	Тип плотины, высота, м	Год	Средняя годовая температура, °C
Альпе-Джера (Италия)	Кормор	$\frac{\Gamma}{175}$	1964	+20÷65
Баундари (США)	Пенд орил	$\frac{A}{119}$	1973	+10
Бау Муджерис (Италия)	Флумендоса	$\frac{K\Phi}{62}$	1951	+13,5
Гранд-Диксанс (Швейцария)	Диксанс	$\frac{\Gamma}{284}$	1961	+10
Дакан (Ирак)	Малый эаб	$\frac{A}{116,5}$	1961	+20
Джiovаретто (Италия)	Плима	$\frac{K\Phi}{87}$	1963	+10
Мареж (Франция)	Дордонь	$\frac{A}{100}$	1935	+14
Менжилъ (Иран)	Сафид-руд	$\frac{K\Phi}{102}$	1958	+20
Мовуазен (Швейцария)	Дранс д'Бань	$\frac{A}{237}$	1958	+10
Ствян (США)		$\frac{K\Phi}{30,4}$	1961	
Сарран (Франция)	Трюйер	$\frac{\Gamma}{114,5}$	1934	+15
Саъмынься (Китай)	Хуанхэ	$\frac{\Gamma}{100}$	1963	+28
Пон д'Авио (Италия)	Гессо	$\frac{K\Phi}{65}$	1957	-25÷+25
Империзл (США)	Колорадо	$\frac{\Gamma}{13,5}$	1940	

Примечание. А – арочная; Г – гравитационная; КФ – контрфорсная.

расстояние между температурными швами принято равным 6–8 м в плотине и 13–15 м – в здании ГЭС (поагрегатная разрезка). Небольшие расстояния между деформационными швами дают возможность обойтись шириной шва (у наружных поверхностей) в пределах 1–2 см.

енных плотин в зарубежных странах

Расстояние, м		Тип уплотнения	№ рисунков уплотнений	Работа уплотнения
между деформационными швами	от напорной грани до уплотнения			
6,0	0	Металлические листы	6-12	Удовлетворительная
16,0	-	То же	[7, рис. 2-26]	"
22,0	1,95	Асфальтовая шпонка	6-15	"
12+15	4,0	Медные листы	6-11	Небольшая течь
18,0	0,3 НБ	То же	[7, рис. 2-27]	Удовлетворительная
18,0	1,55	Резиновые	6-5	"
16,0	-	Широкий шов с цементацией		Небольшая течь
14,0	0,73	Резиновые	6-25	Удовлетворительная
16,0	1,2	"	6-24	
15,2	1,5	Полivinилхлоридные	6-7	Хорошая
18,5	1,07	Асфальтовая шпонка	6-27	Удовлетворительная
18,0	0,8	Медные листы, цементация	6-8, а	"
22,0	1,0	Асфальтовая шпонка	[7, рис. 2-6]	"
		Резиновые	3-18, б	Хорошая

На расположение деформационных швов оказывают влияние и требования устойчивости. По этой причине, например, в случае, если быки по расчету недостаточно прочные и устойчивые, швы устраивают не в плоскостях боковых граней быков, а на некотором расстоянии от

них — на водосливной части (см. гл. 3). Разрезка плотины швами в значительной мере зависит и от выбранного метода ее возведения. Так, возведение Днепровской плотины методом гребенки потребовало разрезки сквозными швами водосливной части плотины в середине каждого пролета. Кроме того, сквозным швом были отделены быки от водосливной части. Таким образом плотина оказалась разрезанной на массивы быков толщиной 3,25 м и массивы водосливной части по 6,5 м.

1-4. СХЕМЫ КОМПОНОВКИ УПЛОТНЕНИЙ В ШВАХ СООРУЖЕНИЙ

Расположение уплотняющих устройств в деформационных швах обуславливается типом и конструкцией сооружения и характером его работы. Они при разных инженерно-геологических и климатических условиях могут быть расположены по-разному. Однако во всех случаях это расположение должно отвечать следующему требованию: основное уплотнение деформационного шва должно быть непосредственно связано с противофильтрационным (подземным) контуром у подошвы сооружения — цементационной завесой, шпунтовой стенкой, зубом и другими конструкциями, соединяющими подошву сооружения с основанием.

Схема компоновки уплотнений в швах для различных сооружений и при различных напорах (рис. 1-8) решается применительно к условиям каждого из них. Здесь следует различать основные, вспомогательные и контурные уплотнения.

К основным уплотнениям относятся металлические диафрагмы с компенсаторами (медные, латунные, из нержавеющей стали), профилированные резиновые и полимерные ленты и асфальтовые шпонки. К вспомогательным (ограждающим асфальтовые шпонки и цементационные карты) относятся металлические диафрагмы с компенсаторами, резиновые и полимерные ленты, устанавливаемые по обеим сторонам основного уплотнения. Контурные уплотнения образуют железобетонные, деревянные брусья, резиновые и полимерные ленты, металлические диафрагмы.

Уплотняющие шпонки необходимо располагать в деформационном шве таким образом, чтобы в период эксплуатации сооружения температура асфальтовой мастики была положительной. При этом асфальтовая мастика сохраняет свою пластичность, текучесть, и ведет себя как высоковязкая жидкость, передающая давление по гидростатическому закону. При отрицательной температуре мастика становится хрупкой. При расхождении шва давление мастики падает, а при схождении — увеличивается. Во всех случаях при температурной деформации шва распределение давления мастики по высоте шпонки

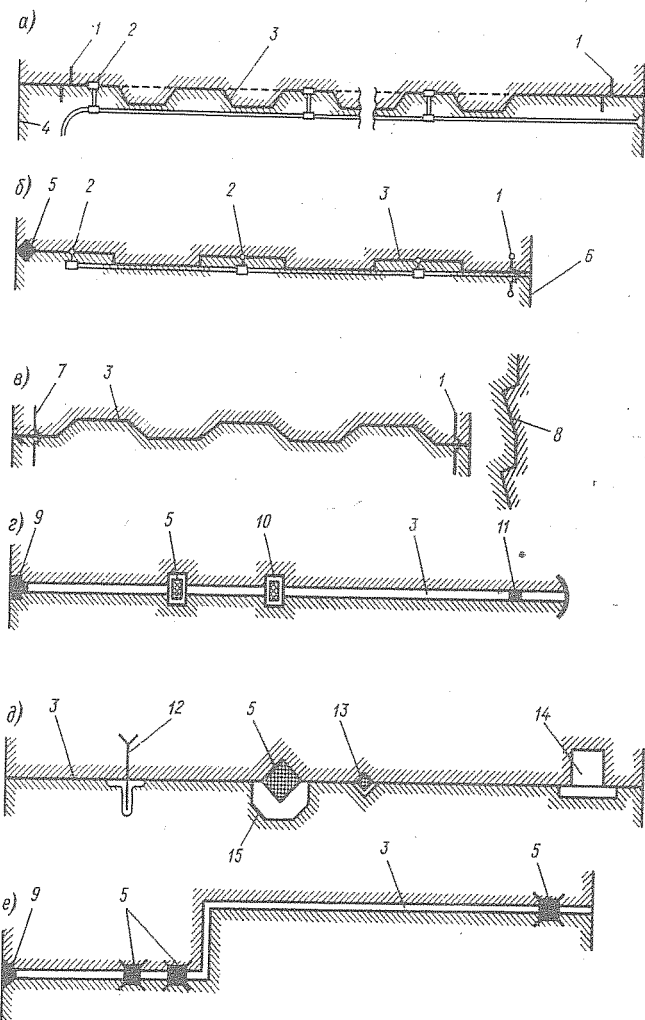


Рис. 1-8. Схема компоновки уплотнений в деформационных швах гидросооружений (горизонтальные разрезы): а - плотина Дакан (Ирак); б - плотина Кушман (США); в - плотина Чиркейской ГЭС; г - плотина Каховской ГЭС; д - Усть-Каменогорская плотина; е - Рыбинская ГЭС

1 - медный лист; 2 - цементационный клапан; 3 - полость шва; 4 - верховая грань плотины; 5 - асфальтовая шпонка; 6 - низовая грань; 7 - металлическая диафрагма; 8 - продольная полость шва; 9 - железобетонный брус; 10 - запасная шахта; 11 - железобетонный прямоугольный брус; 12 - металлическая диафрагма без компенсатора; 13 - просмоленный канат; 14 - дрена 20x20 см; 15 - бетонное корыто

обусловливается не только скоростью деформации полости шпонки, но и скоростью движения мастики в ней.

Характерен опыт эксплуатации уплотняющих устройств температурных швов в быках ограниченной толщины в плотинах и шитовых отделениях низконапорных русловых и деривационных гидроэлектростанций с безнапорной деривацией. Установлено, что в асфальтовых шпонках, расположенных перед пазами затворов и решеток, а также при наличии в пазовой конструкции большого количества арматуры и металлоконструкций, при плохой проработке бетона вокруг них создаются дополнительные условия для фильтрации воды в обход шпонки и по температурному шву (Верхне-Свирская, Кременчугская и другие гидростанции). Ликвидация фильтрации воды требует выполнения большого количества цементационных работ. Асфальтовые шпонки следует располагать не перед пазами затворов и решеток, а за ними. В быках толщиной более 2,5 м и при бесштрабном бетонировании закладных частей пазов фильтрация воды незначительна. В табл. 1-6 приведены основные показатели уплотнений деформационных швов в сооружениях, расположенных на разных грунтах.

В зависимости от климатических условий района расположения сооружения типовым проектом деформационных швов [29] рекомендованы следующие минимальные расстояния от асфальтовой шпонки до напорной грани сооружения: а) 1-2 м для районов со среднемесячной температурой наиболее холодного месяца до минус 20°C ; б) 2-2,5 м для районов со среднемесячной температурой наиболее холодного месяца ниже минус 20°C (или при частых сменах замораживания и оттаивания).

Другие виды уплотнений деформационных швов без асфальтовых шпонок, в виде металлических диафрагм, диафрагм из профилированных листов резины и пластмассовых материалов, должны быть расположены таким образом, чтобы выполнялись требования, налагаемые техническими и производственными условиями по выполнению уплотнений из этих материалов (см. гл. 3).

Принципиальные схемы контура уплотнений для различных условий и сооружений приведены на рис. 1-9: а, б, д - расположение уплотнений в температурных швах на скальных грунтах и в швах-надрезах на любых грунтах; в, г, е - расположение уплотнений в осадочных швах на сжимаемых грунтах при отсутствии дренажа в основании (в) и при наличии дренажа, соединенного с нижним бьефом (г); ж - система уплотнений при расположении камеры шлюза в верхнем бьефе, когда фильтрация воды всегда направлена внутрь камеры; з - уплотнения при расположении камеры шлюза в нижнем бьефе, когда направление фильтрации воды через швы при наполнении и ремонте меняется.

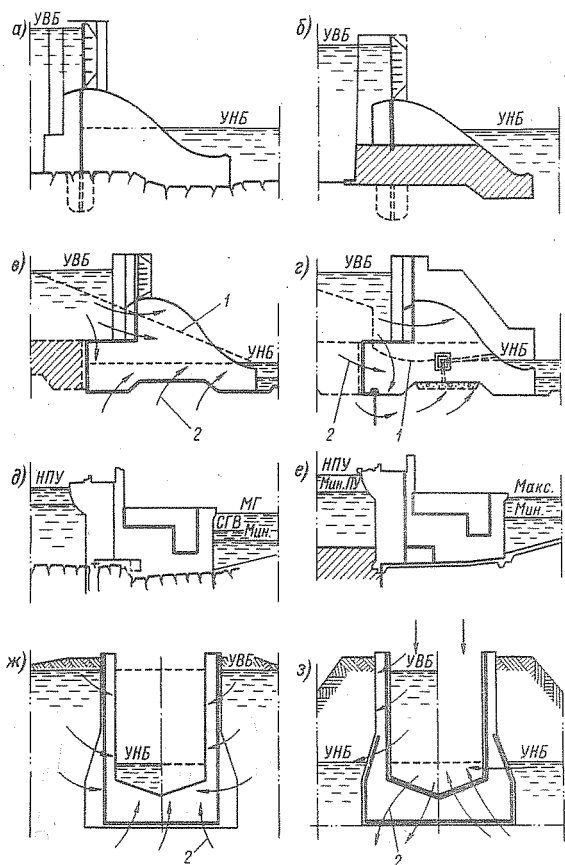


Рис. 1-9. Принципиальные схемы расположения контура уплотнений в деформационных швах гидротехнических сооружений

1 - линия пьезометрического уклона; 2 - направление фильтрации

Отличительной чертой расположения уплотнений температурных и узких осадочных швов в зданиях ГЭС по схеме на рис. 1-9, является разомкнутость контура уплотнения со стороны нижнего бьефа, благодаря чему обеспечивается свободный выход профильтровавшихся вод из температурного шва в нижний бьеф. Такой разрыв

в контуре обеспечивает возможность поддерживать воду в шве на уровне нижнего бьефа. Подвальные помещения в галереи в подводном массиве здания ГЭС могут быть защищены при помощи контурных уплотнений вокруг этих помещений на случай повышения уровня воды в нижнем бьефе.

Если все же устраивается замкнутый контур основного уплотнения температурного шва между турбинными блоками здания ГЭС, необхо-

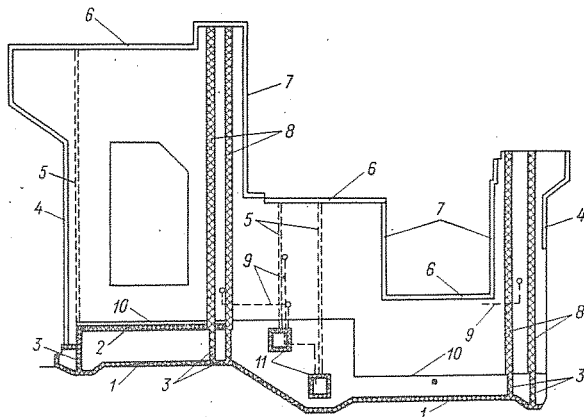


Рис. 1-10. Схема расположения уплотнений в широком деформационно-осадочном шве здания ГЭС с замкнутым контуром с верхней и нижней сторон, при частичном или полном осушении полости шва и при наличии неоднородного сжимаемого основания

1 - асфальтовая шпонка у подошвы сооружения; 2 - горизонтальная шпонка (по схеме рис. 3-12); 3 - асфальтовая шпонка в узкой части шва; 4 - ограждение широкого шва снаружи (по рис. 3-18, а); 5 - скважина подпитки; 6 - уплотнение шва в перекрытии (по схеме на рис. 3-18, б); 7 - уплотнение (по схеме на рис. 3-18, в); 8 - асфальтовая шпонка в широкой части шва (по схеме на рис. 3-3); 9 - осушение полости шва; 10 - граница узкой и широкой частей шва; 11 - контурные уплотнения с асфальтовыми шпонками (по схеме на рис. 3-19, в)

димо предусматривать отвод воды из шва в нижний бьеф при помощи труб. Такая система отвода дренажных вод из полости шва предусматривались в зданиях ряда гидроэлектростанций (Новосибирская, Кременчугская и др.). Такая же система отвода воды может быть устроена

и в узких осадочных швах зданий ГЭС, расположенных на слабосжимаемых основаниях.

В зданиях ГЭС, расположенных на неоднородных сжимаемых основаниях, устройство контурных уплотнений для защиты подвальных помещений вызывает значительные трудности. Поэтому в таких сооружениях единственной надежной защитой подвальных помещений от затопления фильтрационными водами шва будет полное или частичное осушение полости шва в систему дренажа подвальных помещений. Частичное осушение полости деформационного шва устроено в здании Воткинской ГЭС. Схема расположения уплотняющих устройств показана на рис. 1-10.

1.5. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ УПЛОТНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

Опыт строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений как в СССР, так и за рубежом показывает, что уплотнения деформационных швов могут быть выполнены в виде разных конструкций. Выбор этих конструкций следует производить на основании ряда условий, основными из которых являются:

- а) уплотняющие устройства деформационных швов должны быть просты в выполнении, надежны и долговечны в эксплуатации для рассматриваемых природных условий расположения сооружений;
- б) эти устройства должны быть наиболее экономичными;
- в) эксплуатация уплотняющих устройств должна быть связана с минимальными ежегодными издержками;
- г) конструкции уплотняющих устройств по возможности должны допускать выполнение ремонтных и восстановительных работ.

Выбор конструкции уплотняющих устройств должен производиться на основании стоимостных сопоставлений вариантов. Для этих сопоставлений рекомендуется пользоваться единичными стоимостями некоторых конструкций уплотнения, приведенных в § 5-4. Эти стоимости получены на основании обработки фактических сметных данных по ряду осуществленных стоек в СССР.

Не следует усложнять конструкции уплотнений, так как в большинстве случаев в трудоемких конструкциях реже обеспечивается высокое качество работ.

Большая разнотипность конструкций уплотнений усложняет производство работ и вызывает неритмичность в укладке бетона.

Следует стремиться к минимальному количеству типоразмеров уплотняющих устройств в швах одного сооружения и унификации принятых конструкций уплотнений, имеющих одинаковое назначение, для

всех сооружений ГЭС. Не следует допускать разные типоразмеры и конструкции уплотнений в разных сооружениях одного гидроузла. Отступления от этого правила могут быть допущены только при расположении отдельных сооружений гидроузла на грунтах с разными, резко отличающимися характеристиками.

Конструкция уплотнительных устройств тесно связана с шириной деформационного шва. На ширину шва влияет, в основном, неравномерная осадка грунта под основанием сооружения. Поэтому необходимая ширина шва на сжимаемых породах должна определяться только по расчету — температурным и деформационным характеристикам грунтов основания; для этого возможно использование данных, полученных натурными наблюдениями при долголетней эксплуатации сооружения с аналогичными грунтами основания для проектируемой конструкции ГЭС.

Опыт эксплуатации большого числа отечественных гидротехнических сооружений, расположенных в различных геологических условиях, показал, что ширина деформационных швов, определяемая по СНиП [29], является преувеличенной.

Излишняя ширина деформационных швов удорожает конструкцию уплотняющих устройств и сооружений в целом, осложняет условия производства работ и т. п. Кроме того, сложные конструкции уплотнений (асфальтовые шпонки) не всегда обеспечивают герметизацию шва.

Систематизация и обобщение материалов многолетних натурных исследований, проведенные нами для ряда гидроузлов, в частности, выполненный анализ определения осадок оснований секций сооружений и величин деформаций швов в различные периоды строительства и эксплуатации, позволяют прийти к выводу, что для улучшения условий работы, уменьшения затрат труда и стоимости возведения бетонных гидротехнических сооружений можно рекомендовать перейти на узкие деформационные швы в сооружениях высотой до 70 м, расположенных на сжимаемых основаниях. При этом ширину шва у гребня сооружения можно принимать максимум 5 см без дифференциации. Но в дальнейшем для конкретных проектов можно еще больше ее уменьшать, с учетом высоты и геологического строения основания сооружения, доводя в пределах фундаментной плиты до 1,0–1,5 см. Наклон секций сооружения в сторону верхнего и нижнего бьефов (вдоль потока) следует принимать не более 0,2 мм на 1 м высоты сооружения; вдоль сооружения (схождение и расхождение шва поперек потока) расчетный наклон секций может быть принят не более 1,0 мм на 1 м высоты сооружения [7].

Деформационный шов гидротехнического сооружения должен иметь ширину, которая может обеспечить секциям сооружения независимые перемещения, и уплотнения, создающие шву водонепроницаемость. Шов

должен иметь доступ для наблюдения за его состоянием и для ремонта уплотнения.

Заполнение полостей температурного и осадочного швов пластичным материалом в виде нескольких слоев асфальтовых матов, пасты, мастики в пределах подводной части сооружения не может считаться гарантией, обеспечивающей свободную деформацию или надежное уплотнение шва. Для обеспечения свободной деформации секций сооружения полость шва должна быть пустой (§5-2).

Для обеспечения водонепроницаемости плоских, штрабовидных и других швов в них устраиваются уплотнения, представляющие систему, состоящую из вертикальных и горизонтальных асфальтовых шпонок, резиновых, полимерных и металлических диафрагм и контурных (дополнительных) уплотнений.

Уплотнения деформационных швов выполняются из следующих конструктивных элементов. В температурных швах — из диафрагм металлических, профилированных резиновых и полимерных лент, а также из асфальтовых шпонок в сочетании с диафрагмами из перечисленных выше материалов, если применение последних технико-экономически обосновано.

В осадочных швах — из листов профилированной резины или полимерных материалов; из вертикальных и горизонтальных асфальтовых шпонок с ограждениями из железобетонных плит или в сочетании с металлическими, резиновыми и полимерными диафрагмами (для ограждения шпонок в узких швах); из вертикальных и горизонтальных асфальтовых шпонок в сочетании с резиновыми или полимерными прокладками и прижимными устройствами в виде металлических листов или железобетонных брусьев, плит (для ограждения шпонок в широкой части шва).

Контурные уплотнения, устраиваемые в местах пересечения деформационного шва с лицевыми гранями, гребнем сооружения и подошвой сооружения на сжимаемом основании, выполняется из железобетонных и деревянных брусьев и из диафрагм из металлических, резиновых и полимерных материалов. Описание конструкции и применение их изложено в § 3-4.

Во временных температурно-усадочных швах, в зависимости от конструкции шва, уплотнение может быть выполнено по-разному.

В узких температурно-усадочных швах уплотняющие устройства выполняются в виде металлических диафрагм, устанавливаемых с верховой и низовой сторон. Уплотнениями ограждаются отдельные карты площадью до 250 м². Полость шва между этими ограждениями цементируется. Цементация швов производится по мере необходимости, в соответствии с проектом. (Описание подготовительных работ и самой цементации изложено в § 2-4.)

Уплотнение широких температурно-усадочных швов с замыкающих траншей осуществляется путем заполнения полости шва бетоном или чистым гравием с нагнетанием на него цементного раствора (плотина Баундари). Такие заполнения целесообразно осуществлять после завершения основных усадочных деформаций в ранее уложенном бетоне.

Подобного рода заполнение узкого температурно-усадочного шва не всегда дает положительные результаты, если с каждой стороны заполнения не устанавливаются (со стороны бьефов по схеме рис. 1-8, а, в) металлические диафрагмы. Поэтому для уплотнения указанного шва на каждой его грани предусматриваются устройства, аналогичные тем, которые рекомендуются в широких температурно-усадочных швах. В подобных случаях уплотнению широкого температурно-усадочного шва способствует его клинообразная форма (§ 2-3).

Температурно-усадочные швы смешанной конструкции уплотняются в узкой части шва (у напорной и низовой граней) так же как узкие температурно-усадочные швы, но без цементации полости; в расширенной части уплотнение шва осуществляется по аналогии с широким температурно-усадочным швом.

За последнее время в зарубежной практике строительства арочных плотин (в США) начали получать распространение новые разновидности температурно-усадочных швов смешанной конструкции (см. гл. 2). В таких швах с верхней и низовой сторон, на ограниченной длине, устраиваются узкие швы. Уплотнение этих участков шва выполняется так же, как и узких швов. В средней части профиля арочной плотины устраивается расширенная часть шва, которая заполняется чистым щебнем. Заполненная щебнем полость расширенной части шва цементуется. Цементация щебеночного заполнения шва ведется снизу вверх при помощи системы трубопроводов, закладываемых в процессе возведения сооружений.

Некоторые схемы компоновки уплотнений швов показаны на рис. 1-8.

1-6. ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОНСТРУКЦИЮ УПЛОТНЕНИЙ

В настоящее время разворачивается строительство высоконапорных бетонных плотин в сейсмических районах нашей страны: Чиркейская (234 м), Ингурская (270 м), Токтогульская ГЭС (215 м), Саянская (235 м) и другие плотины.

В связи с большими нагрузками на сооружения, появлением значительных растягивающих напряжений, частичным раскрытием различных секционных и строительных швов при землетрясениях, конструк-

тивные мероприятия для повышения сейсмостойкости бетонных плотин и их отдельных элементов приобретают весьма большое значение.

Поиск и разработка наиболее рациональных конструктивных мероприятий, методов строительства, имеющих целью повышение надежности сооружений при землетрясениях, продолжаются во всех странах мира.

Анализ данных зарубежных стран о поведении бетонных плотин при землетрясениях приводит к выводу, что вероятность повреждения их не так мала, чтобы не учитывать ее как при оценке стоимости проектируемой конструкции, так и при оценке ее сейсмостойкости. С 1895 по 1972 гг. в районах расположения бетонных плотин во всех странах произошло не менее 30 землетрясений средней и сильной интенсивности и было не менее 10 случаев повреждений различной степени, а без всяких повреждений оказалось более 50 бетонных плотин различной высоты (табл. 1-8). Следует учитывать также возможные повреждения бетонных плотин, вызванные оползнями или некоторыми сдвигами оснований при землетрясениях.

Основной задачей обеспечения сейсмостойкости гидротехнических сооружений при их проектировании и строительстве является предупреждение возможности их разрушений или таких повреждений, которые могли бы вызвать катастрофические последствия [28].

Экономическим выгодным сооружение является в том случае, если сумма расходов на строительство сооружения и убытков, связанных с возможным ущербом, ремонтом сооружения, будет минимальной. В общем случае это условие можно выразить так:

$$Z = C + \sum_{i=1}^k p_i B_i = \min, \quad (1-14)$$

где Z - полные затраты; C - стоимость конструкции; B_i - ущерб в случае повреждения сооружения; p_i - вероятность повреждения (отказа) сооружения.

Статистический анализ повреждаемости бетонных плотин, проведенный нами по 60 бетонным плотинам, испытавшим землетрясения, показывает следующее: средняя частота повреждения арочно-гравитационных плотин минимальна - 0,05; арочных плотин - 0,2; гравитационных - 0,3; контрфорсных - 0,4. Для ориентировочных оценок можно полагать указанные величины близкими к вероятности повреждения.

Приведенные статистические оценки позволяют вычислить экономический эффект применения различных конструктивных мероприятий для повышения сейсмостойкости сооружения.

При выборе схемы разрезки бетонных плотин температурными и конструктивными швами следует учитывать наличие ослабленных

Таблица 1-8

Повреждения бетонных плотин при землетрясениях

Страна	Наименование сооружения	Дата землетрясения	Интенсивность землетрясения, баллы	Характер повреждения сооружения
США	Низкие водопропускные	18/IV 1906 г.	Высотой до 80 м 9	Водопроточные бетонные сооружения оказались разрушенными
	Низкая гравитационная плотина	21/VII 1952 г.	9-10	Разрушены три крайних тонких бычка служебного моста
	Низкие сооружения	23/VIII 1954 г.	9	Бетонные сооружения сильно повреждены
	Плотина Хоней-ике (30 м), многоарочная, длина по гребню $L_{гр} = 145$ м; толщина по гребню $b = 5,45$ м	Найкайское, 1944 г.	7-8	Появились трещины в центральных арочных ΔU секциях у контрфорсов, через трещины наблюдалось просачивание воды. Разрушилось основание у гравитационной части плотины, наблюдалось просачивание воды. Повреждения исправлены цементацией через буровые скважины
Италия	Плотина Туррита ди Галлиано (42 м)	1920 г.	9	Небольшие трещины в теле плотины
Алжир	Плотина Понтэба, Γ 18,0 м	9/IX 1954 г.	9-10	Появились трещины в бетонных устоях ΔU (размером до 10 см); тело плотины сместилось так, что на длине 80 м по гребню образовалось смещение уровней в 5,5 см. Управление затворами шлюзов стало невозможным

Страна	Наименование сооружения	Дата землетрясения	Интенсивность землетрясения, баллы	Характер повреждения сооружения
Англия	Плотина Блэкбрук, $\frac{\Gamma}{20,7 \text{ м}}$ длина по гребню $L_{гр} = 147 \text{ м}$	11/II 1957 г.	8-9	Многочисленные трещины, в основном, в верхней части плотины (на парапете, на водосливе, в теле плотины со стороны нижнего бьефа на 6 м ниже уровня воды, в устоях, в смотровом туннеле). Утечка воды возросла с 2,2 л/день до 909,2 л/день. Поврежденные части были заменены новыми
Высотой более 100 м				
США	Фолсом $\frac{\Gamma}{104 \text{ м}}$	1966 г.	8-9	Трещины в швах плотины
Испания	$\frac{A}{120 \text{ м}}$	1963 г.	средняя	Трещины в швах плотины
Индия	Плотина Койна, $\frac{\Gamma}{101 \text{ м}}$ бутобетонная (камень от 100 мм до 400 мм укладывался в слой бетонной смеси)	10/XII 1967 г.	8-9	Появились многочисленные трещины, через которые фильтровалась вода (на различных уровнях плотины). Специальная комиссия рекомендовала произвести усиление плотины [32]. Для ремонта трещин и соединений использовалась полиэстеровая грунтовка*. Используются также преднапряженные тросы для укрепления блоков**

* Полиэстеровая грунтовка - материал на основе стекловолокна и сложных полиэфиров.

** Преднапряженные тросы также для повышения сейсмостойкости арочной плотины Качи (Коста-Рика) напряжены силой 900 тс.

зон в основании плотины или в береговых склонах, предусматривая [28] конструкции, допускающие деформации частей сооружения без нарушений водонепроницаемости напорного фронта.

Применение различных конструктивных мероприятий, направленных на повышение сейсмостойкости бетонных плотин, приводит также к улучшению напряженного состояния в местах уплотняющих устройств в деформационных швах.

Рассмотрим некоторые примеры уплотняющих устройств в плотинах, выдержавших землетрясения.

Плотина Империл (США) высотой 13,6 м, расположенная на сжимаемом основании, выдержала 9-балльное землетрясение (1940 г.). При этом резиновые уплотнения между деформационно-осадочными швами не получили повреждений, и фильтрации воды через них не наблюдалось, несмотря на смещения секций плотины относительно друг друга на 50 мм [7]. Большие смещения секций плотины Империл можно объяснить теми же причинами, которые вызвали аналогичные смещения на плотине Койна (Индия). При исследовании продольных, поперечных и других колебаний плотины Койна принималось предположение о независимости колебаний отдельных секций, которая означала, что секции различных размеров колеблются как несвязанные друг с другом: имеют различные собственные частоты колебаний и другие параметры. По известным данным, секции плотины Империл также колеблются независимо друг от друга.

По ориентировочным оценкам низшая частота колебаний секции плотины составит не более 3 Гц, коэффициент затухания колебаний небольшой. А. П. Синициным показано*, что при движении сейсмической волны под сооружением эпюра давлений на упругое полупространство меняется со временем. Это изменение эпюры давлений во времени объясняет возникновение противофазных колебаний секций. Секции могут испытывать колебания с амплитудой до 25 мм при 9-балльном землетрясении^{***}, а относительно друг друга перемещения могут достигать 50 мм.

Гравитационная плотина Оуд Фодда высотой 100 м [17] выдержала 7-8-балльное землетрясение при заполнении водохранилища в 1932-1933 гг., а также землетрясение интенсивностью 9 баллов в 1954 г. Арочная плотина Паконма (США) выдержала сильное землетрясение 9 февраля 1971 г. Район расположения плотины считался 6-балльным, однако стандартными акселерографами были зарегистрированы рекордные ускорения на скале в каньоне плотины — до $1g$ (ускорение силы тяжести). Полагают, что запись акселерограммы не подлежит сомнениям, однако на скале в районе установки

* Синицин А. П. Практические методы расчета сооружений на сейсмические нагрузки. М., Стройиздат, 1967. 144 с. с ил.

*** Медведев С. В. Инженерная сейсмология. М., Стройиздат, 1968. 284 с. с ил.

акселерографа были трещины. Уплотняющие устройства плотины не повреждены, конструкция их подробно описана в работе [13].

У плотины Кегумской ГЭС, несмотря на близость попадания тяжелых авиабомб в период Великой Отечественной войны, большинству асфальтовых шпонок сохранили водонепроницаемость шва. Большинство бетонных плотин Японии: Наруто (94,5 м), Огати (149 м), Куробегава-4 (100 м), Икава (103,6 м), Тонояма (64,5 м) и другие после землетрясений 1923, 1944, 1959 и 1964 гг. не имели никаких повреждений.

Некоторые примеры уплотняющих устройств в швах плотин, выдержавших землетрясения без всяких повреждений, приведены в табл. 1-9.

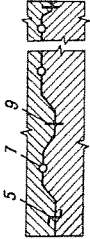
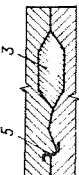
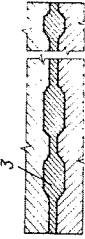
Национальной лабораторией Португалии были рекомендованы следующие мероприятия для арочной плотины Качи (Коста-Рика), строящейся в сейсмически активном районе. Швы между арочной частью и бетонными устоями оборудованы плоскими медными диафрагмами, в которые впоследствии под давлением подается цементационная смесь. Рекомендовано также легкое армирование наружных граней плотины и предварительное обжатие четырьмя горизонтальными тросами [9] расположенными на гребне плотины в специальной траншее. После натяжения тросов ликвидируются все пустоты вокруг диафрагм; тросы не допускают также большого раскрытия швов при колебаниях, что уменьшает напряжения в диафрагмах без увеличения их жесткости и всего сооружения.

По-видимому, применяемые для таких целей тросы должны быть такой конструкции, чтобы была исключена возможность появления волнообразования при вибрациях в условиях растяжения тросов под нагрузкой: количество прядей в тросах во внутренних и наружных слоях должно быть подобрано из условия "некрутящегося" троса. Схема заделки тросов может быть такой, как представлена на рис. 1-11. В бетоне береговых устоев с условием возможного вращения заделывается вал с резьбой 9. Тросы на концах расплетаются и равномерно укладываются по окружности конуса. Конус 2 захватывается планкой 4 с помощью 10-15 шпилек. Корпус 7 захвата троса соединяется через рымы с муфтой 8, которая, двигаясь при вращении вала, осуществляет натяжение троса.

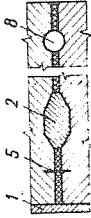
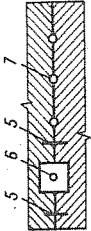
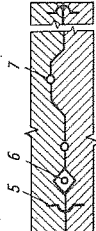
Специальные исследования и расчеты деформационных швов бетонных плотин на сейсмостойкость, по-видимому, проводились в некоторых странах. Подобные исследования и расчеты известны для антисейсмических швов зданий и трубопроводов.

Характер разрушений зданий при землетрясениях свидетельствует о возможности взаимных ударов [30] конструкций при недостаточных размерах антисейсмических швов, разделяющих смежные отсеки

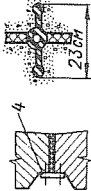
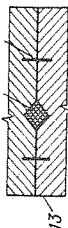
Таблица 1-9
Некоторые данные о плотинах, выдержавших сейсмические воздействия без повреждений

Гидроузел, страна	Тип плотины Высота, м	Годы строительства	Дата земле- трясения	Интенсив- ность зем- летрясения, баллы	Рассто- яние между швами, м	Работа шла до земле- трясения	Схема уплотнений
Стиг (Оуд Фод- да) Алжир	$\frac{\Gamma}{100,0}$	1932	9 сентября 1954 г. [17]	9	15 - 20	+	
Шпиталлам Швейцария	$\frac{\Lambda \Gamma}{114,0}$	1924-1932	25 января 1946 г. [17]	7	12 29,8	+	
Барберин Швейцария	$\frac{\Gamma}{85,0}$	1920-1925	25 января 1946 г.	7	20-25	- течь 1 л/с	

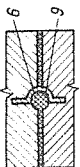
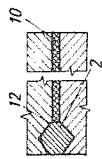
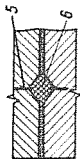
Продолжение табл. 1-9

Гидроузел, страна	Тип плотины Высота, м	Годы строительства	Дата земле- трясения	Интенсив- ность зем- летрясения, баллы	Расстоя- ние между швами, м	Работа шла по земле- трясения	(Хема уплотнений)
Гранд-Кули США	Г 198,0	1933-1942	1964 г. /197	8	15,2	+	
Болдер (Гувер)	АГ 222,0	1930-1935	1940 г. 1944 г.	7	15,0 временные	+	
Пакоима США	А 114,0	1930	9 февраля 1971 г.	8 9	16,7	+	

Продолжение табл. 1-9

Гидроузел, страна	Тип плотины Высота, м	Годы строительства	Дата земле- трясения	Интенсив- ность зем- летрясения, баллы	Рассто- яние между швами, м	Работа шла до земле- трясения	Схема уплотнений
Империэл США	Г 13,5	1930-1940	18 мая 1940 г.	9	20,0	+	
Моррис США	Г 114,2	1955	Испытана Мошные взрывы	8	25,0	+	
Икаве Япония	КФ 103,6	1960	1964 г.	7	14,0	+	

Продолжение табл. 1-9

Гидроузел, страна	Тип плотины Высота, м	Годы строительства	Дата земле- трясения	Интенсив- ность зем- летрясения, баллы	Расстоя- ние между швами, м	Работа шва до земле- трясения	Схема уплотнений
Кегумская СССР	Г 23,6	1936-1939	Взрывы бомб	-	10,0	+ 16 лет	
Люней Италия	А 135,0	1950	1959 г.	8	Периметр, шов	+	
Экран наброс- ной плотины Шинг-Мук Китай	КН 83,8	1959	1959 г.	8	15,0	+ 3 года	

Примечание. А - арочная; Г - гравитационная; АГ - арочно-гравитационная; КН - камено-набросная; КФ - контрфорсная. На схемах обозначено: 1 - торкрет; 2 - ж/б брус; 3 - бетон; 4 - резина; 5 - медный лист; 6 - шпонка; 7 - цементационная труба; 8 - колодец; 9 - стальной лист; 10 - стальная смазка; 11 - слой фанеры; 12 - пластичный бетон; 13 - верхняя грань; + - удовлетворительная работа.

зданий. Секции должны отстоять друг от друга на расчетную величину сейсмического смещения, равную сумме перемещений двух смежных секций при колебаниях, перемещений вследствие температурного расширения и некоторого небольшого запаса.

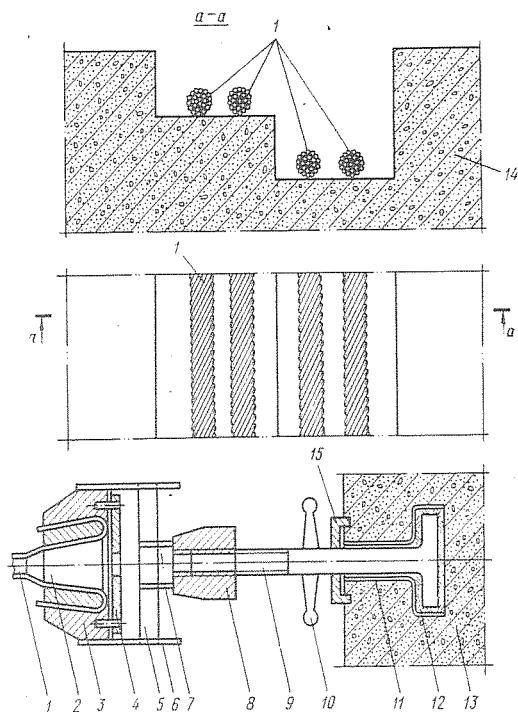


Рис. 1-11. Схема расположения тросов, их натяжения и крепления

1 - тросы; 2 - зажимающий конус; 3 - зажимная муфта; 4 - прижимная планка; 5 - вал; 6 - захваты для вала; 7 - стойки; 8 - муфта с резьбой; 9 - нарезной вал; 10 - рукоятка; 11 - специальная втулка; 12 - смазка; 13 - бетон береговых устоев; 14 - секция плотины; 15 - стопорящее устройство

При проектировании трубопровода под заливом Сан-Франциско [47] основным обстоятельством, определяющим конструкцию системы туннеля и вентиляционных сооружений, было то, что в этом районе

возможны сильные землетрясения. Так как трубопровод и вентиляционные сооружения имеют различную жесткость, колебания этих конструкций при землетрясении будут также различными. Это различие форм колебаний следует учесть при проектировании, чтобы не допустить высокой концентрации напряжений и последующего разрушения. Расчетные смещения оказались слишком велики для жесткой связи этих конструкций, и поэтому необходимо было проектировать гибкое соединение, обеспечивающее водонепроницаемость конструкций. Чтобы определить влияние землетрясения на смещения трубопровода и вентиляционных сооружений, были проведены специальные исследования. Соединение проектировалось таким образом, чтобы оно допускало расчетные смещения и сохраняло водонепроницаемость под давлением $3,5 \text{ кгс/см}^2$, а также выдерживало дополнительную нагрузку от грунта и воды, появляющуюся при землетрясении. Оказалось, что наиболее целесообразным в данном случае является скользящее соединение. Схема такого устройства показана на рис. 1-12. Воротник 1 представляет собой кольцевую секцию, которая охватывает трубопроводы разного диаметра по поверхности скольжения. Трубы на концах укрепляются bracketами и ограничительным кольцом. Все стальные поверхности в контакте с уплотняющими резиновыми прокладками покрыты специально обработанным материалом с минимальным коэффициентом трения. Тросы 3 служат для того, чтобы осуществить более плотный контакт между поверхностями воротника и трубопроводов. Тросы должны быть прочными и гибкими, чтобы они не разрушались при возможных движениях воротника и передавали нагрузки от воротника на хорошо укрепленные концевые части труб. При испытаниях тросов в лаборатории воспроизводились деформации, характерные для условий работы тросов при землетрясении. После 80 циклов внецентренной знакопеременной нагрузки тросы доводились до разрушения (максимальная нагрузка — 96 тонн). Прокладки испытывались на давление $5,6 \text{ кгс/см}^2$, что позволило определить герметизирующую способность прокладок. Модель изготовленного соединения испытывалась в течение 3,5 месяцев при давлении $3,5 \text{ кгс/см}^2$. Во время этих испытаний просачивания воды не наблюдалось. Специальные башмаки 6 закрывают соединение в ненапряженном состоянии, а при движении воротника прижимают уплотнение в тех местах, где сдвинулся воротник. Подробное описание конструкции соединения и всех проведенных исследовательских и монтажных работ приведено в [47].

Расчетные перемещения высоких арочных плотин при колебаниях в условиях 9-балльных землетрясений, определенные без учета раскрытия швов, достигают 60 мм на гребне, на расстоянии 2/3 от гребня перемещения составляют 10-15 мм, а в нижней трети —

несколько миллиметров. Температурно-усадочные швы необходимо располагать на тех участках, где перемещения, определенные по общему динамическому расчету, минимальные. В зависимости от конструкции расчет перемещений арочной плотины непосредственно интегрированием волновых уравнений теории оболочек при заданной акселерограмме может показать, что узловых линий с нулевыми перемещениями нет. Поэтому целесообразно применять специальный метод расчета, так как он позволяет раскрывать узловые линии по каждой

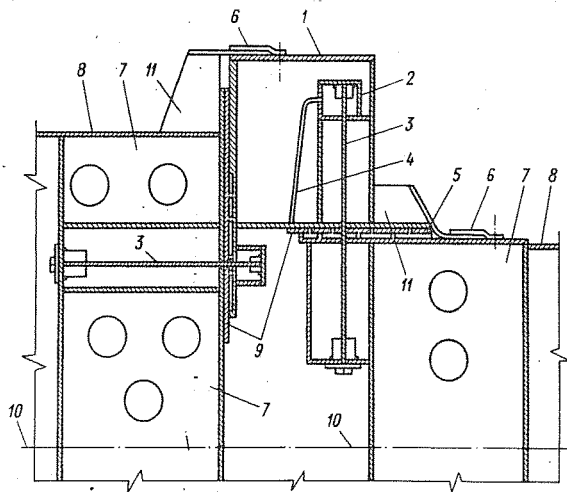


Рис. 1-12. Схема скользящего соединения трубопровода (по дну залива Сан-Франциско)

- 1 - воротник; 2 - устройство для смазки и натяжения троса;
- 3 - трос; 4 - трубка для подачи смазки; 5 - набивка сальника;
- 6 - ограждающее башмачное устройство; 7 - bracket; 8 - наружная поверхность трубы; 9 - материал с минимальным коэффициентом трения; 10 - продольная ось симметрии трубопроводов; 11 - ребра жесткости

форме колебаний. Необходимо выявлять такую форму колебаний, когда в узловых линиях возможно по другим технологическим условиям располагать швы, а перемещения по другим формам в этих местах минимальны.

Для повышения сейсмостойкости бетонных плотин и их элементов рекомендуется применять сравнительно недорогостоящие конструктив-

ные мероприятия. К ним относятся: усиление уплотняющих устройств дублирующими уплотнениями из профилированных резиновых, поливинилхлоридных, эластопластиковых, металлических диафрагм с гофрированными профилями, как показано на рис. 3-4, а также асфальтовыми шпонками, заполненными битумными герметиками и другими резино-битумными мастиками.

Анализ имеющихся литературных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. При определении стоимости сооружения и отдельных элементов необходимо учитывать вероятность повреждения и возможный ущерб; при этом экономическая эффективность конструкции определяется уменьшением вероятности повреждения и возможного ущерба (с учетом стоимости уплотняющих устройств той или иной конструкции).

2. При выборе конструкций уплотняющего устройства деформационных швов следует учитывать, что для отечественных сооружений необходимо проводить специальные исследования, как показано выше.

3. Уплотняющие устройства должны выдерживать перемещения секции в центральных частях многосекционного сооружения большие (на 30%), чем вычисленные для данного места расположения шва при колебаниях сооружения от землетрясения заданной интенсивности; для береговых секций в условиях узких каньонов зазоры швов могут быть меньше указанных при условии заполнения зазора специально выбранными герметизирующими составами; устройства должны выдерживать гидростатическое и гидродинамическое давление жидкости.

4. Наиболее надежные конструкции уплотнений деформационных швов плотин различного типа в зависимости от интенсивности землетрясений приведены в табл. 6-2.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНСТРУКЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

2-1. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ (ТЕМПЕРАТУРНЫЕ) ШВЫ

В зависимости от назначения деформационного шва его конструкция должна соответствовать свойствам грунтов основания, климатическим условиям района строительства, напору воды на сооружение, его типу и конструкции.

Конструкция деформационного шва должна быть технологичной, простой, должна обеспечивать простоту выполнения строительно-монтажных работ по его устройству в любое время года, с минимальными затратами труда и материально-технических ресурсов; должна гаран-

тировать долговечность эксплуатации сооружения без больших затрат на восстановительные работы.

Деформационный шов состоит из полости, ее заполнения и уплотнения, которые обеспечивают водонепроницаемость и являются основными, а также наиболее сложными элементами дренажных и контрольных устройств. В зависимости от конструктивных особенностей состав шва решается различно.

Некоторые схемы деформационных швов массивных сооружений показаны на рис. 1-8. Деформационные швы бывают плоские (рис. 1-8, г, д), штрабовидные (рис. 1-8, а, б, в) и ломаные (рис. 1-8, е). Плоские швы просты при производстве работ, поэтому они получили наибольшее распространение. Штрабы в швах обычно бывают трапециевидного сечения и реже прямоугольные. Трапециевидные швы менее водонепроницаемы, нежели плоские. Однако они не могут без уплотнений являться преградой против фильтрации.

Основное назначение штраб — передать сдвигающие усилия от одной секции сооружения к другой и, таким образом, заставить два соседних массива работать на сдвиг совместно. Ломаные швы применяются, главным образом, в зданиях ГЭС по условиям размещения спиральных камер, отсасывающих труб и прочих помещений.

По конструктивному решению деформационные швы бывают сквозными и несквозными (рис. 2-1). Сквозными швами сооружения разрезаются от гребня до основания и от верховой до низовой грани, а несквозными, или так называемыми швами-надрезами, только в верхней части, в промежутке между сквозными швами [29], в тех случаях, когда в нижележащих частях сооружения не ожидаются значительные колебания температуры и усадки бетона. Цель устройства швов-надрезов — уменьшить число сквозных швов. Швы-надрезы располагают на глубину распространения практически ощутимых колебаний температуры (2,5-6,0 м).

Конструкция несквозных швов в сооружениях, расположенных на сжимаемых основаниях, аналогична конструкции сквозных швов в сооружениях на скальном основании. Полость температурного шва в сооружениях, расположенных на однородном скальном основании, может быть не прямолинейной, а в виде штраб и ступеней. Для придания свободы деформации секции сооружения центральной части поверхности шва окрашивается эмульсионными растворами из разжиженного битума или полимерных материалов; в зависимости от климатических условий на расстоянии 2,5-3,5 м от напорной грани и 2,5-6,0 м от низовой грани [7] полость шва шириной 0,5-1,0 см оклеивается несколькими слоями толя, просмоленным войлоком, асфальтовыми матами, асфальтовыми плитами и другими материалами, затем бетонируется соседняя секция.

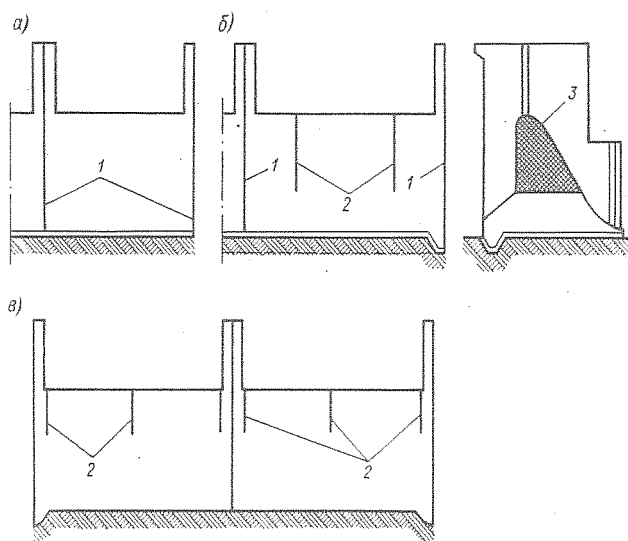


Рис. 2-1. Схема разрезки сооружения на сжимаемом основании деформационными швами: а – только сквозными швами; б – смешанной системой сквозных и несквозных швов; в – только одними несквозными швами

1 – деформационно-осадочные швы; 2 – температурные швы;
3 – полость шва

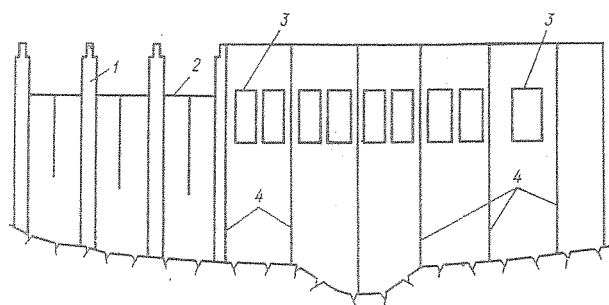


Рис. 2-2. Температурные швы плотины с водопропускными отверстиями на однородном скальном основании

1 – бык; 2 – водослив; 3 – водовод; 4 – температурный шов

В сооружениях, расположенных на прочных скальных основаниях, несковзные швы можно располагать в пределах пролетов (рис. 2-2). Все деформационные швы, как правило, выполняются вертикальными на всю высоту шва. Однако в отдельных случаях сквозные температурные швы могут иметь отклонения (на ограниченной длине) от вертикальной плоскости.

Температурные швы могут иметь также изломы в плане. В этом заключается основное отличие их от деформационных швов в сооружениях, расположенных на сжимаемых основаниях. Впервые такие температурные швы были выполнены в здании Днепровской ГЭС имени В. И. Ленина. В последующем они получили распространение в сооружениях других гидроэлектростанций. Допустимость излома температурных швов оправдывается тем, что на прочном скальном основании в деформационных швах могут возникнуть только горизонтальные перемещения секций сооружения.

При устройстве шва с изломами в плане в некоторых случаях проявляется недостаток такой конструкции. Штрабы в плотинах являются местами, где происходит концентрация напряжений, что может привести к образованию трещин в бетоне [13].

В массивных сооружениях, в которых секции работают независимо друг от друга, нет смысла в штраблении швов.

Новые конструкции деформационных швов в ФРГ

Для уменьшения температурных напряжений, возникающих в бетонных плотинах в зоне контакта подошвы 1 секций 2 с основанием 3, предлагается вместо обычной разрезки плотины вертикальными швами выполнить температурные швы наклонными или включить в состав плотины клиновидные элементы 4, имеющие поверхности скольжения 5 по контакту с основными секциями. Клинovidные элементы уменьшают длину заземления основных секций и создают горизонтальные силы h , препятствующие возникновению температурных трещин. Высота этих элементов должна быть достаточной для снятия опасных температурных напряжений, падающих по мере удаления от основания (рис. 2-3).

Для перераспределения и уменьшения растягивающих напряжений на верховой грани и в теле гравитационной и контрфорсной плотин предлагается вдоль их верховой грани на небольшом расстоянии от подошвы устраивать один или несколько швов-надрезов (рис. 2-4). Швы-надрезы 1 заполняются пластичным материалом 3, например асфальтом, упруго деформирующимся от действующих нагрузок и полностью или частично освобождающим напорную грань плотины от

растягивающих напряжений. Асфальт по шву укладывается полосами с промежутками между ними и под действием вышележащего бетона растекается по всей поверхности шва. Для придания асфальту пластичности в швах предусмотрена система электронагрева в виде U-образных проволочных петель, расположенных между слоями асфальта.

С верхней стороны швов-надрезов устраиваются противофильтрационные уплотнения 2 в виде металлических диафрагм.

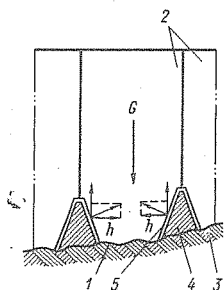


Рис. 2-3. Секция плиты с разрезкой температурного шва в основании наклонными или клиновидными швами

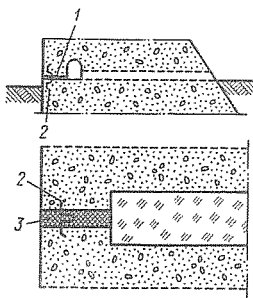


Рис. 2-4. Поперечный разрез плиты горизонтальными швами-надрезами

2.2. ДЕФОРМАЦИОННО-ОСАДОЧНЫЕ ШВЫ

Такие швы допускают независимые горизонтальные и вертикальные перемещения секций сооружения и их повороты. Осадочные швы устраиваются всегда сквозными.

В практике проектирования гидротехнических сооружений на сжимаемых грунтах обычно принимают шов переменной ширины (рис. 2-5). Внизу (в пределах фундаментной плиты и примерно на $1/3$ его высоты от подошвы) ширина шва должна быть около 1-2 см. Она образуется наклейкой податливых материалов или оставлением деревянной опалубки. На остальной части сооружения (около $2/3$ высоты) ширину шва принимают до 5 см - при наличии в основании несвязных грунтов (такие швы принято называть узкими осадочными швами) или до 10 см - при связных неоднородных грунтах основания. Ширину шва более 10 см (широкие швы) применяют при возможности больших неравномерных осадок секций сооружения из-за наличия неоднородных сильно сжимаемых грунтов основания.

Разрезка сквозными швами массивных гидротехнических сооружений на сжимаемых грунтах размещением швов несколько отличается от разрезки сооружений на скале. Здесь приходится считаться с неблагоприятными последствиями неравномерных осадок. Например в плотинах с водосбросными и водоприемными отверстиями, перекрываемыми затворами, осадочные швы назначаются в пределах быков. Устраивать такие швы в пределах пролетов нецелесообразно, так как при вертикальном смещении или повороте секции сооружения может

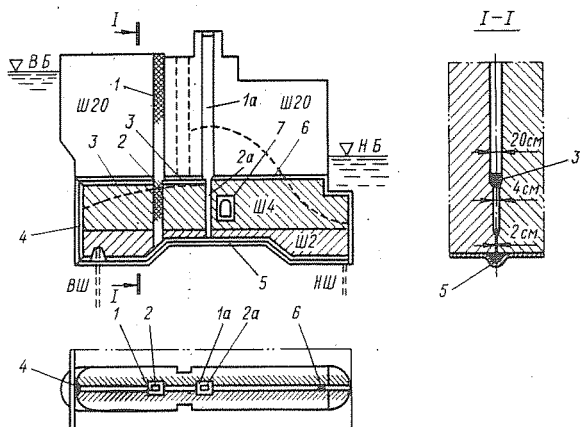


Рис. 2-5. Размещение уплотнений в деформационных швах и швах-надрезах массивного гидросооружения на сжимаемом основании (размеры в см)

1 - асфальтовая шпонка 150x80; 1а - запасная шахта; 2 - асфальтовая шпонка 60x80 на узкой части шва; 2а - запасная шахта; 3 - горизонтальная асфальтовая шпонка; 4 - уплотнение из деревянного бруса; 5 - горизонтальное уплотнение (донное) у подошвы основания; 6 - уплотнение из просмоленного каната; 7 - внутреннее контурное уплотнение вокруг галерей; Ш2, Ш4 и Ш20 обозначена ширина полости шва; ВШ и НШ - верховой и низовой шпунтовый ряд

произойти заклинивание затвора в пазах или такая деформация пролета отверстия, в результате которой будет затруднено маневрирование затворами. Чтобы избежать этого, водосливные плотины на сжимаемых грунтах чаще всего разрезают сквозными швами не по водосливной части или грани быка, а по его оси, так что тело водослива составляет с быками единый массив. Кроме того, разрезка по быкам обосновывается тем, что давления на грунт под быком часто бывают

выше допустимых из-за большого веса быка и действия на него больших нагрузок (давления затворов, давления льда и др.). В пределах пролетов отверстий обычно применяются только несквозные температурные швы [13]. Сквозные швы могут быть в каждом быке или через один бык и даже реже. Чтобы не допустить неравномерных осадок секций, иногда даже длинные сооружения устраивают без сквозных швов. Последнее делается в случае неоднородного геологического строения основания, когда отдельные пролеты могут оказаться над слабыми линзами и потому будут менее устойчивы. Так, например, фундамент здания Нижне-Свирской ГЭС представляет собой неразрезную плиту длиной 110 м [7].

2.3. ВРЕМЕННЫЕ (СТРОИТЕЛЬНЫЕ) ШВЫ

Строительными швами называются временные швы, которыми сооружение разрезается на блоки бетонирования. Эти швы предназначены для предупреждения трещинообразования в бетонной кладке, которое называется экзотермией свежесложенного бетона и последующим его остыванием. Временные швы подразделяются на блочные и радиальные, называемые температурно-усадочными. Радиальные швы устраиваются в арочных плотинах. Для обеспечения монолитности межблочных строительных швов бетонных сооружений технические условия требуют производить насечку поверхностей блоков.

Однако опыт эксплуатации показал, что при самой тщательной обработке вертикальных поверхностей блоков в строительных швах (Днепровская ГЭС имени В. И. Ленина, Кременчугская ГЭС и др.) не удается обеспечить их монолитности. Основной причиной нарушения монолитности во внутренних частях массива является экзотермия бетона. Ввиду невозможности достижения монолитности вертикальных строительных швов между блоками, обработка вертикальных поверхностей швов, в последующем немонолитных, не требуется, нет необходимости и в насечке их поверхностей.

В цементных швах необходимо удалять наплывы бетона-раствора и заусеницы. Горизонтальные поверхности блоков подготавливаются в соответствии с требованиями ВСН 009-67 Минэнерго СССР. Насечку производить пневмударным инструментом не следует. Насечку горизонтальных поверхностей в летнее время лучше всего производить примерно через 5-10 ч после окончания укладки бетона, водяной струей с давлением 3-5 атм или металлической щеткой с промывкой водой с давлением до 2 атм.

В современной практике строительства высоких массивных гравитационных плотин и аналогичных плотин с расширенными швами (тип

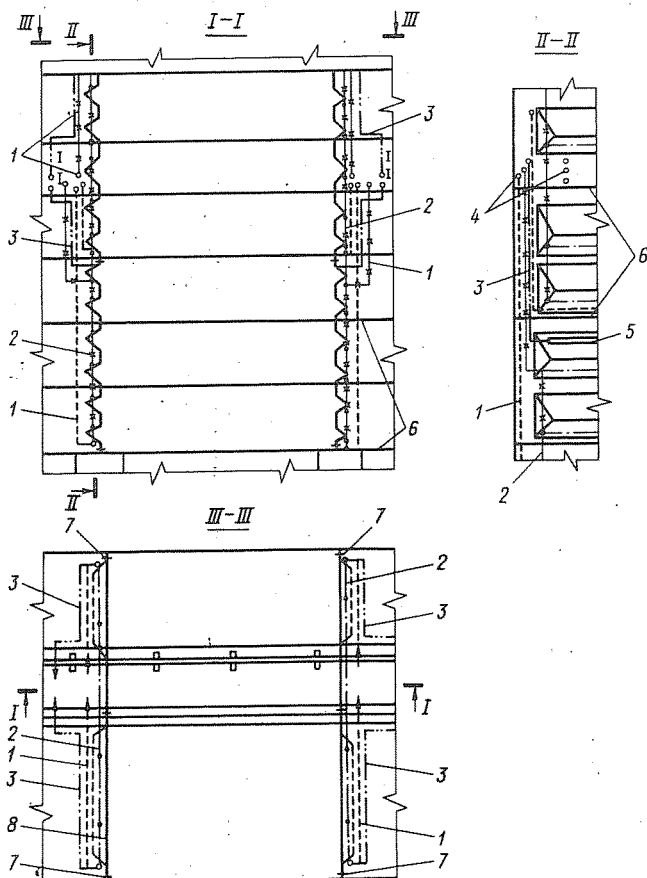


Рис. 2-6. Столбчатая разрезка плотины и схема цементации температурных швов

1 - коллектор 1 $\frac{1}{2}$ " ; 2 - питающие трубы с цементационными выпусками; 3 - воздухоотводящая труба; 4 - вывод цементационных труб в продольную галерею; 5 - воздухоотводящая штраба; 6 - горизонтальные строительные швы между ярусами бетонирования; 7 - металлические листы, ограждающие цементационные карты; 8 - вертикальный шов

плотин Братской и Красноярской ГЭС) возведение сооружения, как правило, осуществляется блоками со столбчатой разрезкой. Расстояния между столбами принимаются 12–15 м. После достижения среднегодовой температуры и усадки бетона столбчатые швы подлежат цементации (рис. 2–6).

Для уплотнения временных горизонтальных блочных швов применяются деревянные просмоленные доски, металлические листы и др.

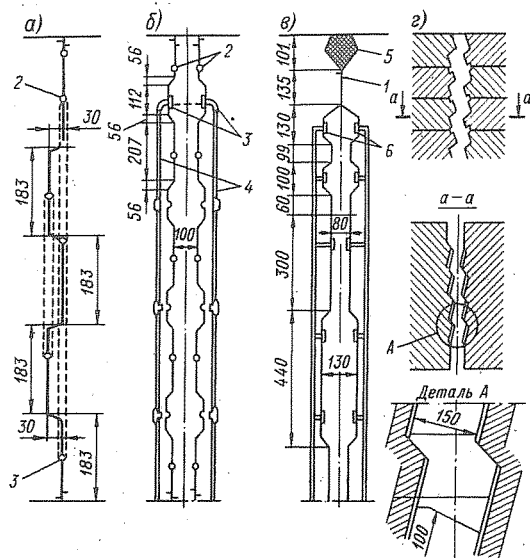


Рис. 2–7. Схема конструкции температурно-усадочных швов (размеры в см): а – нормальный (узкий) шов; б – расширенный шов; в – смешанный шов; г – расширенный шов смешанного типа

1 – металлическая диафрагма; 2 – каналы первичной цементации; 3 – клапаны для повторной цементации; 4 – система трубопроводов для цементации; 5 – контурное уплотнение; 6 – клапан (по рис. 2–12) для многократной цементации

В конструктивном отношении температурно-усадочные швы могут иметь следующие разновидности: а) узкие швы, получившие наибольшее распространение в американской строительной практике; б) расширенные швы (замыкающие траншеи), устраиваемые чаще всего в соору-

жениях европейских строек; в) смешанные швы, у которых в пределах напорной грани принимается узкий шов, а дальше в сторону низовой грани — широкий; г) широкий шов может иметь переменную ширину в случае устройства штраб на поверхностях полости шва. Швы такого вида получили распространение, главным образом, в арочных плотинах, преимущественно в Европе (рис. 2-7). Широкие швы чаще всего устраиваются в оголовках контрфорсных плотин и реже в арочных плотинах. В оголовках контрфорсных плотин широкие швы устраиваются клинообразной формы, суживающиеся от верховой грани к низовой. В этом случае поверхность бетона первой очереди бетонирования окрашивается разжиженным битумом.

Примеры конструкции температурно-усадочных швов в зарубежных странах

Для перераспределения напряжений в арочной плотине 4 (рис. 2-8), опирающейся своими верхними арками на слабые скальные породы или имеющей перенапряжения в верхней части, в США предлагается устраивать по гребню 1 плотины на

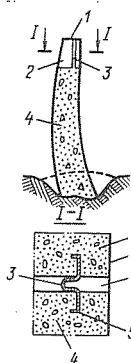


Рис. 2-8. Новый радиальный шов-надрез в арочной плотине

ширину радиальные швы-надрезы 2. Глубина швов надрезов, расположенных на равных расстояниях друг от друга, должна быть такой, чтобы обеспечить гравитационную прочность отрезанных швами секций при восприятии ими гидростатического давления, т. е. не должна превышать полуторной толщины гребня.

Для обеспечения водонепроницаемости швов-надрезов в них предусмотрены уплотнения в виде металлических изогнутых листов 3, концы которых 5 закреплены в бетоне 4. Благодаря такой конструкции верхние арки разгружаются, уменьшая нагрузку на слабые скальные породы, и передают часть нагрузки на нижележащие арки.

Для уменьшения нежелательных консольных напряжений в зоне контакта плотины с основанием и перераспределения напряжений с передачей большей части нагрузки,

на арке предлагается между телом плотины 1 и ее фундаментом-пробкой 2 устроить промежуточный конструктивный элемент, заполненный водоупорным пластичным материалом 3, толщиной 1-2 м, значительно (примерно в сто раз) больше величины горизонтальных деформаций плотины (рис. 2-9). В качестве такого материала может быть применен асфальтобетон и подобный материал с модулем упругости значительно меньшим, чем у бетона. Пластичный материал 3 укладывается в специально предусмотренный паз 4 в пробке 2 плотины. С верховой и низовой стороны шва устраиваются уплотнения 5 из резины или нержавеющей листов.

Рекомендуется также расчленять арочную плотину по высоте горизонтальными швами-надрезами описанной выше конструкции на отдельные арочные пояса.

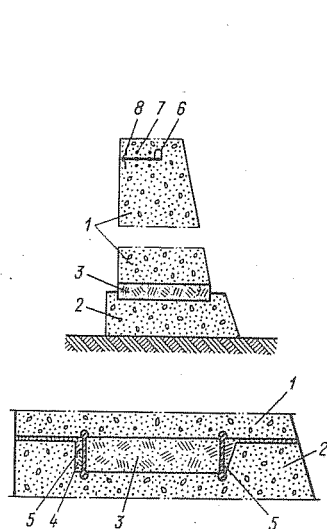


Рис. 2-9. Новые конструктивные швы-надрезы в арочной плотине

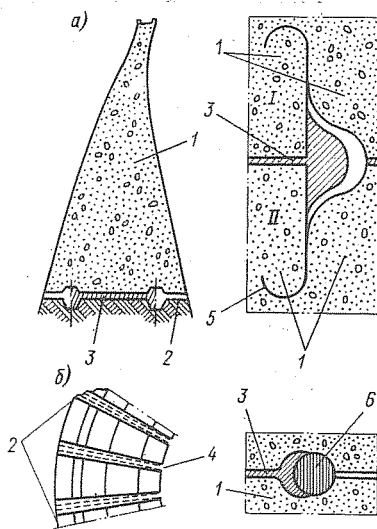


Рис. 2-10. Новые виды конструкции уплотнений горизонтальных (а) и вертикальных (б) температурно-усадочных швов в арочной плотине

Во избежание фильтрации шов-надрез снабжается противофильтрационными устройствами в виде металлических листов 8, профилированной резиновой ленты 7 и т. п. За швами устраивается дренажная система 6 для сбора воды, профилировавшей через уплотнение и бетон околошовной зоны. Вертикальные температурно-усадочные швы таких плотин цементируются.

Для уменьшения напряжений в горизонтальных швах между смежными поясами арочной плотины (Франция) и в месте контакта плотины 1 с основанием 2, а также для снятия растягивающих напряжений в арке, обусловленных усадкой бетона, предлагается устройство конструкции горизонтальных 3 и вертикальных 4 температурно-усадочных швов (рис. 2-10). Для уменьшения трения, возникающего в горизонтальных швах по соприкасающимся поверхностям бетона, обусловленного

весом вышележащей части сооружения и препятствующего независимым деформациям разделенных швами элементов арки, швы заполняются жидкостью под давлением. При этом швы со стороны верховой и низовой граней плотины снабжены уплотнениями в виде гибких металлических изогнутых диафрагм 5, заделанных краями в бетон смежных частей сооружения и препятствующих вытеканию жидкости из шва, или в виде гибких трубок 6 из эластичного материала, внутри которых создается избыточное давление. После завершения основных деформаций сооружения горизонтальные швы 3 цементируются.

В других случаях для предотвращения горизонтальных усадочных растягивающих напряжений арочная плотина делится на отдельные секции радиальными вертикальными швами, омоноличиваемыми после завершения усадки бетона, но до затопления водохранилища. Для большего обжатия арки швы заполняются цементным раствором, расширяющимся при схватывании, или жирным бетоном, или жидкостью под давлением. При этом швы со стороны верховой и низовой граней плотины снабжаются уплотнениями, аналогичными описанным выше.

2.4. ЦЕМЕНТАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-УСАДОЧНЫХ ШВОВ

По мере остывания бетона в теле массивных бетонных плотин происходит постепенное раскрытие деформационных швов. Для омоноличивания кладки, в зависимости от климата района расположения гидроузла, назначается срок цементации.

Для уплотнения температурных и временных температурно-усадочных швов применение металлических диафрагм считается эффективным только в том случае, если они устанавливаются в сочетании с цементацией полостей узких и омоноличиванием бетоном широких швов. В зарубежной практике уплотнение температурных швов в сочетании с цементацией их полости получило распространение в сооружениях, расположенных в районах со среднегодовой температурой не ниже $+6^{\circ}\text{C}$.

Водонепроницаемость сооружений, возводимых на однородном скальном основании, обеспечивается качеством уложенного бетона и уплотнениями деформационных швов. Несмотря на это, в ряде случаев за рубежом была выполнена частичная и реже полная цементация температурных швов гравитационных и контрфорсных плотин (табл. 2-1).

Для этого в плоскости шва устраиваются мелкие уступы с установкой металлических листов, а иногда и асфальтовых шпонок небольших размеров. Цементация температурно-усадочных швов арочных плотин является обязательной по статическим условиям работы плотины.

Конструкции уплотнения, разработанные для арочных плотин, широко применяются в США и для гравитационных плотин. В других странах такой тип уплотнения гравитационных плотин встречается редко.

Таблица 2-1

Некоторые гравитационные и контрфорсные плотины с дементацией температурных швов

Плотина и ГЭС	Река	Страна	Средне- годовая темпера- тура воз- духа, °С	Год окон- чания стро- ительства	Тип плотины	Высота плотины, м	Виды уплотнений
Ачикана	Ачикана	Колумбия	11	1956	Г	59,6	Медные листы
Блак Кэньон	Роуэйте	США	10	1924	Г	56	Металлические диа- фрагмы
Гранд-Диксанс	Диксанс	Швейцария	5	1961	Г	284	Медные листы
Гранд-Кули	Колумбия	США	10	1942	Г	167,8	То же
Красноярская	Енисей	СССР	-0,4	1969	Г	114	Латунные листы
Клейтор	Нью	США	10	1940	Г	40,2	То же
Кондервул	Малая	США	10	1930	Г	70,5	Медные листы
Мок-Ларон	Роулди	Франция	12	1954	К	32,0	То же
Маршал и Форд	Колоредо	США	19	1942	Г	84,6	" "
Пикоте	Травора	Португалия	6	1954	КФ	95	" "
Саньмынься	Хуавэ	Китай	15	1961	Г	100	" "
Тайгарат	Тайгарат	США	8	1938	Г	79,0	" "
Фонтана	Малая	США	15	1944	Г	146,0	Металлические листы
Церверейла	Меннеси	Швейцария	7	1957	Г	151,0	Медные листы
Шастанг	Рейн	Франция	8	1950	Г	85,0	Медные и стальные листы
Шаста	Сакраменто	США	12	1945	Г	183,0	"
Эгль	Дордонь	Франция	8	1948	Г	95	Медные листы
Элмани	Гексу	Турция	15	1963	КФ	47,5	То же
Яблония	Неретва	Югославия	13	1955	АГ	85,0	Медные листы

Цементация температурных швов производится после прекращения усадки, остывания бетона до среднегодовой температуры и при максимальном раскрытии швов. Раскрытие шва для проведения цементации должно быть не менее 0,5 мм. При меньшем раскрытии швов рекомендуется для инъекции применять цементы, прошедшие дополнительный помол [17] или сепарацию. Цементация полости шва выполняется отдельными картами, так же как и цементация временных продольных швов при столбчатой системе разрезки сооружения на блоки бетонирования. Высота карты принимается достаточно большой в пределах 10–15 м для создания пригрузки замоноличиваемой части шва. Для предотвращения вытекания цементного раствора за пределы карты и получения плотного заполнения шва карты оконтуриваются металлическими или синтетическими диафрагмами.

В отечественной практике гидростроительства цементация температурных швов считается возможной и в сооружениях, расположенных в районах с отрицательной среднегодовой температурой. В подобных случаях цементация полости шва допустима только на тех участках плотины, где в нормальных эксплуатационных условиях температура бетона бывает не ниже 5–6° С. Такая система уплотнения швов выполнена в плотине Красноярской ГЭС, где среднегодовая температура района минус 0,4° С. Цементация полости температурного шва производилась только на участке шириною 2,0 м между двумя металлическими диафрагмами, являющимися наиболее экономичными и целесообразными. Металлические диафрагмы располагаются в пределах средней части профиля плотины, где в период нормальной эксплуатации сооружения ожидается положительная температура (2–3° С).

На плотине Саньмынься, учитывая сейсмичность (до 6 баллов) района расположения гидроузла, для обеспечения монолитности сооружения все строительные и температурно-усадочные швы на всем участке между основными верховыми и низовыми ограждающими листами уплотнений цементировались. Для этого в плоскости шва между медными и стальными диафрагмами были установлены цементационные выпуски с подводящей системой.

Для цементации временных продольных швов блоков столбчатой разрезки необходимо устройство системы трубопроводов, обеспечивающей подачу цементного раствора под давлением к отдельным картам, огражденным металлическими и другими диафрагмами, а также отвод воздуха из цементируемых полостей строительных швов (рис. 2–6). Вся система для уплотнения швов столбчатой разрезки практически не отличается от аналогичной системы для уплотнения температурных швов. Поэтому во всех случаях, где по условиям возведения бетонных плотин указанных выше типов необходимо и неизбежно устройство специальной системы трубопроводов для цементации швов.

тации швов столбчатой структуры строительной разрезки, следует предусматривать уплотнение температурных швов при помощи их цементации. Чем меньше ширина зоны температурного шва, подлежащая цементации, тем экономичнее и целесообразнее такая система уплотнения шва.

В практике отечественного гидростроительства для цементации швов нашли распространение тарельчатые выпуски одноразового действия. Такие выпуски были применены в цементационной системе температурных и температурно-усадочных швов на плотине Саньмынь-

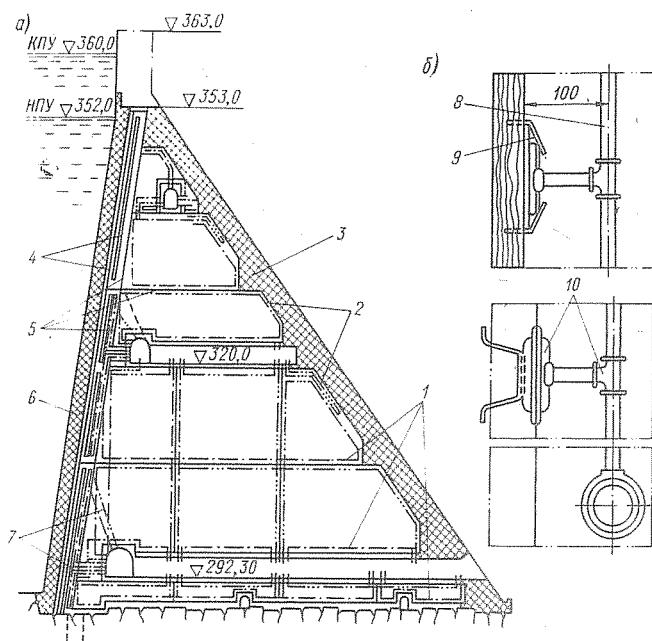


Рис. 2-11. Схема поперечного разреза плотины Саньмынься (а) и тарельчатого выпуска (б) для одноразовой цементации шва (размеры в мм)

- 1 — магистраль для подачи цементного раствора; 2 — воздухоотводящая труба; 3 — холодная асфальтовая штукатурка; 4 — медные листы; 5 — металлические листы ограждения карт; 6 — два слоя асфальтового мата; 7 — отвод воды из дрен; 8 — подводная труба; 9 — крепление выпуска к опалубке первой очереди бетонирования; 10 — положение выпуска в шве

ся, Красноярской и Братской ГЭС (см. рис. 2-11, б). Одноразовая цементация не всегда обеспечивает герметизацию температурных швов. Для повторной цементации требуется бурение цементационных скважин, стоимость которых в несколько раз превышает прокладку разводящих сетей с дублирующими клапанами.

При проведении искусственного охлаждения бетонного массива до среднетемпературной температуры можно было бы ограничиться однократной цементацией температурного шва, но при естественном остывании бетонного массива однократной цементацией достичь доброкачественного уплотнения шва невозможно. В этом случае требуется проведение многократной цементации.

Для этого применяется весьма эффективная и простая система, основной частью которой является клапанный выпуск "капитан" (рис. 2-12). Он открывается под давлением цементного раствора

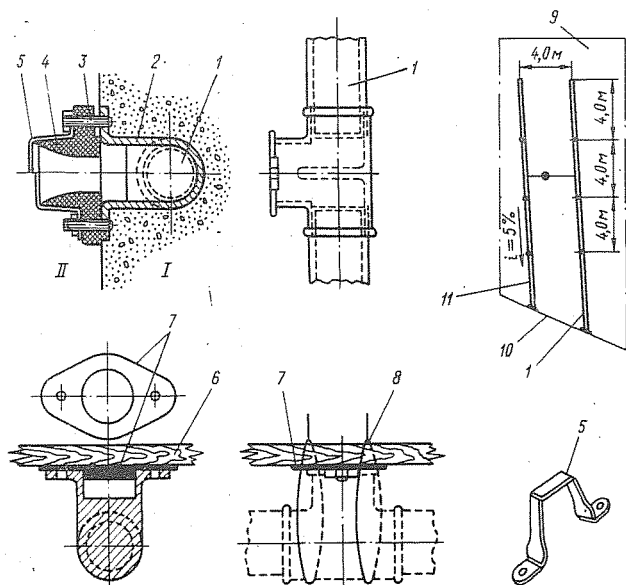


Рис. 2-12. Схема выпуска "капитан" для многократной цементации шва

- 1 - подводящая труба; 2 - корпус (тройник с фланцем и перегородкой); 3 - болт; 4 - резиновый клапан; 5 - хомут; 6 - опалубка; 7 - временная пробка; 8 - проволока; 9 - верховая грань; 10 - низовая грань; 11 - воздухоотводящая труба

(6–10 атм) и закрывается после прекращения цементации. Для возможности повторной и многократной цементации система и выпускник после каждой очередной цементации промываются водой (при низком давлении, 1–2 атм), чтобы к началу очередной цементации они были чистыми. Многократная цементация швов производится в настоящее время почти на всех крупных арочных плотинах, например, Монтейнер – 4 раза, Кариба – 5 раз и т. д.

Технология нагнетания раствора при цементации должна быть такой, чтобы получить возможно более полное заполнение шва прочным цементным камнем и исключить появление в бетоне напряжений, которые могли бы привести к появлению трещин. Шов предварительно промывается водой, что необходимо и для смачивания бетона. Затем производится нагнетание цементного раствора. При малом раскрытии шва и, соответственно, малой его пропускной способности, в шов нагнетаются подвижные растворы, которые сгущаются по мере того как из отводящей трубы начинает изливаться раствор той густоты, которая нагнетается. Нагнетание ведется до получения залива самого густого раствора или до отказа в поглощении. После этого шов опрессовывается при предельном допустимом давлении для уплотнения раствора и отжатия излишней воды.

Для цементации применяются цементы марки не ниже 400. Лучшими являются цементы тонкого однородного помола. Хорошие результаты дает использование раствора, диспергированного в различных высокоскоростных турбулентных смесителях.

Таким образом, сплошная цементация полости температурных швов массивно-гравитационных плотин, расположенных в сейсмическом районе и благоприятных климатических условиях, необходима для повышения сейсмостойкости сооружения. При этом цементация производится на всем участке между основными уплотняющими диафрагмами с верховой и низовой сторон.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КОНСТРУКЦИИ УПЛОТНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

3.1. РЕЗИНОВЫЕ И ПОЛИМЕРНЫЕ ДИАФРАГМЫ

Резиновые и полимерные диафрагмы предназначены для уплотнений температурных и деформационно-осадочных швов (до 4–5 см) во всех типах бетонных гидротехнических сооружений. Ассортимент

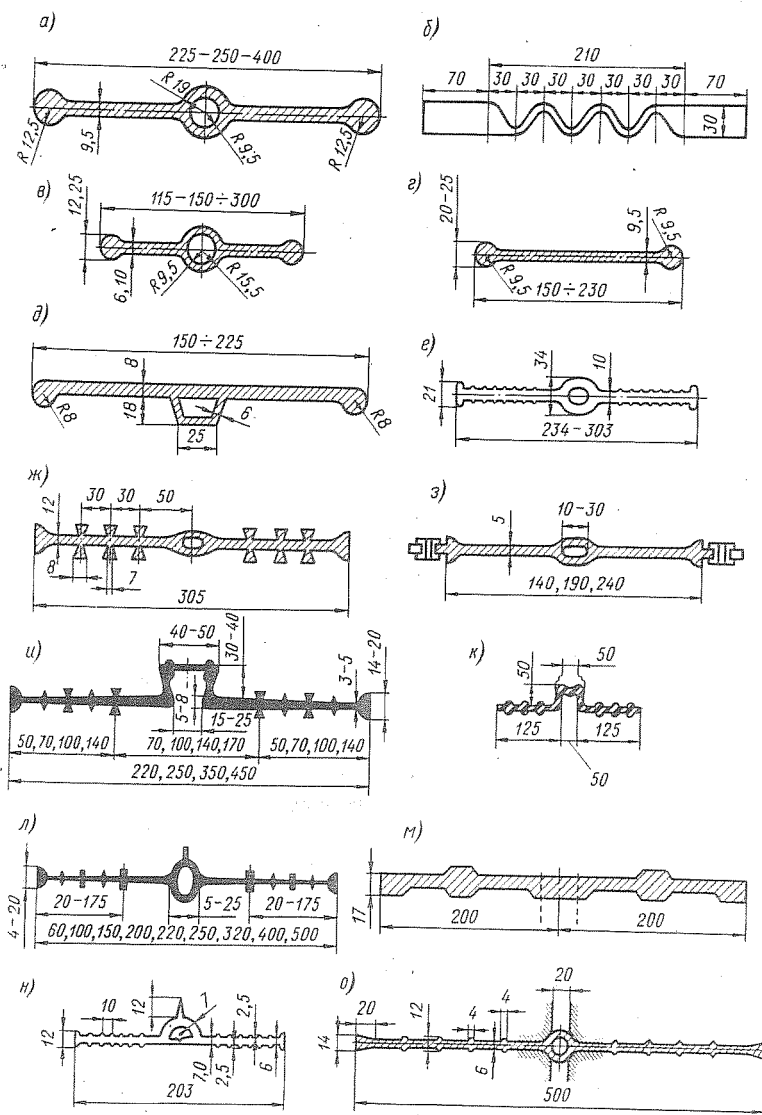


Рис. 3-1. Схемы некоторых профилей резиновых (а-д) и полимерных (е-о) лент (размеры в мм)

резиновых уплотнений отечественного производства весьма ограничен, а пластмассовые профили у нас еще не производятся.

Несмотря на многообразие форм и профилей резиновых и пластмассовых уплотнительных диафрагм, все виды таких диафрагм могут быть разделены на следующие две основные категории: а) диафрагмы, предназначенные для уплотнения температурных швов, имеющие однообразную толщину на всей ширине ленты, рис. 3-1, г, д; б) диафрагмы, предназначенные для уплотнения деформационно-осадочных швов, имеющие утолщение в середине профиля (рис. 3-1, а, в, е) или специально измененную форму в середине профиля (рис. 3-1, и, к). Такие диафрагмы способны значительно деформироваться без нарушения водонепроницаемости шва.

Отверстия вдоль осей резиновых лент и полимерных материалов увеличивают их деформативность, а утолщения по краям и различные выступы и ребра способствуют надежной заделке ее в бетон смежных секций.

Некоторые конструкции уплотнений из резиновых и полимерных материалов, применяемых как в СССР, так и за рубежом, приведены на рис. 3-1, а в табл. 3-1 даются физико-механические характеристики резиновых уплотнений.

Таблица 3-1
Физико-механические характеристики
резиновых уплотнений

Свойства (при температуре 15+20 °С)	Чехосло- вацких заводов	Английской фирмы "Экспен- дайт"	Отечест- венного производ- ства
Предел прочности при растяжении, кгс/см ²	150-200	245	150-200
Минимальное относи- тельное удлинение, %	600-800	500	300-400
Твердость по Шору, град	30-55	60-70	40-70
Минимальная плотность, т/м ³	0,95-0,97	1,15	1,15
Морозостойкость по изгибу	-	-	до -45 °С

В основе определения долговечности под нагрузкой в эксплуатационных условиях резиновых и полимерных диафрагм лежит опыт применения их на отечественных и зарубежных гидросооружениях.

О влиянии состава материала для резиновых диафрагм на долговечность их работы судить затруднительно, поскольку достаточно длительного опыта эксплуатации резиновых уплотнений в наших усло-

виях пока еще не имеется! Однако срок службы резиновых диафрагм изготовителями гарантируется в 50 лет.

В отечественном гидростроительстве резиновые уплотнения применялись с 1954 г., вначале для контурных уплотнений камер шлюзов, плит канала Северный Донец - Донбасс [20], а позднее с 1958 г., по предложению автора для внутренних уплотнений плотин и здания Кременчугской ГЭС.

Водонепроницаемость шва между монолитными бетонными и железобетонными секциями сооружений достигается заделкой в бетон профилированных резиновых или полимерных лент. Водонепроницаемость шва между сборными бетонными и железобетонными плитами достигается путем наклейки резиновой ленты в штрабы плит с последующим омоноличиванием штраб цементным раствором. В процессе эксплуатации установлено [20], что такие уплотнения работают удовлетворительно.

В США, Англии, Чехословакии, Канаде, ФРГ, Болгарии, Японии и других странах уже накоплен значительный опыт по устройству уплотнений из резины и синтетических материалов на основе полимера. Они применяются при напорах на сооружениях до 240 м.

В сооружениях плотины Империял и на всех американских каналах в Калифорнии получили широкое распространение резиновые уплотнения типа "Waterstop" (рис. 3-1, а, в) в виде плоских полос с утолщениями по краям и полос с полным утолщением посередине [7].

В зарубежной практике гидротехнического строительства резиновые профилированные ленты (каучуковые) начали применяться для уплотнения деформационных швов с 1930 г., а вместо асфальтовых шпонок с 1935 г.

Еще в 30-х годах были установлены уплотнения из резиновых диафрагм на швах сооружений Рильской ГЭС в Болгарии, которые работают по сей день успешно.

Все более широкое применение получают профилированные ленты стеклопластика, неопрена, винилпласта, полиэтиленовые и другие, изготовленные фирмой Юнион Карбид [42]. Они выполняются аналогично резиновым уплотнениями. Неопрен применялся для уплотнения температурно-усадочных швов арочной плотины Суорва, расположенной в суровом климате Швеции [7, 45]. Винилпласт использовался в бетонном канализационном туннеле в Сент-Ламбрете (Квебек, Канада). Опытом установлено, что винилпласт хорошо обеспечивает водонепроницаемость швов при их раскрытии и закрытии.

Диафрагмы из стеклопластика находят применение для небольшого напора (до 15-20 м) как уплотнение деформационных швов. Наибольшее распространение они получили в Англии, Канаде, ФРГ и других странах [22].

В отечественной практике стеклопластик впервые был применен в порядке опыта в 1958 г. для уплотнения температурных швов в камере шлюза Кременчугского гидроузла.

В последнее время в конструкциях уплотнений температурных швов довольно широкое применение нашли поливинилхлорид и винипласт. Резко сократилось применение асфальтовых гидроизоляционных материалов.

Начиная с 1961 г., в Японии для уплотнения температурных швов гравитационных плотин высотой до 160 м и временных температурно-усадочных швов арочных и арочно-гравитационных плотин широко применяются поливинилхлоридные диафрагмы (рис. 3-1, е, и).

В крупных бетонных сооружениях на сжимаемых основаниях требуется обеспечение подвижности в продольных и поперечных швах, которые пересекаются в различных направлениях. Для уплотнения пересечений таких швов заводами, выпускающими резиновые изделия, изготавливаются плоские угольники, тройники, крестовины и другие изделия. Следует отметить, что размеры устанавливаемой полосы резины в каждом отдельном случае определяются, исходя из размеров напора и ответственности сооружения и других условий. Тщательная установка полосы шириной 25,0 см обеспечивает большую конструктивную прочность против просачивания воды в обход уплотнения. Применение резины шириной 25,0 см рекомендуется при толщине бетонных элементов от 30,0 см и более. В более тонких плитах и второстепенных сооружениях достаточно устройство уплотнений из резины шириной 15,2 и 11,4 см.

Уплотнения из поливинилхлорида и других термопластических материалов на основе полимеров используются в конструктивных швах штрабовидной формы. Для образования такой поверхности отдельные куски пластика свариваются друг с другом методом горячего прессования. При этом шов получается не менее прочным, чем сам материал.

Опытом установлено, что контурные уплотнения, выполняемые из полимерных профильных лент, дали хорошую герметизацию шва при деформации сооружения к неравномерным осадкам и горизонтальным смещениям.

Большой интерес представляют профильные ленты из армостеклопластиков (листовых или рулонных полимерных материалов, армированных металлическими сетками). Их применение позволит существенно уменьшить расход полимеров, увеличить прочность, водонепроницаемость и долговечность уплотнений по сравнению с неармированными профилями при сохранении высокой деформативности.

Ниже приводятся примеры новых видов конструкций противотрадиционных устройств из эластичного (каучукового или поливинилхлоридного и т. п.) материала в зарубежных странах.

Применяемое в Швеции уплотнение (рис. 3-2, а) состоит из центральной части в виде трубчатого элемента 1 квадратного или прямоугольного поперечного сечения, помещенного в полости шва, и отходящих в обе стороны от него перпендикулярно оси шва боковых горизонтальных частей 2 имеющих прямолинейные участки 3 и поперечные выступы 4 в виде фасонных продольных ребер V-образного сечения с глубиной паза между ними, равной половине толщины ребра.

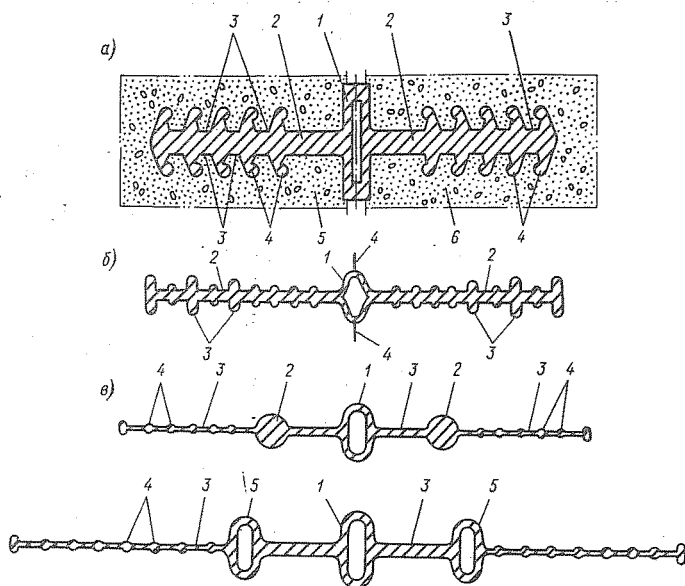


Рис. 3-2. Конструкции уплотнений из эластичного синтетического материала (Швеция)

Конструкция боковых элементов уплотнения улучшает сцепление его с бетоном массива и удлиняет пути фильтрации, способствуя тем самым лучшему уплотнению шва.

Высота центрального трубчатого элемента уплотнения значительно превосходит ширину боковых частей.

Благодаря такой конструкции уплотнения оно хорошо работает на сжатие и растяжение, компенсируя возможные температурные или усадочные деформации смежных бетонных секций 6, 5 сооружения друг относительно друга, обеспечивая при этом необходимую водонепроницаемость.

Другое уплотнение в виде диафрагмы из пластмассы, резины или подобного материала (рис. 3-2, б) состоит из центральной трубчатой секции 1 и отходящих от нее в обе стороны перпендикулярно оси шва боковых секций 2 снабженных поперечными выступами-ребрами 4. Для удобства установки и фиксации уплотнения в шве сооружения в центральной трубчатой части ее предусмотрены два расположенных в одной плоскости и противоположно направленных выступа 4, имеющих толщину, значительно меньшую половины толщины самой диафрагмы. Благодаря этому крепежные элементы могут легко пройти через выступы, зафиксировав диафрагму на направляющих планках и не повредив ее при этом.

Еще одно уплотнение в виде диафрагмы изготавливается из искусственного эластичного материала, например, поливинилхлорида (рис. 3-2, в). Для предотвращения смещения диафрагмы при относительных перемещениях бетонных поверхностей шва центральная ее часть выполнена из упругого, хорошо работающего на растяжение материала и снабжена по оси шва утолщенной деталью - полым шлангом 1, имеющим наибольший диаметр в полостях, расположенных под углом к направлению уплотнения. Для закрепления боковых элементов 2 диафрагмы в бетоне сооружения предусмотрены боковые фиксирующие выступы 4, препятствующие смещению ее и разрыву. Выступы 2 могут быть выполнены в виде полого шланга 5, заполняемого после монтажа уплотнения цементным раствором. Боковые элементы уплотнения снабжены выступами 4, расположенными вдоль уплотнения на определенном расстоянии друг от друга и служащими как для удлинения пути возможной фильтрации (улучшение водонепроницаемости шва), так и для лучшей заделки в бетон сооружения.

3-2. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ДИАФРАГМЫ

В практике строительства крупных гидротехнических сооружений металлические диафрагмы применяются для уплотнения температурных швов сооружений, расположенных на скальных основаниях, и как ограждающие элементы асфальтовых шпонок в сооружениях, расположенных на несжимаемых и слабо сжимаемых грунтах.

Металлические уплотнения наиболее распространены в зарубежном плотностроении. Чаще всего основное уплотнение выполняется из листовой меди или латуни и реже из нержавеющей стали. Однако при выполнении работ неизбежно появление усадочных трещин, требующих их заполнения. Металлические диафрагмы с компенсаторами, как основное уплотнение температурных швов, эффективны при плотном сцеплении материала диафрагм с бетоном блоков. При по-

В Советском Союзе уплотнение температурных швов осуществляется при помощи металлических диафрагм с компенсаторами с последующей цементацией полости шва. Так сделано на плотинах Красноярской, Усть-Илимской, Зейской, Чиркейской и других ГЭС, а также на плотине ГЭС Саньмынься (КНР), выполненной по проекту Ленгидропроекта.

Металлические диафрагмы могут устанавливаться на вертикальных и горизонтальных уплотнениях деформационных швов в сооружениях высотой до 200 м и более. Материалы, применяемые для металлических диафрагм, должны отвечать требованиям, указанным в § 4-1. Некоторые из применяемых конструкций металлических диафрагм для уплотнения деформационных швов в отечественных и зарубежных гидротехнических сооружениях показаны на рис. 3-3.

В связи с высокой стоимостью и дефицитностью материала диафрагмы из чистой меди в Советском Союзе применяются значительно реже, чем диафрагмы из нержавеющей стали и латуни. Нашей промышленностью освоен выпуск более экономичных материалов: высоколегированных, стойких против коррозии (нержавеющих) сталей и сплавов (ГОСТ 5632-61), которые с успехом могут быть использованы для изготовления конструкций уплотнения.

В зарубежной практике (в частности, в Финляндии, Норвегии и др.) устройства уплотнений в температурных швах гидротехнических сооружений при помощи диафрагм из листов чистой меди встречаются значительно чаще, по сравнению с другими металлами.

На некоторых немецких и шведских плотинах применялись свинцовые листы. Однако, как показали исследования Ф. Трна и О. Штельцербурга [7], приведенные еще в 1934 г., свинцовые листы могут быть применены только в небольших сооружениях, где нельзя ожидать значительных деформаций сопрягаемых частей сооружений.

Металлический лист, применяемый для уплотнения температурных швов, обладает коррозионной стойкостью (против коррозии электрической, атмосферной, щелочной, кислотной, солевой и др.); жаростойкостью (окалиностойкостью, стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550° С при работе в ненагруженном или слабонагруженном состоянии); жаропрочностью при работе в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и достаточной окалиностойкостью.

Рекомендуются следующие марки листов из латуни и чистой красной меди для диафрагм в уплотнениях температурных швов:

а) латунный лист марки Л68 холоднокатаный магкий (на поставку ГОСТ 931-52 и на химический анализ ГОСТ 1019-47);

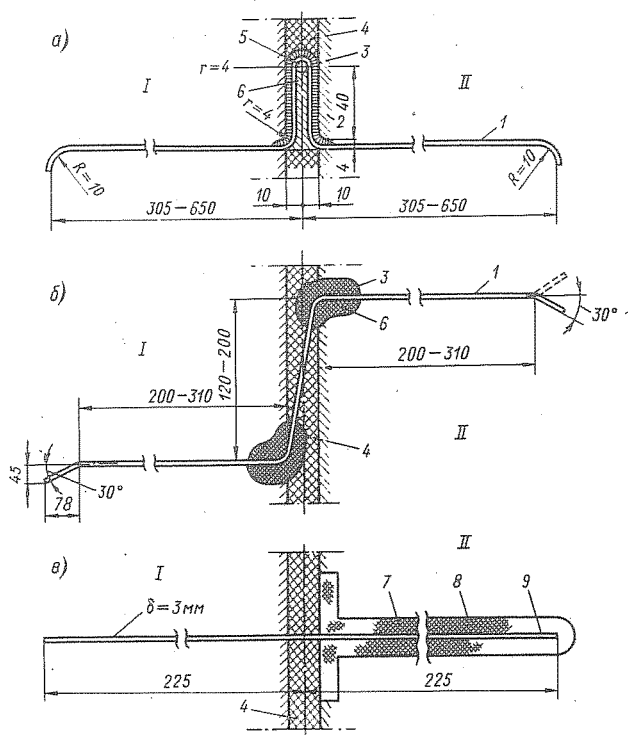


Рис. 3-3. Схемы металлических диафрагм (размеры в мм): а, б - с компенсаторами; в - без компенсатора; I - первая очередь бетонирования; II - вторая очередь (в дальнейшем для очередности бетонирования сохранены те же обозначения)

- 1 - латунный Л68-90 или нержавеющей (ГОСТ 5632-61) лист;
- 2 - технический войлок толщиной 8-10 мм (ГОСТ 6418-67);
- 3 - стеклоткань шириной 20 см (ГОСТ 8481-61) на клею;
- 4 - оклейка полости шва податливым материалом; 5 - заполнение паронизолом (РСН-18-63 Госстрой РСФСР); 6 - минеральная вата, пропитанная битумом; 7 - асфальтоармированный мат;
- 8 - обойма - оцинкованное железо; 9 - сталь Ст. 3 или оцинкованное железо

б) листы из чистой красной меди марки М2 или М3 (на поставку ГОСТ 1173-49 и на химический анализ ГОСТ 859-47).

Металлические диафрагмы рассчитываются на давление воды при расхождении шва. Ширина и толщина их определяется, исходя из максимального напора воды в самой нижней точке уплотнения, при расчетном раскрытии шва. В этом случае металлическая диафрагма рассматривается как подверженная изгибу заделанная по двум концам оболочка с пролетом, равным ширине шва. Максимальная толщина диафрагмы, полученная по расчету, сохраняется одинаковой на всю высоту уплотнения. Длина и ширина компенсаторной волны рассчитывается и принимается, исходя из максимального раскрытия шва на гребне сооружения.

Толщина металлических листов ограждений асфальтовых шпонок с компенсаторами (рис. 3-3, б) должна быть проверена на давление мастики при расчетном схождении шва. Обычно они рассчитываются на растяжение в самой нижней точке шпонки и в нескольких промежуточных точках по высоте шпонки. Металлические диафрагмы без компенсаторов (рис. 3-3, в) с одним заделанным концом и другим подвижным рассчитываются как балки на двух опорах с пролетом, равным наибольшей ширине температурного или узкого деформационно-осадочного шва, находящиеся под воздействием наибольшего давления внутри шпонки при расчетном схождении шва. Кроме проверки на изгиб, толщина металлической диафрагмы без компенсатора проверяется на растяжение, появляющееся от трения диафрагмы по бетону и по слою асфальтовых матов и от других причин в период расхождения шва.

При стоимостных сопоставлениях вариантов уплотнений температурных швов, выполняемых с помощью металлических листов (из разных металлов), стоимость одной тонны должна определяться по действующим справочным ценникам.

Новые виды конструкции уплотнения швов из металлических диафрагм

Для обеспечения многократных расхождений и схождений полости шва металлические листы нами предлагается изготавливать из специальных сталей (ГОСТ 5632-61) и прокатывать с образованием компенсаторных волн с шагом 8-10 см.

Для лучшего восприятия деформаций компенсаторные волны следует располагать по вертикали листа. Применение рифленого листа упрощает способы наращивания их и качество стыковки листа (рис. 3-4).

В ГДР предложено уплотнения изготавливать из тонкого листа меди (рис. 3-5, а). Для предохранения последней от вмятин и других деформаций, возможных при продольных перемещениях элементов конструкции относительно друг друга, поверхность диафрагмы выполняется ребристой или гофрированной 2. При этом направление гофр выбирается таким, чтобы они образовали с выступом 1 диафрагмы угол, близкий к прямому, что улучшает условия заделки диафрагмы в бетон сооружения.

Другое уплотнение в виде двух тонких (0,1-0,3 мм) коррозионностойких ребристых металлических листов 1а, 1б изготавливается предпочтительно из меди или сплавов меди; между листами расположена сетка 3. Пространство между ними заполняется слоем пластичного материала 2, например битумом, синтетической смолой и т. п., образуя прочное водонепроницаемое уплотнение, хорошо работающее на изгиб и растяжение (рис. 3-5, б).

3-3. АСФАЛЬТОВЫЕ УПЛОТНЕНИЯ

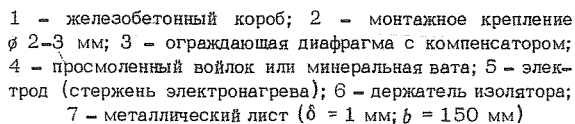
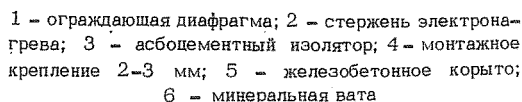
Асфальтовые уплотнения — так называемые шпонки — устраиваются в температурных и осадочных швах гидротехнических сооружений, расположенных на любых грунтах, при любой их высоте. Встречающиеся в практике асфальтовые шпонки весьма различны по конструкциям и размерам поперечного сечения.

Асфальтовые шпонки, в зависимости от их расположения в деформационных швах, могут быть разделены на две основные группы: вертикальные и горизонтальные.

Вертикальные шпонки в отечественном гидростроительстве применяются квадратные (от 15х15 до 60х60 см) и прямоугольные (от 60х80 до 80х170 см); за рубежом — квадратные (от 15х15 до 20х20 см), круглые (диаметром от 10 до 20 см), треугольные (со стороной 25 см) и шестигранные (со стороной 40 см — плотина Рокемоль и др.). Встречаются шпонки трапецидалные (плотина Хохенварте, ФРГ).

Шпонки малого сечения (от 15х15 до 30х30 см, рис. 3-6) устраиваются в температурных швах. Шпонки среднего сечения (от 40х40 до 60х60 см, рис. 3-7) устраиваются в узких осадочных швах (до 5 см). В широких осадочных швах (6 см и более) и в некоторых других случаях применяются асфальтовые шпонки большого сечения (до 80х170 см, рис. 3-8). В последнем случае ограждающие диафрагмы располагаются в полости шпонки (Кременчугская — рис. 3-9, Иркутская и другие гидроэлектростанции) или выносятся за ее пределы (Братская ГЭС, рис. 3-10).

Горизонтальные уплотнения деформационных швов по подошве сооружения, называемые "донными" уплотнениями, в зависимости от геологических условий основания (сжимаемое или несжимаемое) могут быть выполнены по разному (рис. 3-11, б, в). Горизонтальные уплотнения температурных швов, в целях защиты от затопления



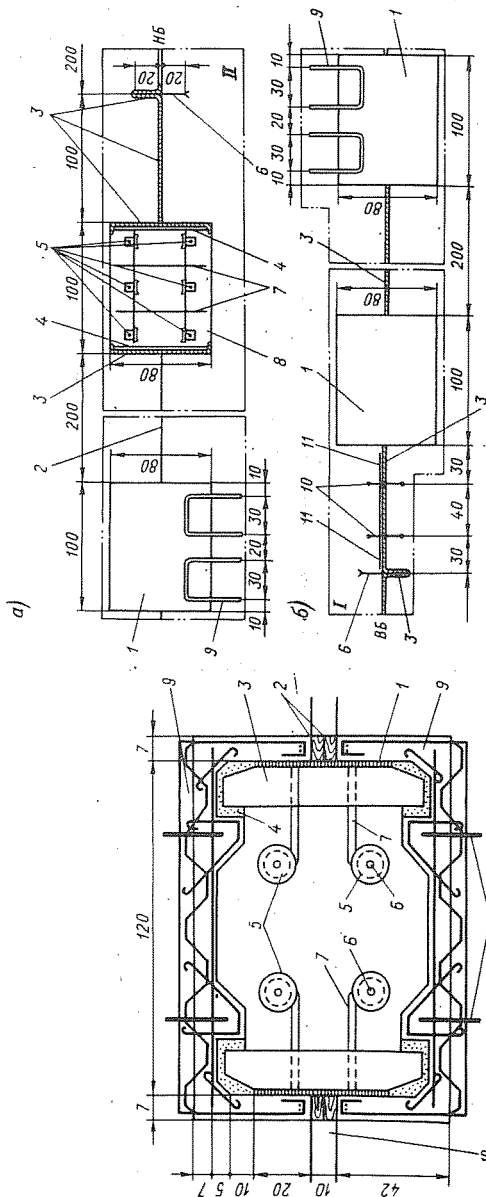


Рис. 3-8. Схема асфальтовой шпонки большого сечения в широком деформационно-осадочном шве (размеры в см): а - со стороны нижнего бьефа; б - со стороны верхнего бьефа

- 1 – минеральная вата; 2 – деревянные брусья; 3 – 1 – смотровая шахта; 2 – шов; 3 – оклейка битумматом; железобетонные шандоры; 4 – просмоленная пакля; 4 – лист нержавеющей стали; 5 – электроды; 6 – металлическая 5 – проходной изолятор; 6 – электроды из стержня; диафрагма без компенсатора; 7 – рама для установки системы; 7 – держатель изолятора; 8 – металлический лист; электронагрева; 8 – асфальтовая шпонка; 9 – стремьянка; 9 – железобетонный короб; 10 – шов 10 – резиновая диафрагма; 11 – монтажный металлический лист

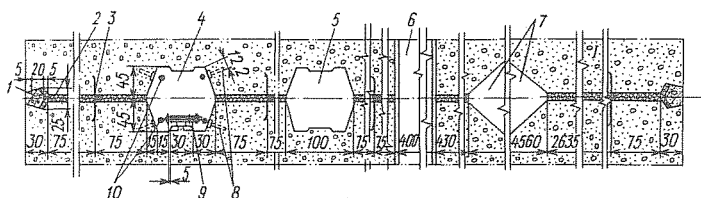


Рис. 3-10. Схема асфальтовой шпонки в температурном шве плотины Братской ГЭС (размеры в см)

1 - железобетонный брус; 2 - холодная асфальтовая штукатурка; 3 - латунная диафрагма с компенсатором; 4 - полость асфальтовой шпонки; 5 - смотровая шахта; 6 - галерея; 7 - расширенный шов; 8 - анкера для держателей электродов; 9 - лестница-стремянка; 10 - электроды разогрева

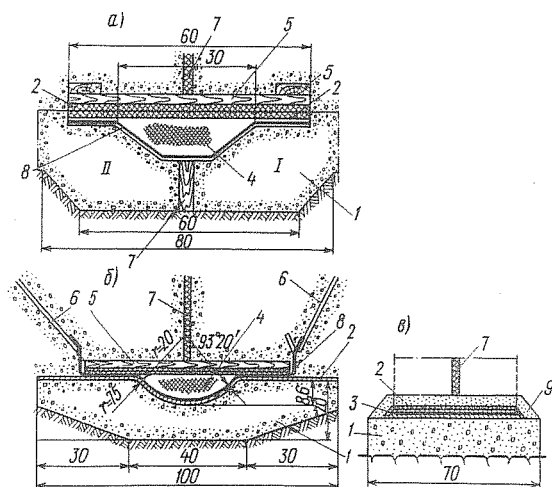


Рис. 3-11. Схемы горизонтальных уплотнений деформационных швов по подшове сооружения (размеры в см) на сжимаемых (а, б) и на скальных (в) основаниях: а - на плотине и здании Каховской ГЭС; б - на плотине Воткинской ГЭС; в - на плотине Братской ГЭС

1 - бетонная подготовка; 2 - битумматы; 3 - стальной лист толщиной 3-4 мм; 4 - асфальтовая мастика; 5 - доски 20х20; 6 - анкера; 7 - шов; 8 - металлическая диафрагма; 9 - цементная стяжка

подвальных помещений, расположенных ниже пьезометрического уровня воды, выполняются как показано на рис. 3-11, в.

В сооружениях, расположенных на сжимаемых основаниях, большое значение имеют горизонтальные асфальтовые шпонки по подошве сооружения (рис. 3-11). Такого вида уплотнения устраиваются для предотвращения выноса мелких частиц грунта основания сооружения. Для защиты данных уплотнений от пульсационного воздействия потока устраиваются диафрагмы из резиновой профилированной ленты, расположенные в 0,5-1 м от подошвы сооружения (Воткинский, Волгоградский гидроузлы - СССР и плотина Империзел - США). Особое внимание должно быть уделено надежному сопряжению донных горизонтальных уплотнений с вертикальными. Схема таких сопряжений показана на рис. 6-33.

Горизонтальные асфальтовые шпонки представляют собой штрабы корытообразной или трапецеидальной формы, перекрывающие швы у основания сооружения, и выполняются в бетонной подготовке с установкой просмоленных досок в 0,5 м от оси шва в обе стороны. Размеры поперечного сечения горизонтальной шпонки принимаются в пределах до 60х22 см (рис. 3-11). Такие шпонки применяются для сооружений высотой до 45 м.

В области перехода узкой части осадочного шва в широкую часть (в пределах фундаментной плиты сооружения) также устраиваются горизонтальные шпонки (рис. 3-12). Эти шпонки представляют собой штрабу, заполненную асфальтовой мастикой. Сверху штраба закрывается четырехкантным брусом на анкерных болтах, бетонными плитами, металлическими листами и т. п.

Для предотвращения вытекания асфальтовой мастики из вертикальных и горизонтальных шпонок должны быть предусмотрены их ограждения. Эти ограждения на протяжении последних 40-50 лет претерпели значительные конструктивные изменения.

В температурных швах сооружений Днепровской ГЭС имени В. И. Ленина ограждение асфальтовых шпонок малого сечения (см. рис. 3-6) выполнялось в виде конопатки шва просмоленным войлоком в местах примыкания железобетонного корыта. Такое ограждение оказалось недостаточно надежным, так как не исключалась утечка мастики из полости шпонки. Позже на ряде гидроэлектростанций (Ниже-Свирская, Каховская, Новосибирская и др.) ограждения асфальтовых шпонок в температурных швах выполнялись в виде конопатки просмоленным войлоком с верхней стороны или оклейками из асфальтовых матов металлического листа, заделанного одним краем, с низовой стороны. Разновидность ограждения такого же типа выполнялась по схеме рис. 3-13. Во всех случаях не исключалась утечка асфальтового материала через просмоленный канат или в обход металлического листа, вплотную прилегающего к низовой половине железобетонного корыта [77].

Поэтому не рекомендуется применять просмоленные канаты и асфальтовые маты в качестве ограждения асфальтовых шпонок.

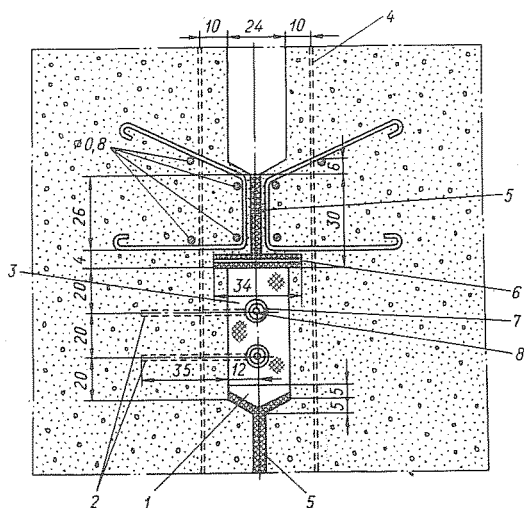


Рис. 3-12. Схема горизонтальной асфальтовой шпонки (размеры в см)

1 - шлаковата (минеральная вата), пропитанная битумным раствором; 2 - держатель изолятора; 3 - асфальтовая мастика; 4 - рабочая арматура; 5 - битумматы; 6 - стальной лист; 7 - проходной изолятор; 8 - электрод

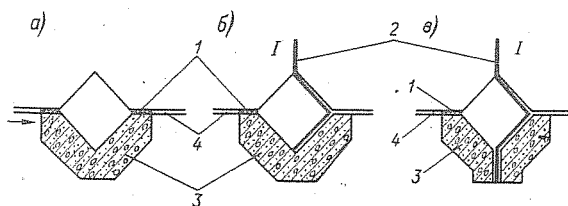


Рис. 3-13. Нерекомендуемые схемы ограждений асфальтовых шпонок в температурных швах: а - ограждение шпонок конопаткой, просмоленной паклей; б - ограждение шпонок, установленной внутри металлической диафрагмы, и одним концом заделанной в бетон I; в - ограждение шпонок металлической диафрагмой, одним концом заделанной в бетон I, вторым концом выпущенной между корытами

1 - просмоленный войлок; 2 - металлический лист; 3 - железобетонное корыто; 4 - шов

Не достигают цели также ограждения шпонок, выполненные в виде конопатки просмоленной паклей мест примыкания приставных железобетонных корыт (рис. 3-13, а).

Для обеспечения свободной осадки бетонного массива сооружения на сжимаемом основании, в зависимости от величины ожидаемых осадок, над гребнем шпунта устраивается уплотнение высотой 40–50 см, выполненное в деревянной опалубке. Оно представляет собой шахту размером 50х35 см, заполненную асфальтовой мастикой. Полость шахты с обеих сторон перекрывается металлическими листами, предварительно оклеенными асфальтовыми матами.

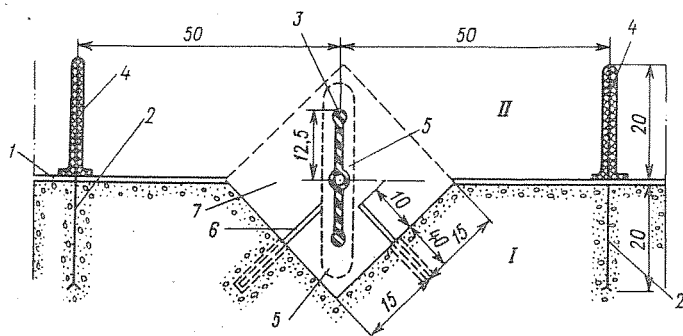


Рис. 3-14. Комбинированная вертикальная асфальтовая шпонка с профилированной резиновой лентой

- 1 – окраска полости шва разжиженным битумом; 2 – металлическая диафрагма без компенсатора; 3 – резиновая диафрагма; 4 – оклейка битумматом; 5 – металлические вилки для крепления резины; 6 – монтажные арматурные выпуски для резины; 7 – асфальтовая шпонка в фундаментной плите

Неудовлетворительной является также конструкция асфальтовой шпонки, у которой металлическая диафрагма имеет заделку только одного края (см. рис. 1-8, д). Такие шпонки устроены в температурных швах сооружений Новосибирской, Усть-Каменогорской, Бухтарминской и других ГЭС.

Наиболее надежными конструкциями ограждений асфальтовых шпонок в деформационных швах являются верховые и низовые ограждения из металлических диафрагм с компенсаторами, устанавливаемые за пределами полости шпонки (рис. 3-10), у которых оба края заделаны в бетон блоков первой и второй очереди бетонирования. Расстояние от асфальтовой шпонки до ограждающих диафрагм с каждой

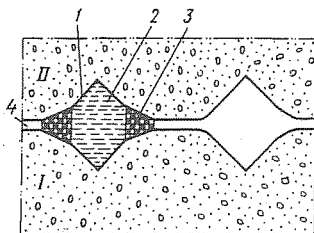
стороны принимается обычно равным и, в зависимости от высоты сооружения, должно составлять 30–150 см.

Кроме металлических диафрагм, для ограждения асфальтовых шпонок малого и среднего сечения могут быть применены листы профилированной резины или из поливинилхлоридных материалов, характеристика которых приведена в § 4-1.

Ограждения асфальтовых шпонок большого сечения чаще всего выполняются в виде железобетонных шандоров или бетонных плит, расположенных внутри полости шпонки.

На Кремёнчутской ГЭС по предложению автора было применено (в качестве опытного) комбинированное вертикальное уплотнение

Рис. 3-15. Асфальтовая шпонка с эластичной водонепроницаемой камерой



температурного шва. В нижней части шва уплотнение выполнялось асфальтовой шпонкой сечением 30 x 30 см, огражденной двумя металлическими диафрагмами. Асфальтовая шпонка сопрягается с уплотнением шва при помощи профилированной резиновой ленты (рис. 3-14).

Асфальтовая шпонка, оборудованная эластичной водонепроницаемой камерой (рис. 3-15), предложена Б. А. Коганом [15]. В качестве заполнителя рекомендуется применить гидрофобный материал (преимущественно из смеси песка с мазутом) 2, позволяющий без дополнительного устройства создать давление в камере 1, превышающее гидростатическое давление окружающей воды, благодаря чему избыточное давление заполнителя 2 прижимается эластичной камерой 1 и специально предусмотренным уплотняющим элементом 3 к бетону, создавая водонепроницаемый контур шва 4. Дополнительные уплотняющие элементы 3 могут быть выполнены, например, из пористой эластичной резины.

3-4. КОНТУРНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ

В качестве дополнительных уплотнений деформационных швов служат контурные уплотнения. Уплотняющие устройства по контуру деформационных швов должны обеспечивать водонепроницаемость шва

не только с верховой и низовой сторон, но также и по подошве сооружения. Уплотнение по подошве сооружения (рис. 3-11), кроме обеспечения водонепроницаемости шва в этой его части, предотвращает также возможность вымывания частиц грунта основания в полость шва.

По своему назначению контурные уплотнения могут быть разделены на две категории: наружные и внутренние. Наружные контурные

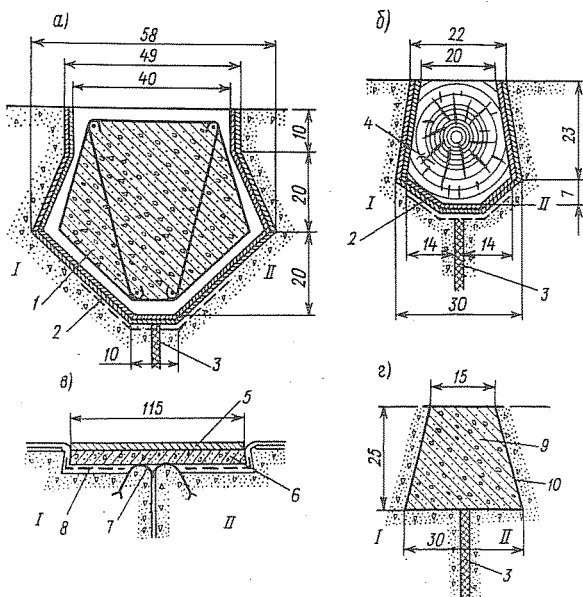


Рис. 3-16. Схемы наружных контурных уплотнений температурных швов на напорных гранях плотины (размеры в см): а - выше уровня минимальной сработки водохранилища; б - ниже уровня минимальной сработки водохранилища; в - плотина Карсер (Италия); г - на тыловой грани сооружения.

1 - железобетонный брус; 2 - оцинкованное железо между битумматами; 3 - заполнение шва; 4 - деревянный брус; 5 - цементная штукатурка; 6 - железобетонная пробка; 7 - медная диафрагма; 8 - просмоленный войлок или минеральная вата; 9 - бетонная пробка; 10 - окраска горячим битумом

уплотнения устраиваются в местах пересечения деформационных швов с лицевыми гранями и гребнем сооружения. Эти уплотнения предназначены для защиты полости деформационного шва от проникновения напорных и грунтовых вод, от воздействия льда и волн, а также от

засорения содержащимся в воде сором. В контурных уплотнениях используются железобетонные брусья и плиты, которые располагаются со стороны напорной грани плотины.

В качестве наружных контурных уплотнений температурных швов выше отметки сработки верхнего бьефа чаще всего применяются железобетонные брусья или плиты, а ниже этой отметки — деревянные брусья (рис. 3-16, а, б). Железобетонные брусья и плиты для уплотнения напорной грани плотины особенно широко применяются во Франции и Италии. Они имеют в поперечном сечении пятиугольные или четырехугольное очертание, благодаря которому обладают хорошим контактом с бетонным массивом. Размеры брусьев в плане от 0,5—0,6 до 1,0—1,3 м, а плиты — достигают ширины 1,5 м и толщины 0,5 м.

Водонепроницаемость уплотнения при раскрытии швов достигалась: а) прокладкой слоя гидроизоляционного материала в сочетании с металлическими листами (медными), просмоленными войлочными, асфальтовыми матами на основе джутовой ткани или стеклоткани; б) слоем гладкой цементной штукатурки с наклейкой стеклоткани и прокладкой асфальтовых матов на основе стеклоткани; в) нанесением на поверхности уплотнения патентованной пасты.

Вышеперечисленные гидроизоляционные материалы прижимаются к основному бетону при помощи брусьев или плит. Такие уплотнения осуществлены на ряде плотин в Англии (Джигора), в Италии (Бау Муджерис, Когхина Тропа, Чересоль-Реаль) и на облегченных гравитационных плотинах Мальга Биссина, Джюверетто и других конструкциях фирмы К. Марчелле.

В сооружениях на сжимаемом основании наружные контурные уплотнения в швах шириной 1—5 см устраиваются на лицевых гранях в гребне сооружения.

Со стороны верхнего и нижнего бьефов в пределах фундаментной плиты уплотнения выполняются в виде бетонных плит (рис. 3-17, б, в), деревянных брусьев (рис. 3-16, б), металлических диафрагм (рис. 3-17, а), резиновых профилированных лент (рис. 3-18) и других полимерных материалов.

Схемы конструкций наружных контурных уплотнений узких и широких осадочных швов (в пределах и выше фундаментной плиты) представлены на рис. 3-17 и 3-18.

Наружные контурные уплотнения деформационных швов у лицевых граней сооружений не рекомендуется выполнять в виде асфальтовых шпонок, так как интенсивные температурные деформации поверхностных слоев бетона при низких температурах вызывают расстройство таких шпонок. Высказанные положения подтверждаются опытом эксплуатации сооружений [7].

При строительстве гидроэлектростанций Пазского каскада финскими и норвежскими строительными фирмами применен другой вид наружного контурного уплотнения в температурных швах. Для уплотнения швов с верхней и нижней сторон сооружений устраивалась расширенная часть шва в виде "ласточкина хвоста", которая заполня-

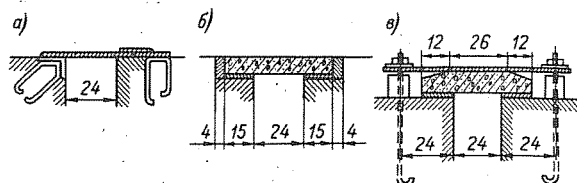


Рис. 3-17. Схемы защитных наружных контурных уплотнений осадочных швов (размеры в см): а - от мусора; б - в горизонтальных перекрытиях; в - на вертикальных стенах

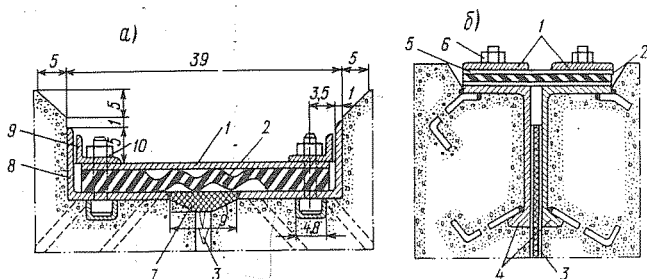


Рис. 3-18. Схемы наружных контурных уплотнений узких осадочных швов (размеры в см) с резиновой профилированной лентой: а - на камерах шлюзов Воткинской ГЭС, Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС; б - на плотине Империзэл (США)

1 - прижимные стальные листы; 2 - защитная прокладка из синтетического каучука - резиновая диафрагма; 3 - шов, заполненный податливым материалом; 4 - утолщение для приваривания анкеров; 5 - прокладка из ткани; 6 - бронзовые болты через 30 см; 7 - шлаковата, пропитанная битумом; 8 - уголок. 150x100x10; 9 - уголок. 60x40x6; 10 - болт с гайкой и шайбой

лась специальной мастикой. В состав этой мастики, по-видимому, входят битум, резиновые отходы и асбестовая мука; количественный состав указанных компонентов нам неизвестен (рис. 6-3).

Преимущество наружных контурных уплотнений, выполненных по схеме, приведенной на рис. 3-17, заключается в том, что эти уплот-

Внутренние контурные уплотнения устраиваются по контуру служебных и подвальных помещений (потерн, кабельных галерей и т. д.),

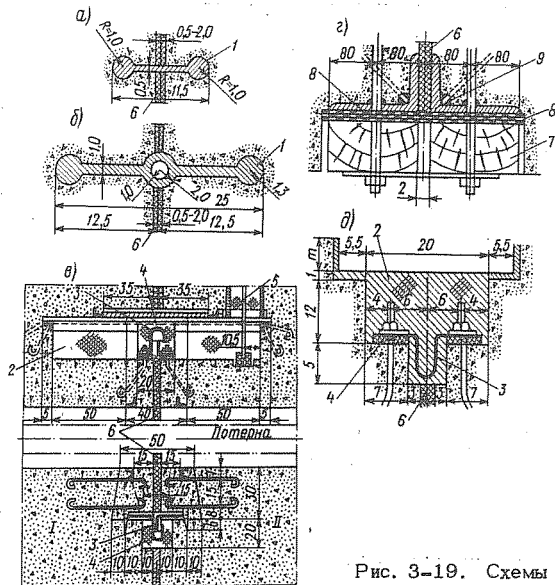


Рис. 3-19. Схемы внутренних контур-

ных уплотнений температурных (а, г, д) и осадочных (б, в) швов (размеры в см)

1 – резиновая лента; 2 – асфальтовая мастика; 3 – лист нержавеющей стали; 4 – технический войлок; 5 – стержневые электроды в трубе подпитки; 6 – шов, заполненный податливым материалом; 7 – деревянный брус; 8 – битумасты; 9 – уголок 150 х 100 х 10

Внутренние контурные уплотнения могут быть выполнены в виде отдельного водонепроницаемого контура, не связанного с основными уплотняющими устройствами шва (рис. 3-19).

Внутренние контурные уплотнения температурных и узкой части осадочных швов (в пределах фундаментной плиты) выполняются из

металлических диафрагм (см. рис. 3-3), резиновых и полимерных диафрагм (рис. 3-1 и 3-19, а, б) и железобетонных брусьев (рис. 3-16, а, г). Для такого вида уплотнений применимы также уплотнения, выполненные по схеме, приведенной на рис. 3-17, б, в. Не рекомендуется устраивать внутренние контурные уплотнения с асфальтовыми шпонками (плотина Воткинской ГЭС рис. 3-19, в).

Опытом эксплуатации установлено, что как наружные, так и внутренние уплотнения из деревянных брусьев, находящиеся постоянно под водой, работают удовлетворительно. В зонах переменного уровня воды, где постоянно происходит набухание и высыхание брусьев, а также в помещениях с переменной влажностью (галереи, потери),

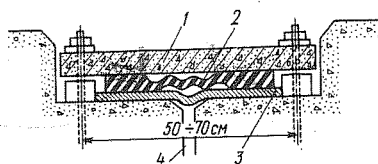


Рис. 3-20. Новый тип прижима резиновых уплотнений

1 - железобетонная плита; 2 - резиновая лента; 3 - армоэластопластиковая лента; 4 - шов

деревянные брусья разрушаются и гниют (Каховский, Братский и др. гидроузлы).

Из всех вышеописанных конструкций для внутренних контурных уплотнений целесообразно применять резиновые уплотнения.

В последнее время в СССР для контурных уплотнений широко применяются специальные профилированные резиновые и пластмассовые диафрагмы шириною 11,5-25,0 см. Для создания соответствующих условий работы резиновой диафрагмы необходимо, чтобы в неразрывных элементах расстояние от внутренних поверхностей стен помещений до диафрагм контурного уплотнения швов было не менее 0,35-0,50 м. При этом для армированных массивных элементов резиновые диафрагмы должны располагаться за рабочей арматурой, но не ближе 20 см от внутренней поверхности помещения.

При уплотнении строительных швов, выходящих в помещения подводного массива, резиновые диафрагмы должны размещаться от внутренних поверхностей стен помещений на расстоянии 0,35-0,50 м. Резиновые и пластмассовые уплотнения для потерн, смотровых галерей и т. д. изготавливаются цельными и устанавливаются по всему контуру помещения.

Уплотнения швов между секциями камеры шлюза выполняются в виде: а) прижимного устройства с резиновой профилированной лентой (рис. 3-20); б) штрабы, заполненной асфальтовой мастикой, перекрытой тремя листами оцинкованного железа и железобетонными

плитами (рис. 3-19, д); в) штрабы, заполненной асфальтовой мастикой, перекрытой нержавеющей листом и снаружи закрытой железобетонными плитами; такие уплотнения выполняются в швах со стороны засыпки стен камер шлюзов (рис. 3-18).

Контурные уплотнения в пределах фундаментной плиты сооружений должны иметь надежные сопряжения с горизонтальными уплотнениями шва. Схемы некоторых типов внутренних контурных уплотнений показаны на рис. 3-19.

3.5. ДРЕНАЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

В швах гидротехнических сооружений, всегда находящихся под напором, следует предусматривать устройство вертикальных дрен, расположенных в 1,0-1,5 м от низового ограждения асфальтовой шпонки или низовой диафрагмы при уплотнении температурного шва без асфальтовой шпонки. Благодаря этим дренам обеспечивается организованный отвод воды, профильтровавшейся по разным причинам по деформационному шву. Отказ от устройства дренажа температурных швов допустим в сооружениях, подвергающихся воздействию напора только эпизодически. Начало вертикальной дрены в температурном шве сооружения рекомендуется располагать на 1-1,5 м ниже НПУ.

Вертикальные дренажи устраиваются круглого или квадратного сечения. Минимальное сечение квадратной дрены принимается равным 20 x 20 см. Если дрена используется в качестве смотровой шахты, то ее сечение принимается не менее 80 x 80 см. При цементации температурных швов в промежутке между диафрагмами верхнего и нижнего бьефов, как правило, подлежат цементации и дрена малое сечения (20 x 20 см). Цементация таких дрен осуществлялась в температурных швах плотины ГЭС Саньмынься. Смотровые шахты, устраиваемые за асфальтовыми шпонками большого сечения в деформационных швах, могут быть использованы для устройства дополнительной асфальтовой шпонки большого сечения в случае выхода из строя основной шпонки. Смотровые шахты устраиваются преимущественно в сооружениях высотой более 50 м. В некоторых случаях (Воткинская ГЭС) смотровые шахты используются для устройства второго ряда шпонок большого сечения уже в период строительства (см. рис. 1-10).

В температурных швах бетонных плотин дренажи за уплотнением швов, как правило, соединяются с дренажной системой сооружения. Чаще всего также дренажи выводятся в потери внутри тела плотины. В целях обеспечения возможности цементации таких дрен должны быть предусмотрены соответствующие конструктивные решения. В

зданиях ГЭС отвод дренажных вод рекомендуется производить непосредственно в нижний бьеф.

Отвод фильтрационных вод из полости деформационного шва в нижний бьеф может быть осуществлен при помощи специальной трубы, как это предусмотрено в здании Новосибирской ГЭС. Сброс воды может быть также в общий колодец приема фильтрационных вод из подвальных помещений (здание Кременчугской ГЭС). Этим самым позволяет поддерживать стояние воды в шве на уровне нижнего бьефа. Защита подвальных помещений и галерей от затопления при повышении уровня воды в нижнем бьефе обеспечивается отдельными контурными уплотнениями вокруг этих помещений (рис. 3-19).

В случае частичного (ниже отметки НБ) или полного осушения полости шва создаются неоправданно тяжелые условия статической работы железобетонных элементов турбинной камеры и водовода (в зданиях ГЭС руслового типа), так как увеличиваются растягивающие усилия в указанных элементах подводного массива. Усиливается также деформация в основании сооружения.

Устройство дрен, кроме организованного отвода фильтрационных вод из полости деформационных швов, позволяет контролировать качество работ по уплотнениям деформационных швов, а также их исправность в период эксплуатации сооружения. Показателем как качества выполненных работ, так и исправности уплотнений является отводимый фильтрационный расход воды. В связи с этим должна быть предусмотрена возможность измерения этих расходов при помощи соответствующих контрольно-измерительных устройств (см. § 6-7).

3-6. ЗАПОЛНИТЕЛИ АСФАЛЬТОВЫХ ШПОНОК И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений область расположения внутреннего вертикального асфальтового уплотнения чаще всего имеет положительную или близкую к нулю температуру. Это создает условия, при которых в эксплуатации сохраняется высокая пластичность и текучесть асфальтовой мастики, заполняющей полость шпонки. В этом случае, при установившемся состоянии, асфальтовая мастика ведет себя как высоковязкая жидкость, передающая давление по закону гидростатики. При расширении шва давление мастики падает, при сужении — увеличивается. Во всех случаях при температурных деформациях шва распространение давления мастики по высоте шпонки обуславливается скоростью деформации полости шпонки и скоростью движения мастики в ней. Помимо температурных условий, пластичность и текучесть асфальтовых материалов зависит, главным образом,

от их состава и марки применяемого битума, а также от площади поперечного сечения и формы полости шпонки.

В отечественной практике гидротехнического строительства для заполнения шпонок рекомендуются термопластичные асфальтовые мастики [24] следующих трех составов (в % по весу):

Состав № 1

Битум БН-III	30
Портландцемент	70

Состав № 2

Битум БН-III	35
Портландцемент	65

Состав № 3

Битум БН-III	25
Портландцемент	75

Асфальтовый материал заполнения шпонок должен обладать необходимыми упруго-вязкими свойствами, способностью воспринимать многократные знакопеременные нагрузки и температурные изменения без нарушения монолитности и иметь прочное сцепление с бетонной поверхностью полости шпонки. Пользуясь одним только битумом, не удастся получить смеси, обладающей указанными свойствами.

Термопластичность асфальтового заполнения шпонок требует надежной их защиты от резких перемен температур, поскольку рекомендованная [24] асфальтовая мастика при повышенных температурах может вытекать через неплотности ограждения, как это случилось, например, на Волжской ГЭС имени В. И. Ленина, Воткинской и Каховской ГЭС, а с другой стороны, при пониженной температуре асфальтовая мастика теряет свою пластичность, что приводит к ее растрескиванию при расхождении шва или к избыточному давлению в полости шпонки при его схождении. Поэтому наружные (поверхностные) вертикальные асфальтовые шпонки не следует заполнять обычным составом [24] асфальтовых мастик.

Термопластичная асфальтовая мастика при промерзании шпонки теряет подвижность, не подтекает с должным расходом, и в ней возникают растягивающие напряжения, которые в итоге приводят к растрескиванию ее. В настоящее время большой интерес представляет применение полимерных материалов в качестве пластифицирующих и структурирующих добавок, которые придают асфальтовым мастикам эластомерные свойства, снижая их текучесть при повышенных температурах и повышая растяжимость при пониженных температурах, одновременно снижая температуру хрупкости материала. Результаты ис-

следований новых битумно-полимерных герметизирующих материалов, выполняемых во ВНИИГ с 1964 г. [27], открывают новые перспективы для применения поверхностных асфальтовых шпонок в условиях резко континентального климата [25]. Для приготовления битумно-полимерных герметиков наиболее эффективными добавками пластификаторов оказались: каучуковый латекс СКД-1, растворы каучуков (торговый резиновый клей 4508) и КОРС (кубовые остатки ректификация стирола), если они сплавлены с битумом в горячем состоянии и растворитель или вода из них выпарены. Такие добавки придают асфальтовой мастике повышенные гидроизоляционные свойства, например, трещиностойчивость на морозе, а также являются более эффективными, чем традиционные добавки резиновой крошки, применяемые при получении битумно-резиновой мастики. В последние годы разработаны герметики с использованием этиленпропиленовых каучуков СКЭП и СКЭПТ (ВСН 134-70) и термоэластопластов. Эти материалы, наряду с повышенной деформативной способностью, обладают и повышенным сцеплением с бетонными поверхностями.

Составы и свойства некоторых битумно-полимерных герметиков* приведены в табл. 3-2 (по ГОСТ 11501-65).

Таблица 3-2

Состав и свойства битумно-полимерных герметиков

Характеристика	Битумно-резиновый	Битумно-латексный БКД-М	Битумно-каучуковый	Битумно-стирольный
Вид добавки	Резина + масло	СКД-1	Клей 4508	КОРС
Состав массы, %:				
битум БНД 40/60	78	56	56	35 (БН-IV)
добавка	12	4	4	5
порошок	10	40	40	60
Температура размягчения, °С	102	95	90	73
Растяжимость, см	1,8	3	2,2	4
Глубина проникновения иглы 0,1 мм, °П	20	20	19	25
Температура хрупкости, °С	-17	-30	-17	-30
Адгезия с бетоном, кгс/см ²	1,8	2,3	1,0	2,0
Водопоглощение за 3 года, %	3,2	1,5	0,7	0,4
Набухание за 3 года, %	1,5	0,1	0,4	1,25

По своим структурно-механическим свойствам битумно-полимерные герметики характеризуются термопластичностью и аномальностью вязкости, не свойственными обычным асфальтовым материалам с коа-

* "Герметик" — подразумевается упруго-вязкий материал, способный к восприятию многократных знакопеременных нагрузок без нарушения своей сплошности.

гуляционной структурой, однако каучуковые добавки оснащают ее дополнительной конденсационной структурной сеткой, повышающей упругую и высокоэластическую составляющие общей деформации ε , зависимость которой от величины действующего напряжения σ , в соответствии с современными принципами физико-химической механики, может быть выражена уравнением [25]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_y} + \frac{\sigma}{E_s} (1 - e^{-t/\theta}) + \frac{\sigma^\beta}{\eta_0} t, \quad (3-1)$$

где E – равновесный модуль упругости; E_s – модуль высокоэластической деформации (модуль эластичности); t – время действия расчетного напряжения; θ – время или период релаксации; η_0 – наибольшая структурная вязкость, численно равная эффективной, при напряжении в $0,0012 \text{ кгс/см}^2$; $\beta = 1$ – мера аномальности от ньютоновской жидкости.

значения этих структурно-механических характеристик для битумно-полимерных герметиков вышеуказанных составов (табл. 3-2) приведены в [25].

Далее, рассматривая условия деформирования битумно-полимерных герметиков в шпонках уплотнения швов железобетонных облицовок и экранов, необходимую ширину шпонки определяем из условий предельных растягивающих напряжений в герметике при расхождении шва и по зависимости

$$b = \frac{k v_x t}{\sigma \left[\frac{1}{E_y} + \frac{1}{E_s} (1 - e^{-t/\theta}) + \sigma^{\beta-1} \frac{1}{\eta_0} t \right]}, \quad (3-2)$$

где k – коэффициент запаса, принимаемый в зависимости от условий работы 1,1–2,0 при этом, чем более структурирована мастика, тем большим принимается k ; t – расчетный период; v_x – постоянная скорость расхождения шва.

расчет по формуле (3-2) показывает, что новые битумно-полимерные герметики позволяют делать поверхностные герметизирующие шпонки сечением $5 \times 7 \text{ см}$ без появления значительных растягивающих напряжений во время расхождения шва при низкой температуре.

В зарубежных странах для заполнения шпонок применяются битумно-резиновые сплавы, изготовленные на битуме с малой вязкостью, приближающиеся по своим свойствам к битумам марок БН-III и БН-I или их смеси. Эта мастика легко размягчается от температуры руки, не требует разогрева даже при температуре наружного воздуха до -35°C . Так, например, этими мастиками финские фирмы "Иматран Войма" уплотняли деформационные швы облицовочных плит подводящих и отводящих каналов Верхне-Тулумской, Янискоски и других ГЭС.

В качестве материала заполнителя асфальтовых шпонок могут быть [7] предложены пластифицированные битумы промышленного

изготовления, с добавкой каучуковидных материалов (резиновый порошок, полиизобутилен, синтетический каучук и др.), повышающих вязкость. Такой состав материала заполнителя повышает деформативную способность обычных нефтяных битумов при отрицательной температуре и уменьшает текучесть пластифицированного битума из шпонки. Применение подобных заполнителей дает возможность отказаться от разогрева мастики.

В США опыт эксплуатации деформационных швов дорожных покрытий, расположенных в разных климатических условиях, показал достаточно хорошую стойкость указанных видов заполнителей [77].

Следует отметить, что несмотря на большие неравномерные осадки секций сухого дока завода имени Г. Димитрова в г. Варна (Болгария), уплотнения швов производились асфальтовыми шпонками, заполненными мастикой на основе битумно-резинового сплава. Применение битумно-полимерных сплавов позволило при раскритии деформационных швов до 12 см обеспечить водонепроницаемость их благодаря большой деформативной способности мастики даже при отрицательной температуре.

В Советском Союзе имеется некоторый опыт применения битумно-резиновых заполнителей. В 30-х годах институт коммунального хозяйства в Ленинграде проводил опыты по устройству асфальто-бетонных покрытий с резиновым наполнителем. В 1939-1941 гг. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева исследовал асфальтовые мастики с резиновым наполнителем для ремонта шпонок шлюзов канала им. Москвы. Полученные результаты были положительными.

При строительстве Кременчугского гидроузла по рекомендации автора для заполнения асфальтовых шпонок здания ГЭС сечением 100 x 80 см, вместо горячей асфальтовой мастики, предусмотренной проектом, применялась асфальтовая мастика резино-битумного сплава следующего состава (%):

Битум БН-III	16
Битум БН-V	14
Резиновая крошка	6
Доломитовая пыль	61
Зеленое масло (пластифицирующая добавка)	3

Асфальтовая мастика, предложенная нами, была исследована в строительной лаборатории Кременчугского гидроузла. В ней изучались составы сплавов, содержащие от 5 до 20% по весу резиновой крошки.

Исследованиями [77] установлено, что при добавке к битуму малых количеств резины (до 5%) наблюдается ускоренное старение смеси, что объясняется тем, что при малых добавках резины, набухая, отбирает у битума масло. До повышения теплоизоляционных свойств, эластичности и температуростойчивости в смесь следует вводить повышенное количество резиновой крошки.

На рис. 3-21 представлены результаты испытаний основных свойств исследуемых составов горячих асфальтовых мастик. Прежде всего установлено, что добавка резиновой крошки резко повышает температуру размягчения мастики. Следует отметить также положительное влияние резиновой крошки на прочность сцепления мастики с бетонной поверхностью. Испытания прочности сцепления проводились при температурах от +10 до -20°C. Было установлено, что прочность сцепления уменьшается с понижением температуры. Причем при отрицательных

температурах прочность сцепления снижается значительно. Однако и при температурах -20°C мастика все еще обладает достаточным сцеплением.

Дополнительно исследовалось влияние огрунтовки бетонной поверхности на сцепление с асфальтовой мастикой. Прочность сцепления в этом случае оказалась на 35–50% выше, чем у неогрунтованной. Таким образом сцепление с бетоном указанных мастик при положительной температуре было ниже 4 кгс/см^2 , а при 0° и -5°C практически отсутствовало. Исследованиями также установлено, что введение в мастику резиновой крошки повышает ее прочность на разрыв (кривая 3 рис. 3–21).

Одновременно испытывались асфальтовые мастики состава № 1 и 2 (см. § 3–6).

Испытания температуры размягчения проводились по стандартной методике на приборе "кольцо и шар". Степень прочности сцепления мастики с бетонной поверх-

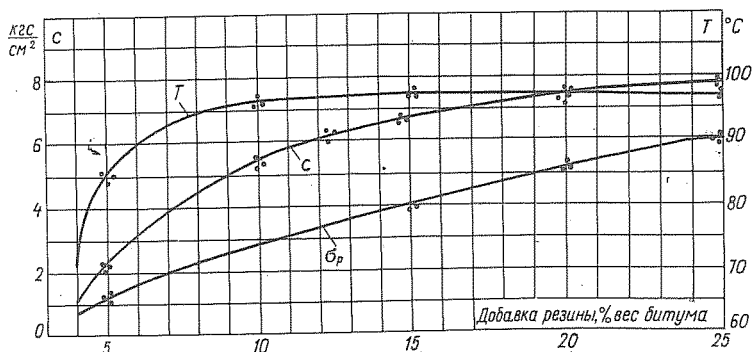


Рис. 3–21. Изменение свойств горячих асфальтовых мастик при введении резины

T — температура размягчения; C — прочность сцепления с бетоном при температурах от $+10^{\circ}$ до -10°C ; σ_r — прочность при разрыве

ностью оценивалась путем испытания бетонных образцов, склеенных исследуемыми составами. Прочность на разрыв определялась испытанием образцов, изготовленных из мастики на разрывной машине, при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, со скоростью хода захвата разрывной машины 3 мм в минуту.

Испытаниями на консистометре Геплера установлено, что мастики, содержащие резиновую крошку, имеют вязкость на 35–45% выше, чем мастики без добавок.

Теплопроводность мастик, содержащих резиновую крошку, значительно ниже, чем мастик без этой добавки. Таким образом, исследованиями подтверждено, что введение в состав горячих асфальтовых мастик резиновой крошки и пластификатора (масла) значительно повышает их эластичность и термопластичность.

Кроме теплопроводности, проводились определения других физико-механических свойств исследуемых сплавов битума и резиновой крошки. Водоустойчивость сплавов оценивалась водопоглощением, набуханием и коэффициентом водоустойчивости. Испытания проводились в течение 14 месяцев. Коэффициент водоустойчивости определялся путем испытаний на системе цилиндрических образцов высотой и диаметром 70 мм. Отмечено, что при испытаниях водопоглощения и набухания измене-

ния в весе и объеме наблюдались лишь в первые два месяца, а затем эти показатели стабилизировались.

Температура хрупкости сплавов определялась по Фраасу (ГОСТ 11507-58) и экспресс-методом по изменению ударной вязкости от температуры. Оба способа дали практически одинаковые результаты. В табл. 3-3 представлены результаты исследований физико-механических свойств сплавов нефтяного битума марки БН-Ш с резиновой крошкой.

Таблица 3-3

Свойства сплавов нефтяного битума БН-Ш
с резиновой крошкой

Физико-механические свойства	Показатели составов с резиновой крошкой (% по весу)				
	5	10	15	20	25
Температура размягчения по "КИШ", °C	85	100	105	107	110
Растяжимость при +25 °C, см	2,5	2,5	3,0	2,5	2,5
Глубина проникновения иглы при +25 °C, см	25	20	20	15	15
Водоустойчивость через 14 месяцев:					
водопоглощение, %	1,80	1,50	1,40	1,80	1,95
набухание, %		Отсутствует			
Коэффициент водоустойчивости	1,0	1,20	1,20	1,20	1,20
Сцепления с бетоном при температуре +5 °C, кгс/см ²		См. рис. 3-21			
Температура хрупкости, °C	-20	-30	-30	-35	
Водонепроницаемость	Выдерживает давление до 10 атм				

Результаты проведенных исследований показывают, что сплав нефтяного битума марки БН-Ш с резиновой крошкой имеет повышенные физико-химические свойства по сравнению с чистыми битумами и асфальтовыми мастиками (составов № 1 и 2), приготовленными с использованием обычных минеральных наполнителей. Высокие показатели сцепления с бетоном и высокая температура хрупкости позволяют рекомендовать битумно-резиновые сплавы для заполнения полостей шпонок. Исследования подтвердили также необходимость строгого соблюдения технологии приготовления битумно-резиновых сплавов.

Для обеспечения полного сплавления резиновой крошки и получения однородного состава следует очистить материалы от посторонних включений путем процеживания через мелкую сетку, хорошо выпарить и сплавление с резиновой крошкой производить при непрерывном перемешивании в течение 1,0-1,5 ч.

Для опыта, предложенного нами, битумно-резиновой мастикой были порусно (4 м) заполнены четыре асфальтовые шпонки, расположенные по две стороны верхнего и нижнего бьефов.

В период с 1959 по 1972 г. проводились систематические наблюдения за этими опытными шпонками. Из наблюдений в смотровых шахтах установлено, что фильтрация воды через шпонки и утечка мастики не имели места. Также отмечается, что асфальтовая мастика в шпонках, хорошо нагретая и обезвоженная перед затоплением котлована, плотно заполняет полость шпонки и при этом сохраняет устойчивость против выдавливания гидростатическим давлением. Колебания уровня мастики в шпонке находятся в зависимости от температуры бетона массива сооружения. Необходимо отметить, что опыт эксплуатации шпонок с заполнением битумно-резиновой мастикой показал монолитность и эластичность таких мастик.

3-7. ПОПОЛНЕНИЕ ПОЛОСТИ ШПОНОК АСФАЛЬТОВОЙ МАСТИКОЙ

Надежная работа асфальтовых шпонок может быть обеспечена только в том случае, если в них давление со стороны асфальтового материала несколько превышает внешнее гидростатическое давление. Вместе с тем избыточное внутреннее давление может привести к разрушению ограждающих устройств шпонки. Регулирование давления внутри полости шпонки можно обеспечить своевременным наполнением ее мастикой при расхождении температурного шва или удалением части асфальтового материала при его сжатии. В период эксплуатации сооружения возможны некоторые утечки асфальтовой мастики. Это также требует пополнения мастикой полости шпонки. Чем меньше вязкость битума, на котором приготовлена мастика, тем легче может быть обеспечено регулирование давления в шпонке.

В этом отношении большой интерес представляет устройство автоматического регулирования уровня асфальтовой мастики в шпонках на водосливной плотине Кегумской ГЭС, где уплотнением температурного шва служит асфальтовая шпонка круглого сечения диаметром 15 см, заполненная асфальтовой мастикой на битуме, приближающейся по своим реологическим характеристикам к битуму марки БН-Т. Надежность работы асфальтовых шпонок обеспечивается здесь путем пополнения или удаления излишней мастики автоматическими устройствами, которые применены впервые в практике гидротехнического строительства [7, 24].

Указанное устройство состоит из компрессорной установки, воздухопроводящей сети и питательной колонки для автоматического регулирования давления, подачи асфальтовой мастики в шпонку и приема вытекающей из нее мастики. На рис. 3-22 показаны питательные колонки в инспекционной галерее.

Во время эксплуатации, при расширении температурного шва это устройство обеспечивает непрерывное пополнение полости шпонки асфальтовым материалом и создает в ней необходимое давление; при сжатии шва асфальтовая мастика вытесняется из полости шпонки и поступает в указанную колонку. При утечке асфальтового материала из шпонки, так же как и при расхождении шва, давление в колонке падает и она автоматически подключается к воздухоподводящей сети, в результате чего давление восстанавливается и асфальтовая мастика подается в шпонку. При сжатии температурного шва асфальтовая мастика вытесняется в колонку; при переполнении колонки, вследствие превышения давления в ней над

внешним, открывается предохранительный клапан и избыток мастики вытесняется наружу.

Указанное автоматическое устройство по регулированию давления в асфальтовых шпонках требует специальных асфальтовых мастик. Данное устройство применимо для замкнутых или кольцевых уплотняющих шпонок в температурных швах, где затруднена наружная установка по регулированию давления.

Как показывает опыт эксплуатации и строительства некоторых гидроэлектростанций (ГЭС Янискоски), надежное уплотнение строительных швов особо ответ-

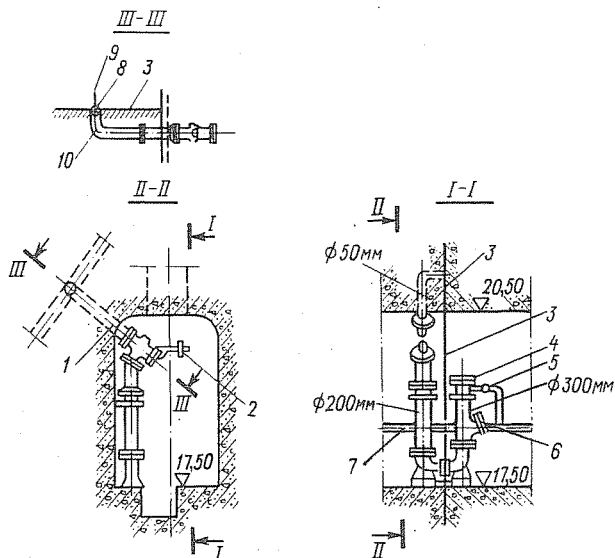


Рис. 3-22. Питательные колонки в инспекционной галерее Кегумской ГЭС

1 - подача асфальтовой мастики к уплотнению; 2 - обратный клапан; 3 - шов; 4 - инспекционное отверстие для наблюдения за уровнем асфальта и его пополнением; 5 - вентиль; 6 - пита-
тельное отверстие; 7 - трубопровод для сжатого воздуха

ственных элементов гидросооружений (железобетонные спиральные камеры, турбинные водоводы) может быть обеспечено при помощи кольцевых (замкнутых) уплотняющих шпонок.

Регулирование давления в таких шпонках может быть достигнуто более простыми устройствами. Одним из таких устройств может являться небольших размеров резервуар с запасом мастики, расположенный в хорошо утепленном помещении и на отметках, несколько превышающих наивысший уровень верхнего бьефа. Наличие такого резервуара может обеспечить автоматическую подачу в шпонку и удаление из нее асфальтовой мастики. Сообщение резервуара с полостью шпонки в этом случае

должно осуществляться при помощи напорного трубопровода. Наиболее простое соединение такого трубопровода с полостью шпонки может быть обеспечено при шпонке круглого сечения. Для обеспечения необходимой подвижности асфальтового материала резервуар с запасом мастики должен быть расположен в хорошо отапливаемом помещении.

При незамкнутых вертикальных шпонках регулирование давления может быть обеспечено при помощи напорных шахт, соединенных с полостями шпонок. Площадь сечения этих шахт должна быть больше, чем площадь сечения шпонок, верх таких шахт должен быть выше наивысшего уровня воды в верхнем бьефе. При такой схеме напорные шахты должны иметь надежный обогрев мастики.

Несколько иная схема принята для пополнения шпонок асфальтовой мастикой в осадочных швах плотины и здания Воткинской ГЭС (рис. 1-10).

Для пополнения мастикой замкнутых асфальтовых шпонок (являющихся внутренними уплотнениями в пределах узкой части осадочного шва) в галереях подводной части плотины и здания ГЭС и горизонтальных шпонок на границе узкой и расширенной части швов предусмотрена установка специальных труб подпитки диаметром 15-20 см. Устья труб для подпитки выведены на отметки мостов (плотины) и пола машинного зала здания ГЭС. В трубах подпитки предусмотрена система электронагрева для мастики, подающейся для заполнения полости контурных шпонок (рис. 3-19, в). При такой системе в случае обрыва в цепи электродов в трубах подпитки заполнение мастикой шахты шпонки вокруг галереи невозможно.

Заполнение шахты шпонки Мамаканской плотины производилось асфальтовой мастикой до укладки бетона вышележащего яруса. Проектный состав мастики: битум БН-Ш - 35%, минеральный порошкообразный заполнитель (известковая мука, зола ТЭЦ и другие материалы) - 60%, коротковолокнистый асбест (№ 7-8) - 5%. Фактически же заполнителем является цемент, потерявший активность.

3-8. НОВЫЙ СПОСОБ РАЗОГРЕВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ АСФАЛЬТОВЫХ ШПОНОК

Практика эксплуатации гидротехнических сооружений показала, что одной из наиболее важных проблем в настоящее время является восстановление работы асфальтовых шпонок на деформационных швах, вышедших из строя из-за неудачной конструкции или плохого качества выполнения работ. Проводимые до сих пор попытки разогрева шпонок горячим воздухом, паром и маслом не дали удовлетворительных результатов. Из изложенного видно, что существующие конструкции электронагревателей обладают следующими недостатками, значительно снижающими гарантию их нормальной работы, как-то: а) в случае замыкания в цепи или обрыва электродов электронагреватель восстановить почти невозможно; по этой причине многие асфальтовые шпонки на Мамаканской, Кременчугской, Новосибирской, Братской и других гидростанциях не нагреваются; б) наличие большого числа закладных деталей (кляммеров) затрудняет условия производства работ при устройстве шахты шпонки; в) требуется тщательная изоляция всех монтажных кляммеров; г) высокая стоимость электронагревателя, так как на каждую шпонку устанавливается отдельный обогреватель.

Кроме того, на некоторых гидроузлах (например, Плявинская ГЭС) стационарные U-образные нагреватели имеют сложную электрическую схему.

Для устранения указанных недостатков и с целью получения гарантированного разогрева заполнителя асфальтовых шпонок, повышения эффективности и упрощения производства работ нами предложена

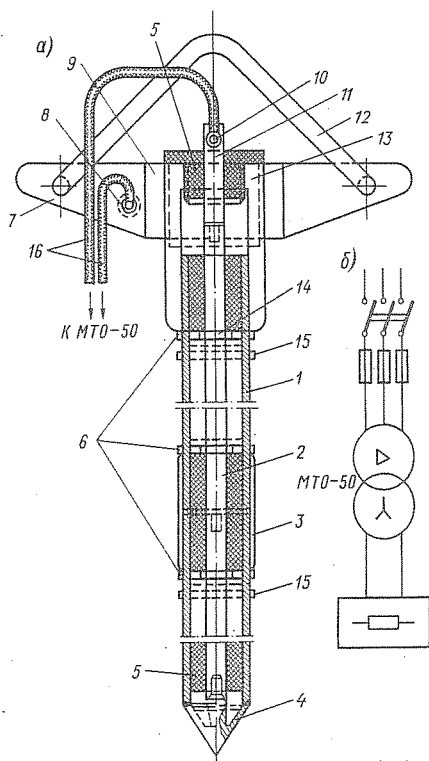


Рис. 3-23. Переносный сборно-разборный электронагреватель: а - общий вид; б - схема электрического соединения (размеры в см)

1 - труба обсадная без ниппеля; 2 - сердечник (стержень); 3 - муфта; 4 - наконечник концевой; 5 - втулка электроизолирующая; 6 - контргайка; 7 - лопасть; 8 - винт с гайкой и шайбой для присоединения токоведущего кабеля; 9 - кольцо; 10 - соединитель кабеля; 11 - то же к сердечнику; 12 - подвеска; 13 - стакан держателя к поз. 9; 14 - кольцо держателя к поз. 5; 15 - упорное кольцо сердечника; 16 - электросварочные кабели

новая универсальная конструкция переносного электронагревателя из сборно-разборных электродов [8], в виде отдельных унифицированных секций длиной до 4,0 м (рис. 3-23). Все секции электронагревателя взаимозаменяемы, за исключением нижней (направляющей), имеющей специальный наконечник для образования замкнутого контура. Каждая секция электронагревателя состоит из двух электродов, одним из которых является труба 1, другим - сердечник 2. Втулки 5 сделаны

из жаропрочных материалов (фторопласт 4а, стеклотекстолит и др.), они расположены по концам и в середине секций и обеспечивают изоляцию электродов. Нижняя секция снабжена хромированным заостренным наконечником 4 для лучшей посадки в мастику.

Соединение электродов секций между собой производят с особой тщательностью: труб — при посоши муфт 3 с упорными гайками 6, препятствующими проникновению через муфты жидкой мастики и воды, а сердечников 2 — резьбовым соединением. Для устранения электросварочного контакта в торцах сердечников в процессе разогрева асфальтовой мастики между сердечниками по диаметру их устанавливается накладка из алюминиевого листа.

Захват электронагревателя подъемными средствами производится за подвеску 12. Для возможности опирания на поверхность гребня сооружения имеется опорная конструкция, состоящая из лопасти 7 и кольца 9. Питание электронагревателя осуществляется из общей сети переменного тока напряжением 380/220 В через сварочный трансформатор ТС-500, образующий ток 360–500 А при напряжении 5–12 В.

Погружение нагревателя в асфальтовую шпонку производится от собственного веса, для опускания и подъема может использоваться лебедка и специальная тренога с прикрепленной к ней направляющей рамой.

Предлагаемая конструкция электронагревателя проста, несложна в изготовлении и удобна в эксплуатации с минимальной затратой рабочей силы и электроэнергии по сравнению с применяемыми в настоящее время электронагревателями, закрепляемыми в шахте шва и оставляемыми в теле шпонки; позволяет достигнуть большой экономии средств за счет многократного использования электронагревателя. Кроме того, применение такого электронагревателя повысит качество разогрева заполнителя асфальтовых шпонок благодаря возможности контроля и быстрой замены секций, вышедших из строя в процессе работы.

Переносной электронагреватель может быть использован также для разогрева асфальтовых диафрагм, заложенных в теле набросных плотин и т. п. Упрощается схема работ по разогреву асфальтовых мастик в шпонках в предпусковой и эксплуатационный периоды и обеспечивается возможность регулирования скорости их разогрева с необходимой температурой асфальтового заполнителя. Описание промышленного испытания электронагревателя изложено в § 6–4.

3.9. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ АСФАЛЬТОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Исследуем тепловое состояние асфальтовых уплотнений деформационных швов гидросооружений, возникающее в процессе работы электронагревателей двух видов: стационарного U -нагревателя и сборного электронагревателя, который для краткости именуется ниже $\mathcal{E}$ -нагревателем.

Опыт показывает, что разогрев с помощью U - и $\mathcal{E}$ -нагревателей происходит по-разному. В первом случае источники тепла (обычно это стержни арматуры, размещенные по контуру уплотнения вблизи бетонной кромки) нагревают битумную шпонку более или менее равномерно по всей границе. Во втором случае источник тепла помещается в центре шпонки, так что тепло передается периферийным областям, проходя все сечение уплотнения.

В результате экспериментальных исследований и непосредственных измерений параметров процесса разогрева, выполненных автором (Кременчугская и Братская ГЭС), установлено, что при одинаковой мощности разогрев U -нагревателями происходит более медленно. На наш взгляд причиной этого являются следующие обстоятельства. При обогреве шпонок U -нагревателями стержни арматуры (электроды) расположены близко от поверхности массивного бетона, теплопроводность которых значительно выше теплопроводности битумной мастики. Кроме того, в случае интенсивной фильтрации воды, которая обычно имеет место перед ремонтом уплотнений, происходят большие потери тепла, выделяемого отдельными электродами. В то же время разогрев с помощью одного источника тепла, помещенного в центре уплотнения, приводит к быстрому плавлению материала шпонки, что является, как будет показано ниже, весьма благоприятным фактором.

Температурный расчет битумных шпонок деформационных швов плотины (при разогреве $\mathcal{E}$ -нагревателями) сводится к решению пространственной задачи теплопроводности с весьма сложными граничными условиями в силу того, что опускающийся по мере плавления мастики электронагреватель представляет собой подвижный источник тепла.

Строгое решение подобной задачи связано со значительными математическими трудностями. Поэтому представляет интерес приближенная, но вместе с тем более простая постановка задачи, которая, что важно, дает возможность оценить преимущества предлагаемого способа разогрева в сравнении с известным методом обогрева стационарными U -нагревателями.

Предположим, что вертикальные перемещения $\mathcal{E}$ -нагревателя во время разогрева отсутствуют, т. е. $\mathcal{E}$ -нагреватель, так же как и U -нагреватель, находится в стационарном положении. В этом случае

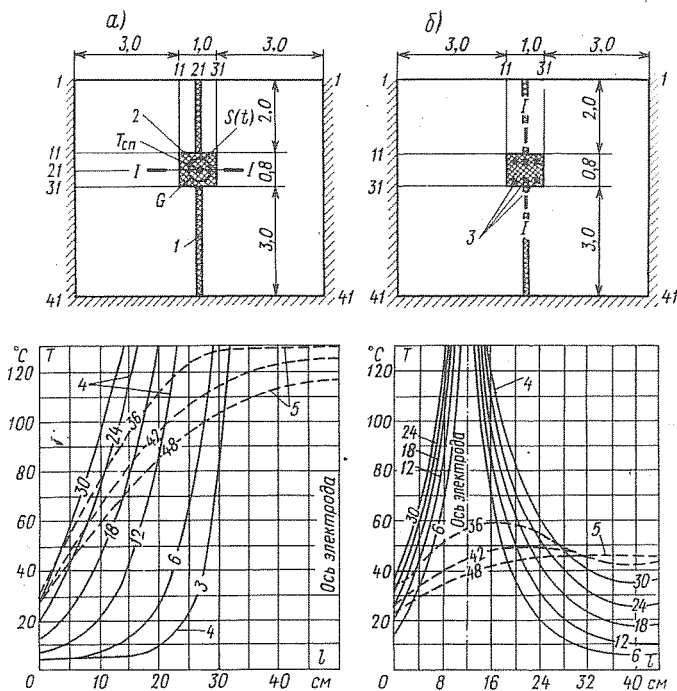


Рис. 3-24. Расчетные схемы и кривые распределения температуры в асфальтовой мастике: а - при Э-электронагревателе ($q_{\text{Э}}^0 = 4800 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$); б - при U-электронагревателе ($q_{\text{U}}^0 = 800 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$)

1 - деформационный шов; 2 - Э-электронагреватель; 3 - U-нагреватель; 4 - время разогрева мастики в часах; 5 - время остывания мастики в часах

температурное поле в материале уплотнения будет плоским, что приводит к упрощению задачи теплопроводности.

Далее рассмотрим неоднородные области D_U и $D_{\text{Э}}$, состоящие из бетона и мастики заполнителя уплотнения, теплофизические характеристики которой зависят, как известно, от марки битума и свойств наполнителя, а также от температуры. Размеры расчетных областей, показанных на рис. 3-24, а, б, могут быть определены, исходя из следующих соображений. Известно, например, что уплотнения дефор-

мационных швов гидросооружений располагаются обычно на расстоянии 1,5–2,5 м от напорной грани [7]. Вместе с тем можно показать, что температура зон бетона, удаленных на 2–3 м от границы битумной шпонки, практически не влияет на тепловое состояние материала уплотнения за время обогрева (24–48 ч).

Будем считать, что в общем случае на напорной грани выполняется граничное условие третьего рода

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \beta [\varphi(t) - T(t)], \quad (3-3)$$

где $\beta = 20 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$ – коэффициент теплообмена (для неизолированных бетонных поверхностей); $\varphi(t)$ – температура внешней среды, изменяющаяся по закону

$$\varphi(t) = -4 + 25 \sin(7,122t \cdot 10^{-4} + 1,584);$$

$T(t)$ – температура бетона напорной грани; t – время.

На боковых поверхностях и нижней границе рассматриваемых областей D_U и D_3 тепловой поток равен нулю, т. е.

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0, \quad (3-4)$$

а внутри областей задано начальное распределение температуры, которое для простоты принято постоянным

$$T(x, y, 0) = \text{const.}$$

Уравнение теплопроводности, описывающее передачу тепла в бетоне, имеет вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right). \quad (3-5)$$

Обычно принимают: $a = 0,004 \text{ м}^2/\text{ч}$; $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$; $\lambda = 2,0 \text{ ккал}/(\text{ч} \cdot \text{м} \cdot \text{град})$; $c = 0,2 \text{ ккал}$.

На контакте бетона с асфальтовой мастикой уплотнения выполняются граничные условия четвертого рода

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial n}; \quad (3-6)$$

$$T_6(x, y, t) = T_m(x, y, t), \quad (3-7)$$

где $T_m(x, y, t)$ и $T_6(x, y, t)$ – температура асфальтовой мастики уплотнения и бетона на контакте; λ_m – коэффициент теплопроводности асфальтовой мастики.

Если материал уплотнения не находится в жидком состоянии, то передача тепла происходит путем теплопроводности

$$(cy) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (3-8)$$

так как, вообще говоря, теплофизические характеристики мастики зависят от температуры.

Зависимость теплофизических характеристик битумных мастик от температуры исследовались во ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева Б. В. Леоновым. Результаты опытов Б. В. Леонова можно найти, например, в [7, 8]. Из его опытов следует, что изменение основных теплофизических характеристик в интервале температур 0–100° С относительно невелико и для наших расчетов, цель которых состоит в сопоставлении эффективности различных способов разогрева, можно принять некоторые средние значения коэффициентов λ_m , C_m и γ_m . Тогда уравнение (3-8) упрощается

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_m \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right), \quad (3-9)$$

где a_m — среднее значение коэффициента температуропроводности мастики (среднее значение $a_m \approx 0,001 \text{ м}^2/\text{ч}$).

Материал уплотнения, нагреваясь, размягчается и при некоторой температуре $T_m = T_{cl}$ переходит в жидкое состояние. Процесс теплопередачи в жидкой мастике протекает иначе. Вследствие интенсивного перемешивания расплавленных слоев происходит быстрое выравнивание температуры вокруг источника тепла, т. е. имеет место конвективный теплообмен. Задачи, связанные с изменением агрегатного состояния материала (например, при плавлении), известны в теории теплопроводности как задачи Стефана [26]. В классической постановке подобных задач предполагается выполнение так называемого условия Стефана на границе фаз (условия фазового перехода). Заметим, однако, что битум — основное вяжущее материала уплотнения — является аморфным веществом и поэтому переход его из твердого состояния в жидкое не требует подвода дополнительного количества тепла (теплоты плавления), как это имеет место в материалах с кристаллической структурой. В силу этого трудно говорить о постановке условия Стефана на границе жидкой и нежидкой частей материала уплотнения.

В этой связи необходимо заметить, что задачу Стефана можно рассматривать как задачу о движущемся источнике тепла некоторой мощности $q(S, t)$ в частности, для одномерной задачи [18] имеем

$$q(\dot{S}, t) = q_0 Q \frac{dS(t)}{dt}, \quad (3-10)$$

где $q(S, t)$ – поток тепла на подвижной границе; $S(t)$ – расстояние до подвижной границы; q_0 – поток тепла по фронту плавления, когда $S(t) = 0$ (начало процесса); Q – коэффициент пропорциональности.

Будем считать [10], что в рассматриваемом случае выполняются следующие условия; а) мастика уплотнения плавится при некоторой, определяемой из опыта, температуре T_{cr} , зависящей от свойств и состава материала уплотнения; б) в мастике, находящейся в жидком состоянии, имеет место совершенный конвективный теплообмен, т. е. температура мастики в расплавленной части уплотнения всюду равна T_{cr} в) поток тепла, передаваемый от источника через жидкую мастику, идет исключительно на расплавление материала уплотнения, т. е. потерями мощности на перемешивание слоев пренебрегаем; г) поток тепла в некоторой точке на границе жидкого и нерасплавленного материала пропорционален расстоянию от этой точки до электрода.

Указанные допущения позволяют сформулировать задачу о плавлении материала уплотнения в следующем виде. Для нерасплавленной части мастики имеем уравнение

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_m \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right). \quad (3-11)$$

Температура расплавленного материала всюду равна T_{cr} , а на переменной во времени границе между жидкой и нерасплавленной мастикой выполняется граничное условие второго рода* в виде

$$\lambda_m \frac{\partial T}{\partial n} = q_3^S(t, G), \quad (3-12)$$

где $q_3^S(t, G)$ – поток тепла на подвижной границе G . Согласно последнему допущению величину потока $q_3^S(t, G)$ приближенно выразим через q_3^0 – поток тепла, исходящий от электронагревателя длиной L ,

$$q_3^S(t, G) = q_3^0 \frac{d_3}{2S(t)}, \quad S(t) \geq d_3. \quad (3-13)$$

где d_3 – диаметр электронагревателя; $S(t)$ – расстояние от рассматриваемой точки границы до геометрического центра электронагревателя – неизвестная функция.

* Если мощность источника недостаточна для плавления, то имеем обычную двухмерную задачу теплопроводности с точечными источниками тепла.

Нетрудно подсчитать поток тепла от электронагревателя, зная силу тока, сопротивление и размеры электрода.

$$q_3^0 = 0,864 \frac{I^2 R_3}{\pi d_3 L_3}, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}, \quad (3-14)$$

где q_3^0 – поток тепла от электронагревателя; I – сила тока, А; L_3 – длина Э-нагревателя, м; R_3 – сопротивление электронагревателя, Ом.

Далее примем, что поток тепла от стержня арматуры стационарного нагревателя при прочих равных условиях определяется соотношением

$$q_U^0 = q_3^0 / n, \quad (3-15)$$

где q_U^0 – поток тепла от одного стержня; n – количество стержней, обычно $n = 2-6$. Сопротивление электронагревателя измерялось нами в лабораторных условиях.

Решение поставленных задач предлагается искать с помощью метода сеток с использованием явной схемы, оказавшейся весьма удобной для численного решения с помощью ЭВМ задач теплопроводности с подвижными границами. Расчеты проводились в математической лаборатории ВНИИГ на ЭВМ.

На рис. 3-24 и 3-25 приведены некоторые результаты температурных расчетов разогрева асфальтового уплотнения сечением $0,8 \times 1,0 \text{ м}^2$ длиной $L_3 = 6 \text{ м}$ с помощью Э-нагревателя диаметром 51 мм и сопротивлением $R_3 = 0,033 \text{ Ом}$ (при температуре 130°С) и U-нагревателя, состоящего из шести последовательно соединенных электродов (рис. 3-25, б). Схемы размещения электродов, а также размеры расчетных областей D_3 и D_U рассматриваемой плоской задачи теплопроводности показаны на рис. 3-24.

В расчетах принята температура расплавленной мастики $T_{cp} = 130^\circ \text{С}$. Начальная температура в бетоне и мастике постоянна и равна 5°С . Были рассчитаны следующие варианты:

Вариант 1. Сила тока $I = 400 \text{ А}$; $q_3^0 = 4800 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; $q_U^0 = 800 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; мощность $N = 5,2 \text{ кВт}$.

Вариант 2. $I = 350 \text{ А}$; $q_3^0 = 3600 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; $q_U^0 = 600 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; $N = 4,0 \text{ кВт}$.

Расчетные области D_U и D_3 покрывались сеткой с переменным шагом. Общее количество шагов по вертикали и горизонтали одинаково и равно 40. Шпонка уплотнения содержит 441 узел (21×21).

Кривые распределения температуры по сечению 1-1 для различных режимов разогрева представлены на рис. 3-24 и 3-25. На рис. 3-24 дана кривая, соответствующая длительности разогрева 30 ч и остывания до 48 ч. Разогрев с помощью Э-нагревателя по второму вари-

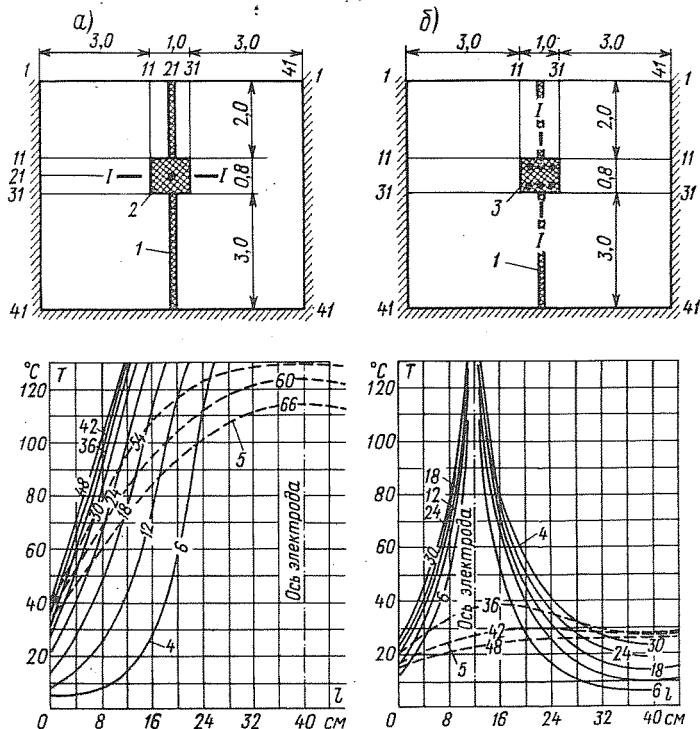


Рис. 3-25. Расчетные схемы и кривые распределения температуры в асфальтовой мастике: а - при Э-электронагревателе ($q_3^0 = 3600 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$); б - при U-электронагревателе ($q_4^0 = 600 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$). Обозначения те же, что и на рис. 3-24

анту производился в течение 48 ч, кривая для которого показана на рис. 3-25.

Из анализа результатов следует, что при разогреве шпонок с помощью U-образного нагревателя, состоящего из шести электродов общей длиной 36 м, практически не происходит плавления мастики, если поток тепла от стержней электродов $q_4^0 \leq 800 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Выше отмечалось, что возможная фильтрация воды через уплотнение способна значительно снизить полезное тепловыделение отдельных электродов. В то же время заполнение трещин и пустот в асфальтовой шпонке может произойти только в результате полного плавления хотя бы некоторой части шпонки.

Как видно из рис. 3-24 и 3-25 при Э-нагреве происходит интенсивное плавление материала заполнителя, который, естественно, быстро проникает в имеющиеся трещины и пустоты материала уплотнения.

Таким образом, выполненные расчеты показали, что при разогреве шпонки с помощью сборно-разборного Э-нагревателя восстановление сплошности материала в уплотнениях деформационных швов достигается быстрее и с меньшими затратами электроэнергии.

Конструктивные и технологические преимущества Э-нагревателя по сравнению с системой электронагрева с помощью стационарных U -образных нагревателей подробно описаны в § 3-8.

В заключение кратко рассмотрим вопрос об экспериментальном обосновании результатов расчетов. Сопоставление полученных ранее на ряде гидроузлов экспериментальных кривых изменения температур во времени в различных точках асфальтовой шпонки, разогреваемой Э-нагревателем (см. рис. 3-24 и 3-25) с теоретическими результатами говорит об их качественном соответствии. Имеющиеся количественные расхождения могут быть объяснены в первую очередь различием расчетных и действительных теплофизических характеристик, а также возможными погрешностями измерений, что указывает на необходимость продолжения экспериментальных и теоретических исследований разогрева мастик с помощью предлагаемого сборно-разборного Э-нагревателя.

Необходимо сказать, что поставленная и решенная в [8] плоская задача теплопроводности о разогреве асфальтовых уплотнений деформационных швов позволяет достаточно точно и надежно назначать параметры электрической цепи различных электронагревателей в зависимости от размеров шпонки, начальной температуры массивного бетона и мастики, а также теплофизических свойств заполнителя. Так, например, натурными испытаниями установлено, что для разогрева заполнителя по предложенному нами способу оптимальный диаметр электронагревателя должен быть: для асфальтовых шпонок сечением 100×90 см в 75,2 мм и для асфальтовых шпонок сечением 40×60 см - в 50,2 мм.

Следует отметить, что постановка и решение плоской задачи теплопроводности типа Стефана применительно к особенностям процесса разогрева асфальтовых уплотнений деформационных швов впервые дается, по-видимому, в [8]. Работа должна продолжаться.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

4.1. ВИДЫ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В отечественной и зарубежной практике гидротехнического строительства для уплотнения деформационных швов гидротехнических сооружений находят применение разные материалы. К таким материалам относятся асфальтовые мастики, асфальтоармированные маты, ли-афрагмы: металлические (нержавеющие), резиновые и полимерные и их производные, цемент, порошкообразные заполнители. Выбор материалов производится в зависимости от климатических условий и расположения изолируемых поверхностей в сооружениях.

Битумы нефтяные

Технические характеристики	ГОСТ 11954-66		
	БНД-200/300	БНД-130/200	БНД-90/130
Глубина проникания иглы при 25 °С (100 г, 5 сек)	201-300	131-200	91-130
То же при 0 °С (200 г, 60 сек)	45	35	28
Температура размягчения в °С, не ниже °С	35	40	45
Растяжимость при 25 °С, не менее, см	Не нормируется	65	60
То же при 0 °С, не менее	-20	-18	-17
Глубина проникания иглы в остаток после прогрева в течение 5 ч, при 160 °С, в % от первоначальной величины, не менее	Не нормируется	60	70
Температура вспышки в °С, не выше	180	200	200
Содержание водорастворимых соединений, в %, не более	0,2	0,2	0,3

Основным материалом для рулонных и заливочных гидроизоляционных работ является нефтяной битум, удовлетворяющий техническим требованиям ГОСТ 11954-66 "Битумы нефтяные дорожные вязкие улучшенные" (табл. 4-1). Кроме того, могут иногда применяться "Битумы нефтяные дорожные" по ГОСТ 1544-52, "Битумы нефтяные для изоляции нефтегазопроводов" по ГОСТ 9812-61 и некоторые другие. Испытания битумов производятся в соответствии с указаниями ГОСТ 2400-51.

Нефтяные битумы являются продуктами переработки нефти и ее производных твердой и полутвердой консистенции после паровой или вакуумной возгонки.

При отсутствии на строительстве битума марки БН-Ш возможно применение смеси битумов других марок (например, марки БН-П и БН-1У). Соотношение частей битумов разных марок в смеси устанавливается строительной лабораторией, исходя из температуры размягчения смеси, которая должна соответствовать марке БН-Ш. Упаковка

Таблица 4-1

дорожные вязкие

ГОСТ 1544-52							
марки							
БНД-60/90	БНД-40/60	БН-О	БН-І	БН-ІІ	БН-ІІ-У	БН-ІІІ	БН-ІІІ-У
61-90	40-60	Не менее 200	121-200	80-120	41-80	41-80	41-80
20	13	Не нормируется			10	Не нормируется	5,0
48	52	Не нормируется	25	40	45	45	50
50	40	То же	100	60	60	40	40
-15	-10	" "	Не нормируется		3,0	Не нормируется	2,0
80	80	" "	60	60	60	60	60
200	200	180	200	200	200	200	200
0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2

маркировка, хранение и транспортировка нефтепродуктов выполняются согласно указаниям ГОСТ 1510-60. Более подробные сведения по асфальтовым материалам можно найти в специальной технической литературе [10, 27].

В качестве растворителя битума обычно применяются бензин 1 и П сортов, крекинг-бензин и лигроин (в исключительных случаях, так как последние на подсыхание требуют большего времени). Применяемые растворители должны удовлетворять требованиям, указанным в табл. 4-2.

Таблица 4-2

Растворители

Наименование	Удельный вес не выше,	Начало кипения (не выше), °С	Конец кипения (не выше), °С	Отгоняется, %	
				до 100° (не менее)	до 160° (не менее)
Бензин I сорт	0,75	80	200	25	90
Бензин II сорт	0,755	80	200	20	80
Крекинг-бензин	0,79	110	220	-	90
Лигроин	0,79	110	220	-	90

Материалы для приготовления асфальтовых мастик, заполняющих полости асфальтовых шпонок, рулонных оклеечных изделий и др. должны иметь: а) соответствующую вязкость при среднегодовой температуре +2, +10° С района расположения гидроузла, чтобы мастика успела следовать за деформациями шва (при схождениях и расхождениях шва); б) достаточную теплоустойчивость и тягучесть при различных температурах, не должна растрескиваться при температуре 0-2° С на гребне сооружения. Асфальтовый материал должен обладать объемным весом, большим веса воды, чтобы давление, оказываемое им на стенки полости шпонки, превосходило внешнее давление воды. Состав асфальтовых матрик подбирается лабораторным способом.

В отечественных гидротехнических сооружениях для заполнения полости шпонок применяются асфальтовые мастики, приготовленные на битуме марки БН-Ш и БН-П (ГОСТ 1544-52) и минеральных заполнителях (ТУ-6-58 и 7-58). Составы асфальтовых мастик [24] для заполнения полости шпонок даны в § 3-6. Он определяется с учетом ее реологических свойств на основании расчетов [11]. Расчет полости асфальтовых шпонок с указанными составами заполнителей не приводится, так как он изложен в [35], а расчет полости асфальтовых шпонок с добавлением в мастику полимерных материалов в [27].

В качестве минеральных заполнителей мастики могут применяться порошкообразные: доломитовая, известняковая мука, молотый песок (пыль) и цемент. Известь строительная должна соответствовать ГОСТ 9179-70. В практике строительства минеральные заполнители подбираются по условиям содержания в них тонкозернистого заполнителя до полного насыщения, чтобы исключить возможность расслоения мастики. Следует обратить внимание на то, чтобы исключить возможность дезинтеграции. Необходимо, чтобы заполнители имели бы не меньше 60% зерен диаметром менее 0,074 мм [7]. Не допускать применение крупнозернистых частиц в виде мелкозернистого песка. Все заполнители должны быть в виде мелкомолотого порошка, прошедшего через шаровые мельницы. При хранении материал должен быть защищен от сырости, атмосферных осадков и ветра.

Доломитовая, известняковая и песчаная пыль (мука) могут быть получены на шаровых мельницах после обработки этих материалов на камнедробильных заводах.

Цемент, как порошкообразный заполнитель асфальтовой мастики, является достаточно хорошим материалом. Разрешается применять только цемент, утративший свою активность.

Для придания большей механической прочности битумным матам применяется грубая пеньковая ткань или джутовая ткань — мешковина. Образцы мешковины шириной 5 и длиной 15 см, вырезанные в любом месте, по основе или утку, должны удовлетворять следующим условиям: сопротивление разрыву при скорости испытания 2-2,5 см/мин не менее 30 кгс/см²; относительное удлинение не менее 10%. Ткань должна быть чистой. Ткань, предварительно высушенная, равномерно пропитывается нефтебитумом марки БН-Ш /10/ и отжимается от избытка битума и раствора. После пропитки все нити должны быть ясно видны, а удлинение при разрыве не должно снижаться более, чем на 50% первоначальной величины. Водопоглощение пропитанной ткани под вакуумом не должно превышать 10% по весу.

Технический войлок изготавливается из низших сортов шерсти животных в виде сложенных полотнищ толщиной 2,5-6,0 мм. Объемная плотность войлока при 12% влажности 320 кг/м³. Предел прочности на разрыв по длине 12 кгс/см², то же по ширине 30 кгс/см². Удлинение при разрыве: по длине 150%, по ширине 110%. Содержание свободной серной кислоты не более 0,65%. Содержание минеральных примесей не более 0,2%. Перед укладкой в дело войлок пропитывается раствором битума в бензине (50% бензина и 50% битума БН-Ш по весу). В последнее время широко применяется войлок из минеральной ваты на битумной связке (ГОСТ 6418-67).

Пакля из пеньковых или джутовых волокон не должна иметь посторонних примесей и загрязнений. Перед укладкой в дело пакля пропи-

тывается раствором 50% бензина и 50% битума БН-Ш или каменно-угольной смолой.

Картон асбестовый (ГОСТ 378-70) - объемной плотностью 1,0-1,3 т/м³. Асбестовый картон изготавливается толщиной от 2 до 10 мм; допускается отклонение $\pm 0,3$ мм. Ширина ленты 900-1000 мм с допускаемым отклонением ± 10 мм. Картон асбестовый, вата минеральная (ГОСТ 4640-66), вата стеклянная из непрерывного волокна (ГОСТ 5174-49), вата из супертонкого стекловолкна применяются в качестве огнезащитного, термозоляционного или электроизоляционного материала.

Гидроизол (ГОСТ 7415-55) - гидроизоляционный рулонный материал, изготовленный путем пропитки асбестовой бумаги окислениями нефтебитумов. Предназначается для устройства гидроизоляционного слоя в подземных, кровельных и других частях сооружения.

Асфальтово-армированные маты применяются для образования полости шва, создания водонепроницаемости и свободной деформации ограждающих элементов уплотнения деформационных швов. Они приготавливаются на основе мешковины, которая с двух сторон покрывается асфальтовыми мастиками (см. § 5-1).

Металлические листы (нержавеющие стали), предназначенные для работы в уплотняющих устройствах, должны иметь высокую стойкость против коррозии, а также прочность, выдерживая многократные знакопеременные нагрузки. Такими свойствами обладают марки стали и сплавы 1X18N9T, 2X18N9, X18N10T, X18N12T с техническим требованием на поставку ГОСТ 5582-61 и химический анализ ГОСТ 5632-61.

Материалы для диафрагм из листов меди (медь чистая, красная марок М2 или М3) и из сплавов меди (латунь Л68 холоднокатаная, мягкая) должны соответствовать техническим требованиям на поставку согласно ГОСТ 1173-49 и 931-51, а на химический анализ - по ГОСТ 859-66 и 17711-72.

Латунь (сплав меди с цинком) обладает пластичностью, вязкостью, хорошо поддается пайке, штамповке. При добавке примесей других металлов изменяются свойства. Например, добавка олова придает ей антикоррозийные свойства. Латунь Л90 (наиболее распространенная марка) применяется для уплотнения деформационных швов, обладает высокими механическими свойствами и стойкостью против коррозии.

Резиновые и некоторые полимерные материалы обладают всеми необходимыми свойствами для создания уплотнения деформационного шва; они водонепроницаемы, достаточно эластичны и прочны, чтобы не разрушаться при обычных деформациях шва. Хорошо сопротивляются знакопеременным нагрузкам. Уплотнения должны быть отформованы таким способом, чтобы готовые изделия имели переменное сечение,

были плотными, однородными и не содержали пор, срашиваний, стыков и других дефектов [33, 427].

Рецептура резины и других полимерных материалов подбирается по техническим условиям ведущих проектных организаций, а изготовление по ним производится заводом резино-технических изделий. Исходным материалом для приготовления резиновых диафрагм по рецептуре зарубежных фирм является свежий натуральный каучук, содержание которого колеблется в пределах от 70 до 80%, остальные 20-30% составляют примеси: газовая смола, окись цинка, катализаторы, пластификаторы и специальные добавки, предотвращающие старение резины.

Количественный состав указанных примесей и добавок в литературе не приводится, так как их дозировка и технология приготовления являются секретом фирм, изготавливающих резиновые диафрагмы. Иногда ленты изготавливают с использованием высококачественного синтетического каучука. Фирма Экспендайт (Англия) использует для изготовления резинового уплотнения материал, содержащий 70% синтетического каучука.

Первыми синтетическими пластиками, нашедшими промышленное применение в 1902 г. были фенопласты – первый синтетический полимерлаккан. В 1907-1914 гг. было осуществлено промышленное производство синтетических полимеров на основе феноло-альдегидной конденсации, а в 20-30-х годах – промышленное применение мочевиноформальдегидных, полиэфирных и других полимеров. Начиная с 30-х годов, большое значение приобрели полимеризационные пластики. 40-е годы характеризуются быстрым развитием технологии полимеризационных пластиков.

Большой интерес представляет такое свойство пластмасс, как их низкая истираемость.

Резиновые и пластмассовые материалы, используемые для уплотнения деформационных швов, должны отвечать следующим физико-механическим свойствам: 1) предел прочности резиновых изделий при разрыве не менее 200 кгс/см²; 2) относительное удлинение при разрыве не менее 500%; 3) модуль упругости 40-60 кгс/см²; 4) остаточное удлинение при разрыве не более 50%; 5) твердость по твердомеру ТМ-2 – 40-60; 6) плотность $1,15 \pm 0,03$; 7) водопоглощение за сутки при температуре 50° С не более 2%; 8) коэффициент старения за 144 ч при температуре 70° С не менее 0,7; 9) морозостойкость по изгибу до минус 45° С; 10) клеевое соединение резины с бетоном для прижимных уплотнений должно быть прочным (10-12 кгс/см² в 30-дневном возрасте) и водонепроницаемым. Образцы должны пройти испытания на различные виды старения, на замораживание, оттаивание, облужение и на водостойкость.

Эпоксидные полимеры (полиэпоксиды) отечественная промышленность выпускает следующих марок: ЭД-5, ЭД-6 (жидкие), ЭД-15 и ЭД-20 (твердые) с молекулярным весом от 400 до 2000. Кроме того, производятся полимеры для изготовления лакокрасочных покрытий и универсальных синтетических клеев.

Холодные асфальтовые гидроизоляционные материалы используются для создания полости между деформационными швами толщиной до 2 см при нанесении их несколькими слоями. Наиболее часто применяемый состав пасты: битум БН-Ш - 50%, эмульгатор - 12%, вода - 38%.

4.2. НОВЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В связи с развитием химии полимеров в последние годы в различных областях промышленности и в гидротехническом строительстве все большее применение находят новые синтетические материалы. К таким материалам прежде всего следует отнести синтетические каучуки, модифицированные эпоксидные смолы, эластичные пенопласты и др. [7, 14, 27, 33]. Развитие крупнопанельного домостроения привело к разработке целого ряда новых герметизирующих материалов представляющих в настоящее время совершенно обособленную и специфическую группу, называемую строительными герметиками. В отечественной и зарубежной практике промышленного и гражданского строительства для уплотнения стыков панелей, в покрытиях автодорог и взлетных полос аэродромов находят применение такие материалы, как синтетические каучуки, модифицированные эпоксидные смолы, эластичные пенопласты и др.

Современные строительные герметики подразделяются на следующие группы: 1) вязко-пластичные уплотнители, сохраняющие пластичную консистенцию длительной, а иногда и практически неограниченный период времени и обладающие в некоторой степени упруго-эластичными свойствами; 2) самовулканизирующиеся эластичные герметики, применяемые в пластичном или жидком виде и затем отверждаемые (вулканизирующиеся) на месте, превращаясь в резиноподобный продукт; 3) резиновые и поливинилхлоридные ленты, жгуты, прокладки и профильные изделия.

Вязко-пластичные уплотнители изготавливаются на основе синтетических каучуков (бутилкаучука, полихлоропрена, полибутадиена, полиизобутилена и др.). Применяются полимеры с низким молекулярным весом. Увеличение содержания полимеров в составе материала уплотнителя позволяет более длительное время сохранять его пластичное состояние, необходимое для надежного уплотнения шва. Уплотнители этой группы поставляются в виде относительно жидкой

массы, наносимой при помощи шприца, пастообразной массы, вводимой в стык ножом или лопаткой, и несколько более жестких, но эластичных липких лент.

Пластичные невясыхающие мастики на основе бутылкаучука и полиизобутилена выпускаются рядом зарубежных фирм: Сэкомэстик (США), Эвомэстик ЛТД (Франция), «ISRCO» (Англия) и др. Их применение охватывает самые различные области промышленности и строительства. Они поставляются в виде пасты, шнуров и полос. В СССР также выпускаются гидроизоляционные и герметизирующие материалы на основе полиизобутилена.

К пластоэластичным уплотнителям следует отнести битумнорезиновые мастики. В настоящее время мастика "изол", применяемая в горячем виде для заливки деформационных швов, несмотря на улучшенные по сравнению с асфальтовыми мастиками свойствами, обладает недостаточной деформативностью. Поэтому необходимы глубокие исследования в направлении улучшения свойств существующих и создания новых герметиков, удовлетворяющих требованиям гидротехнического строительства.

Таблица 4-3

Мастика "изол"

Свойства	Величина		
	Г-Г	Г-В	Г-П
Предел прочности при разрыве, кгс/см ²	2,8-3,2	3,5-4,0	2,7-3,2
Относительное удлинение при разрыве, %	200-210	210-220	190-200
Осадочное удлинение, %	110-120	90-100	110-120
Адгезия к бетону, кгс/см ²	5-7	5-7	5-7
Температура размягчения, °С	100	130	100
Теплостойкость, °С	70	100	70
Морозостойкость, °С	-12	-12	-10

Имеется несколько видов мастики: для уплотнения горизонтальных (Г-Г) и вертикальных (Г-В) швов, для приклеивания рулонных гидроизоляционных материалов (Г-П) и для других целей. В определенном интервале они отличаются друг от друга тепло- и морозоустойчивостью, прочностью и деформативностью. Основные свойства мастики "изол" приведены в табл. 4-3.

Рулонные гидроизоляционные материалы, относящиеся к пластоэластичным, обладают ценными свойствами: водонепроницаемостью,

эластичностью, прочностью, морозостойкостью и долговечностью. За рубежом широко применяется "оппанол" — листовой материал на основе полиизобутилена, наклеиваемой битумной мастикой.

Рулонный изол изготавливается из битумно-резиновой мастики и различных наполнителей (тальк, отходы асбеста и т. п.) и обладает следующими физико-механическими свойствами: предел прочности при разрыве 14 кгс/см^2 , относительное удлинение при разрыве 200%, морозостойкость до -15°C , водопоглощение за 24 ч до 1%. Изол выпускается в рулонах длиной 50 м, шириной 80 см, толщиной 2 мм. Стоимость 1 м^2 изола 13 коп. Осваивается производство стеклоизола, рулонного изола, армированного стеклотканью. Резко сократилось применение битумных гидроизоляционных материалов.

Таблица 4-4

Рулонный материал ГМП

Свойства	Величина в зависимости от марки [*]			
	ГМП-4	ГМП-6	ГМП-8	ГМП-10
Сопоставление разрыву полоски $220 \times 50 \times 2 \text{ мм}$ при $18 \pm 2^\circ \text{C}$, кгс/см^2	9,0	7,0	6,0	5,0
Относительное удлинение при $18 \pm 2^\circ \text{C}$, % (не менее)	18	25	30	40
Температура, при которой материал выдерживает изгибание на стержне $\phi 30 \text{ мм}$ при толщине материала 2 мм, $^\circ \text{C}$	-5	-15	-20	-25
Теплостойкость	Не деформируется в течение 5 ч при температуре не ниже 90°C			
Водопоглощение через 7 суток при 25°C , % (не менее)	1	1	1	1
Водонепроницаемость	Не пропускает влагу в течение 3 суток при давлении 6 атм			

^{*} Цифры в марке указывают процентное содержание полиизобутилена.

Долговечен рулонный материал ГМП (табл. 4-4), который получается путем смешения битума марки 1У или У, полиизобутилена, фенолформальдегидной смолы № 17 с волокнистыми и дисперсными наполнителями и прокатки смеси в полотнища определенных размеров [7].

При всех достоинствах материалов на основе полиизобутилена им свойственна заметная хладотекучесть. Этот недостаток в значитель-

ной мере устранен в листовом материале ПОВ (ПОВ-15 и ПОВ-30), представляющем собой смесь полиизобутилена с полиэтиленом (цифры в марке указывают на процентное содержание полиэтилена в композиции). Кроме того, ПОВ при той же эластичности обладает повышенными прочностными свойствами.

Самовулканизирующиеся герметики – группа уплотнителей, включающая в себя, главным образом, материалы на основе жидких каучуков. В настоящее время известно несколько десятков жидких синтетических каучуков, способных после вулканизации превращаться в резину со всеми ее характерными свойствами. Однако в герметизирующих составах промышленного значения пока используют жидкие каучуки лишь 4–5 наименований. Важнейшими представителями жидких каучуков, производящимися в СССР и за рубежом, являются полисульфидные каучуки (тиколы), хлоропреновые (наириты или неопрены – по зарубежной терминологии), кремнийорганические (полисилоксаны), уретановые (полиуретаны) и карбоксилсодержащие дивиниловые (карбоксилатные).

Наиболее широкое практическое применение нашли герметики на основе жидких тиолов. Они обычно выпускаются двухкомпонентными. В состав основного пастообразного или жидкого компонента входит тиокол, различные модификаторы, наполнители и разбавители. Вторым компонентом является отверждающий агент, содержащий вулканизирующие вещества. Тиоловые герметики обладают хорошим сцеплением с большинством строительных материалов – бетоном, деревом, металлами, стеклом и др. Из тиоловых герметиков, выпускаемых в СССР, в строительстве получили распространение двухкомпонентные мастики У-30М и ГС-1 [7]. Их физико-механические свойства приведены в табл. 4–5.

Таблица 4–5
Двухкомпонентные мастики

Свойства	У-30М	ГС-1
Предел прочности при разрыве, кгс/см ²	20–25	10–14
Относительное удлинение, %	140–200	180–220
Остаточное удлинение, %	2–10	4–10
Твердость по Шору	42	56
Температура хрупкости, °С	–42	–35
Адгезия к бетону на отрыв, кгс/см ²	12–14	10–12
Адгезия к стали по хлорнаиритовому грунту на отрыв, кгс/см ²	25–30	–

Составы на основе наирита, благодаря его высокой химической стойкости, получили широкое распространение в антикоррозионной технике, но в связи с высоким содержанием летучих растворителей, вызывающих усадку материала в толстых слоях, а также трудностью и длительностью вулканизации без нагрева, в герметизации они используются значительно реже.

Жидкие силоксановые каучуки, как и другие кремнийорганические полимеры, характеризуются высокой теплостойкостью и долговечностью, вулканизируются без нагревания, дают при этом малую усадку и при использовании соответствующих грунтов имеют хорошую адгезию ко многим материалам. Однако пока они значительно дороже других каучуков и получили широкое распространение лишь в таких областях, как электро- и радиотехника и медицина [27].

Полиуретаны отличаются исключительной инертностью к действию активных органических растворителей, обладают высокой износостойкостью, однако, в некоторой степени подвержены гидролизу. В последнее время разработаны вспенивающиеся и мастичные составы для герметизации стыков путем напыления или заливки непосредственно в стык свежеприготовленной композиции. Отверждение (вулканизация) происходит в течение короткого времени.

Широко применяемые компаунды и другие изолирующие составы на основе эпоксидных и других термореактивных смол не обладают эластическими свойствами. Однако путем модификации их жидкими эластомерами удается получить достаточно эластичные материалы с высокими прочностными показателями, отличной адгезией к большинству строительных материалов и высокой, почти универсальной стойкостью к природным и агрессивным воздействиям. Например, во Франции фирмой "Синмаст" разработан целый ряд материалов на основе эпоксидных смол, модифицированных бутадиенстирольными каучуками — от жестких и высокопрочных до эластичных, резиноподобных продуктов. Они предназначены для самых различных целей, в том числе некоторые из них (более эластичные) рекомендуются для герметизации деформационных швов строительных конструкций.

Штучные уплотнители заводского изготовления. Эта группа герметиков отличается большим разнообразием исходных материалов и конструктивных форм. Широкое применение в различных областях промышленности и строительства нашли пористые и плотные эластичные уплотнители различных профилей из резины, а также уплотнители и ленты-компенсаторы из мягкого поливинилхлорида и его сополимеров с синтетическими каучуками.

Фирмой Гейтс Рабер К⁰ создана специальная резиновая смесь под названием "поливинилхлорид" (ПВХ или PVC-SP), очень долго сохраняющая свои первоначальные свойства. В США, Японии и других

странах накопленный опыт применения PVC-SP в подземных и других сооружениях говорит о возможности использования его для гидроизоляции и уплотнения деформационных швов.

В 1960 г. в США было одобрено применение PVC-SP при определенных условиях вместо каучука. Тем не менее, опытами корпуса военных инженеров США и фирмами "Экспандайт" (Англия) было установлено, что уплотнители из PVC-SP несколько более жесткие и менее упругие, но обеспечивают такое же надежное уплотнение, как каучуковые. Поэтому имеется тенденция изготавливать уплотнители ребристыми (см. рис. 3-1, ж, з), обеспечивая большое количество точек соприкосновения с бетоном. Однако это приводило к образованию воздушных карманов и раковин в бетоне. В тех случаях, когда применяются гидроизоляции плоского профиля, больше вероятности обеспечить эффективное уплотнение бетона и его проработку. На основании этих испытаний рекомендуется в тяжелых условиях, при наличии значительных деформаций, особенно осадочных, применять каучуковые компенсаторы, как показано на рис. 3-1, ж. Значительно большее распространение чем PVC-SP получили уплотнители-компенсаторы из сополимера PVC-SP с бутадиеннаитрильным каучуком, имеющие достаточную эластичность и упругость и значительно более прочные, чем резиновые.

ПВХ нашел применение и для изготовления стеклопластика - рулонного армированного стеклотканью материала, обладающего высокой эластичностью, прочностью, водонепроницаемостью. Он может быть с успехом использован вместо металлических компенсаторов. Изделия на основе ПВХ соединяются между собой путем сварки горячим воздухом (при температуре около 200° С) и при небольшом давлении на шов. Технические условия на поливинилхлорид, применяемый в гидротехническом строительстве, приведены в табл. 4-6.

Стеклопластик представляет собой стеклянную ткань, опрессованную с одной или двух сторон пленкой поливинилхлоридного пластика, придающей водонепроницаемость стеклянной ткани, несущей основную нагрузку. В отношении химического воздействия воды пластик более стоек, чем любые цветные металлы [7].

Диафрагмы из стеклопластика находят применение для небольшого напора (до 15-20 м) как уплотнение деформационных швов. Наибольшее распространение они получили в Англии, Канаде, ФРГ и других странах [45].

Проведенные в 1958 г. во ВНИИГ испытания опытной партии стеклопластика, изготовленной Охтинским химкомбинатом (г. Ленинград); показали, что в воздушной среде стеклопластик имеет прочность на разрыв 70 кгс/см² по основе и 40 кгс/см² по утку, относительное удлинение соответственно 9 и 6% и высокую эластичность

при многократном изгибе. Однако прочность на разрыв при длительно действующей нагрузке снижается более чем в два раза; в воде, щелочных и кислых растворах, а также в керосине механическая прочность стеклопластика существенно снижается, особенно в 1%-ном растворе NaCl. Стеклоткань неустойчива к действию этих сред, пластикат не обеспечивает надежной ее защиты.

Таблица 4-6

Поливинилхлориды

Свойства	Обычный тип при 25 °С	Морозо- стойкий
Предел прочности при растяжении, кгс/см ²	140	110
Относительное удлинение, %	285	400
Мягкость по Шору	42-52	85
Водопоглощение (в дистиллированной воде за 48 ч при $t = 50^{\circ}\text{C}$), %	0,6	0,8
Температура хрупкости, °С	-25	-60
Испытание на ускоренное растяжение, % от исходных характеристик (не менее):		
предел прочности	85	-
относительное удлинение	85	-
Прочность сварных стыков	Не менее 70% прочности материала	
Химическая стойкость в щелочной среде, при- вес в % (не менее):		
через 7 суток	0,25	
через 30 суток	0,40	

Большой интерес представляют профильные ленты из стеклопластиков (листовых или рулонных полимерных материалов, армированных металлическими сетками). Их применение позволит существенно уменьшить расход полимеров, увеличить прочность, водонепроницаемость и долговечность уплотнений по сравнению с неармированными профилями при сохранении высокой деформативности.

Полиэтилен, по-видимому, удовлетворителен при определенных условиях за счет своей начальной жесткости (что является преимуществом при укладке бетона) и относительно низкого предела текучести. Для улучшения сцепления с бетоном, вместо изготовления лент с большим числом ребер, их поверхность можно бронировать путем втапливания подогретого до 250-300° С песка или металлических опилок. Вместе со сравнительно редко расположенными анкерными

ребрами это может обеспечить хорошую проработку бетонной смеси и надежную заделку ленты в бетоне.

За рубежом (в США, ФРГ, Канаде, Франции, Швейцарии, Чехословакии, Швеции, Японии, Италии и ряде других стран) выпускается (см. рис. 3-1) большое количество различных типов профильных лент из резины и термопластов (в основном ПВХ-пластиков).

На многих стройках в зарубежных странах успешно применяются пластмассовые уплотнительные ленты типа «Weu».

В Англии, а также во многих других странах широко применяются уплотнительные профильные ленты из резины и ПВХ-пластиката, выпускаемые фирмой "Экспандайт" [14] (рис. 3-1, г, д, е, ж, з, и, о). В Швейцарии фирмой "Каспэр Винклер К^о" выпускаются профили Binda широкого ассортимента (рис. 3-1, ж, з) из ПВХ-пластиката [7]. Тип резинового профиля, широко применяемого в Чехословакии для уплотнения швов массивных гидротехнических сооружений, представлен на рис. 3-1, в, д, ж, и, м).

Экспериментальным анализом проведенным отделом полимерных материалов НИС Гидропроекта, установлено, что большинство новых строительных герметиков, выпускаемых отечественной промышленностью, во многом не удовлетворяют предъявляемым требованиям и нуждаются в доработке и модификации. Так, обнаружилась низкая водостойкость не отвердевающей мастики УМС-50 и тиоколового герметика ГС-1, выражающаяся в высоком водопоглощении и значительном ухудшении физико-механических свойств при длительном контакте с водой. Пропитанные прокладки из эластичного пенополиуретана в этих условиях подвергаются гидролитическому разрушению. Мастика изол, несмотря на значительно улучшенные по сравнению с битумом свойства, обладает недостаточной деформативностью.

В НИС Гидропроекта разработана технология изготовления сеткопластика на основе проволочных сеток из латуни, нержавеющей и углеродистой стали. Сеткопластик получают путем впрессовки нагретой армоосновы между двумя листами полимера на холодных опрессовочных вальках. На основании исследования ряда полимерных материалов, для сеткопластика выбраны полиэтилен низкой плотности ПНП-2003 и композиция ПНП-2003 с 5% бутилкаучука. Ориентировочная стоимость уплотнений из сеткопластика составляет 5-7 руб/м. При замене латунных листов толщиной 2 мм и шириной 700 мм армированными полимерными уплотнителями той же ширины с двухрядным армированием латунной сеткой (с квадратной ячейкой 2 x 2 мм и диаметром проволоки 0,6 мм) между тремя листами ПНП-2003 толщиной по 0,8 мм экономия затрат по материалам составляет более 20 руб/м. Расход латуни при этом сокращается на 10 кг/м. В ряде случаев использование армированных полимерных уплотнителей, веро-

ятно, позволит отказаться от устройства асфальтовых шпонок, стоимость которых составляет от 100 до 250 руб/м.

Разработаны также безанкерные поверхностные уплотнения оклеечного типа на основе эпоксидно-каучуковых и эпоксидно-тиоколовых мастик холодного отверждения (см. рис. 5-16).

Оклеечный армоэластик может применяться для устройства контурных горизонтальных и вертикальных уплотнений деформационных швов (способы производства работ изложены в пятой главе).

Уплотнения из оклеечного армоэластика выгодно отличаются от закладных компенсаторов из металла, резины и пластмасс надежным сцеплением с бетоном, простотой устройства, возможностью выполнения независимо от производства бетонных работ, простотой контроля качества выполнения работ и ремонта. Результаты лабораторных испытаний и наблюдения (с 1965 г.) за состоянием уплотнений из оклеечного стеклопластика (на основе стеклоткани), выполненных на канале Северный Донец - Донбасс, Суклейской оросительной системе, Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС (на кровле машинного зала), Каунасской ГЭС и Байпазинском гидроузле, позволяют оценить срок службы этих уплотнений в 25-30 лет при переменном горизонте воды без защиты от солнца, льда, резкой смены температур и других агрессивных факторов.

При использовании в качестве армоосновы сеток из латуни, нержавеющей стали или капроновых волокон и конструктивной защите поверхностного уплотнения от указанных агрессивных факторов срок службы таких уплотнений будет значительно больше. Расчеты показывают, что усиленные оклеечные уплотнения с армированием металлическими сетками в 3-4 слоя могут быть использованы на контурных горизонтальных и вертикальных напорных гранях плотины высотой 100 м и более. Стоимость таких уплотнений составит 10-15 руб/м шва [77].

В деформационно-осадочных швах с большой величиной относительных вертикальных, горизонтальных и других перемещений элементов конструкции упругие прокладки следует проклеивать нетвердеющими пластичными мастиками и клеями (типа полиизобутиленовых), обладающих определенной текучестью под нагрузкой. Однако в этом случае необходимо принимать меры против выдавливания прокладок из шва гидростатическим давлением.

Важной особенностью упругих прокладок из пенокаучука и других материалов является возможность применения промышленных конструкций уплотнений, сводящих к минимуму сложные и трудоемкие работы с герметизирующими материалами на стройплощадке, и позволяющих получить более надежные и дешевые решения. Возведение монолитных и сборно-монолитных гидросооружений в этом случае

можно осуществлять с применением сборных конструкций уплотнений деформационных швов.

Основными направлениями, в которых полимерные материалы могут дать значительный технико-экономический эффект, являются:

1. Использование армированных и неармированных профильных лент из мягкого поливинилхлорида, резины и других полимеров, взамен контурных металлических диафрагм и компенсаторов (из листовой латуни, нержавеющей стали и т. п.).

2. Применение промышленных и экономических конструкций уплотнений заводского изготовления на основе комплексного использования различных полимеров (термопластов, реактопластов, каучуков) и традиционных материалов.

3. Применение наружных оклеечных уплотнителей. Для выбора материала определяющие конструктивные параметры уплотнений, допустимого напряжения и деформации, а также для оценки долговечности необходимо провести длительные стендовые испытания в натуральных условиях.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ И ИХ УПЛОТНЕНИЙ

5-1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Большая часть гидроизоляционных материалов, применяемых при устройстве уплотнений деформационных швов, изготавливается или подготавливается к применению непосредственно на строительной площадке, а также на специальных базах и заводах гидроизоляционных материалов.

При небольших объемах гидроизоляционных работ битумохранилища обычно устраиваются простейшей конструкции – ямного или котлованного типа. Такие хранилища неудобны в эксплуатации и позволяют механизировать выдачу битума только при помощи плавучего нагревательного элемента, обычно электрического. Хранение битума в ямах без облицовки и навеса приводит к значительному загрязнению и обводнению битума.

При больших потребностях в битуме споружают механизированные битумохранилища с кирпичными или железобетонными стенками и стационарными нагревательными устройствами, расположенными на

дне хранилища или под ним. В качестве нагревателей используют электронагреватели конструкции автора (см. рис. 3-23) или пластинчатые.

Первоначальный нагрев битума осуществляется в приемке битумохранилища, откуда он при помощи шестеренчатого насоса Д-171 производительностью 400-500 л/мин или насоса Д-379 производительностью 800-900 л/мин перекачивается в битумоплавильную установку для обезвоживания и нагрева до рабочей температуры. В настоящее время наиболее широко применяется битумоплавильный агрегат Д-335, состоящий из трех котлов полезной емкости по 7500 л, которые работают как на жидком, так и на твердом топливе. Производительность агрегата составляет 2,5 т/ч.

Транспортировка горячего битума от битумохранилища к битумоплавильным установкам и дальше к местам переработки битума (цехам базы или заводу гидроизоляции) осуществляется по циркуляционным битумопроводам с паро- или электронагревом. В обоих случаях битумопровод теплоизолируется минеральной ватой или др.

Битумные эмульсии для грунтовок и окрасочной гидроизоляцииготавливаются в специальных гомогенизаторах путем диспергирования (раздробления) битума в водном растворе эмульгатора. В качестве гомогенизатора могут использоваться коллоидные мельницы ВНИИГ, диспергатор Гипростроймаша и др. Следует отметить, что холодные битумные эмульсии, обладающие значительными преимуществами (они не требуют предварительной просушки поверхности, а главное - негорючи), пока еще не нашли широкого применения в гидростроительстве. Однако нужно решительно заменять ими огнеопасные бензобитумные и керосинобитумные растворы везде, где это можно, с целью создания безопасных условий труда.

Для приготовления битумных эмульсионных паст обычно применяются выпускаемые серийно растворомешалки, оборудованные редуктором для повышения скорости вращения вала от 20-30 до 80-160 об/мин, паро- или электронагревом и теплоизоляцией, а также специальными бачками для подогрева и дозировки битума. Кроме растворомешалок-пастосмесителей в состав установки входят битумные котлы, нагреватели для воды, битумные и растворонасосы и т. п. В настоящее время разработаны и успешно эксплуатируются установки различной производительности от 1,5-2 т пасты в смену (малая установка ВНИИГ) до серийно выпускаемой пастосмесительной установки ЦНИЛ-3 производительностью 5 т в смену.

Горячие асфальтовые мастики для заливки шпонок и штукатурной гидроизоляцииготавливаются смешиванием горячего битума с минеральным, резиновым или полимерным наполнителем и другими компонентами (асбест, пластификаторы и т. п.) в различных асфальто-

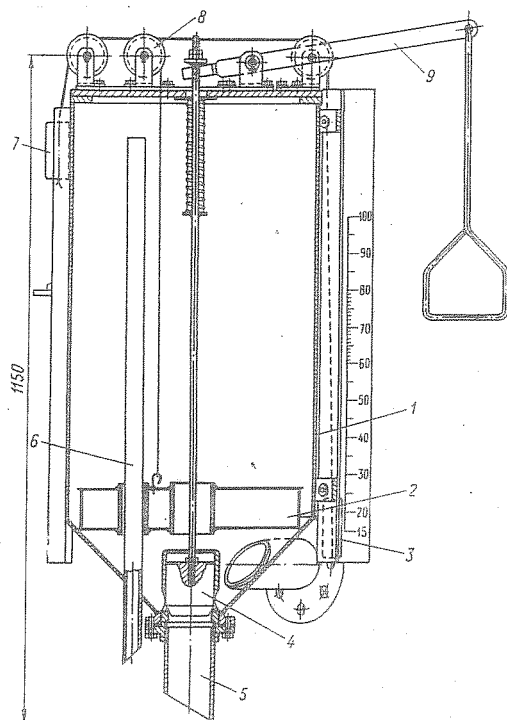


Рис. 5-1. Дозатор битума ДБ-100 (размеры в мм)

1 - корпус; 2 - поплавок; 3 - указатель уровня; 4 - пружинный клапан; 5 - сливная труба; 6 - контрольная труба; 7 - противовес; 8 - ролик; 9 - рычаг

смесителях. Технологический процесс приготовления мастики включает сушку и нагрев минерального наполнителя, дозировку компонентов мастики и их перемешивание. Для сушки минерального порошка используют иногда сушильные барабаны с внутренним огнем разогревом от асфальтобетонных смесителей Д-225, Д-325 и Д-288. Однако при этом значительная часть мелких частиц сгорает и теряется с отходящими газами. Во избежание этого нужно, чтобы барабан имел внешний разогрев: Гидроспецпроект разработана конструкция шнековой сушильной печи (ЭШС-2) производительностью $0,9 \text{ м}^3/\text{ч}$. В последнее время разрабатывается циклонные пневмо-сушилки и сушилки в кипящем слое. Дозировка горячего битума и

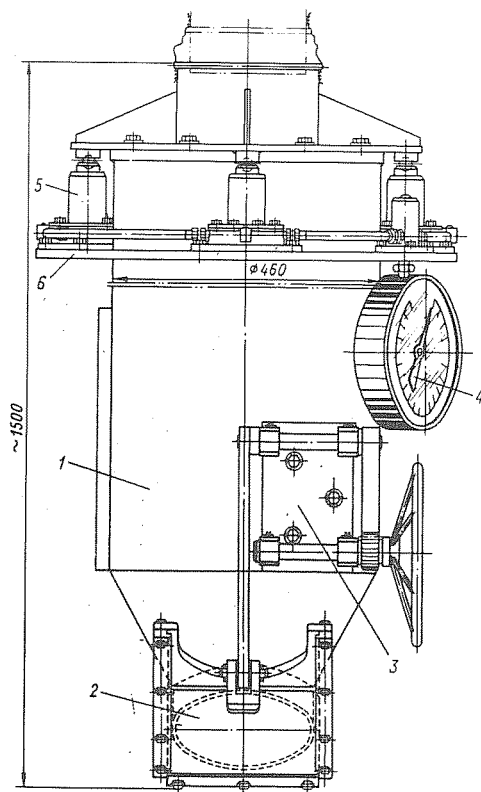


Рис. 5-2. Дозатор минеральных наполнителей ДМ-200 (размеры в мм)

1 - корпус; 2 - шиберная задвижка; 3 - привод шиберной задвижки; 4 - манометр; 5 - датчик давления; 6 - опорная плита

минерального наполнителя обычно производится объемным способом. На рис. 5-1 приведена конструкция дозатора битума ДБ-100 (Гидроспецпроект) емкостью 100 л. Объемное дозирование минерального порошка приводит к получению мастики переменного состава. Такая дозировка в сочетании с выгоранием минерального порошка при его сушке и нагревании привела на строительстве Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС к тому, что значительная часть замесов

мастики в смесителе старой конструкции выбрасывалась, так как контроль состава мастики осуществлялся там только по одному показателю – объемному весу. Необходимо при дозировке минерального порошка применять весовые дозаторы. На рис. 5-2 показан весовой дозатор минеральных наполнителей ДМ-200 конструкции Гидроспецпроекта (емкостью 200 кг).

На строительстве Кременчугской ГЭС для приготовления асфальтовой мастики автором был предложен и изготовлен механизированный



Рис. 5-3. Схема передвижного асфальто-битумного цеха

передвижной асфальтово-битумный цех непрерывного действия. Цех состоял (рис. 5-3) из приемных бункеров, расположенных наверху; дозаторных бачков под приемными бункерами и асфальтосмесительных котлов с механическими перемешивателями, расположенных под дозаторными бачками. Асфальтово-битумный цех устанавливался в НБ в радиусе действия основных монтажных кранов строительства. Битумная смесь доставлялась автобитумовозами в приемный бункер, где нагревалась до температуры $80-100^{\circ}\text{C}$; после очистки и обезвоживания битум через дозаторный бачок поступал в котел асфальтосмесителя. Наполнитель (известняковая пыль камнедробильного завода или цемент, потерявший активность) доставлялся авто-транспортом в приемный бункер-наполнитель, где нагревался (сушка)

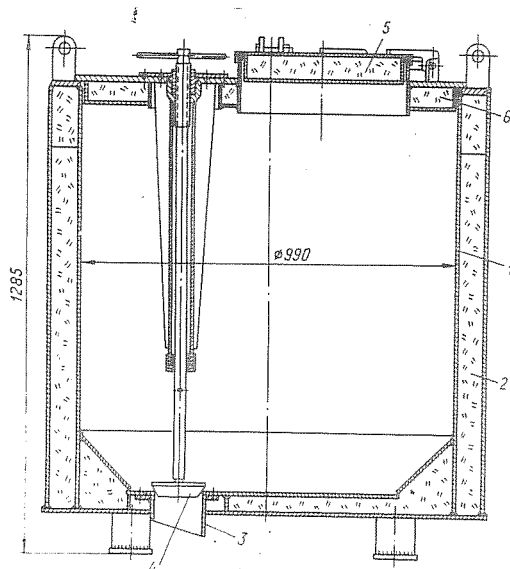


Рис. 5-4. Бадья-термос емкостью 600 л (размеры в мм)

1 - корпус; 2 - теплоизоляция; 3 - разгрузочная труба; 4 - клапан; 5 - крышка загрузочного люка; 6 - крышка бадьи-термоса

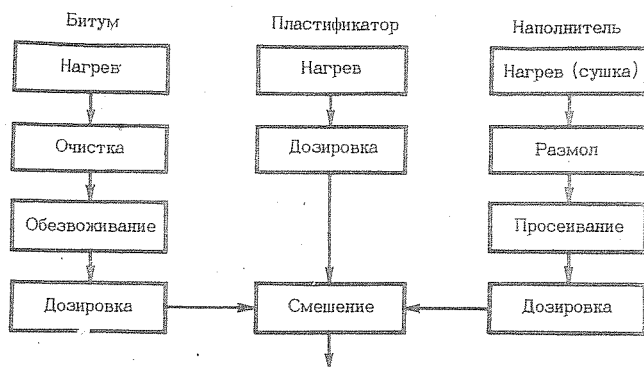


Рис. 5-5. Технологическая схема приготовления битумно-полимерного герметика

до температуры 100–110°C. Затем после очистки дозированный наполнитель поступал в котлы асфальтосмесителя. Готовая асфальто-битумная мастика нагружалась в бадьи и кранами доставлялась к месту укладки в шахту шпонки. При этом полный объем приготовления мастики в двух котлах емкостями по 1000–1250 л составлял 4,5–6,5 м³ за одну смену.

Приготовление резино-битумной мастики (состав см. § 3–7) производится в следующей последовательности: в обезвоженный и нагретый до 160–170°C битум вводится резиновая крошка и зеленое масло, и смесь варится в течение 30 минут при постоянном перемешивании, после чего в готовый сплав вводится предварительно высушенная и нагретая до 110°C доломитовая пыль, известняковый порошок или цемент. Мастика варится при непрерывном перемешивании компонентов 15–20 минут, после чего подается в специальных бадьях-термосах с теплоизоляцией (рис. 5–4) к месту укладки.

Битумно-полимерный герметик [27] готовят путем сплавления нефтяного или дорожного битума, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 11954–66 и 154–52 с пластификатором – отходом Воронежского комбината синтетического каучука и минеральным инертным порошкообразным наполнителем (рис. 5–5). Температура битума должна быть постоянной и равной 150–160°C. Пластификатор вводится при непрерывном перемешивании небольшими количествами, причем каждая последующая порция должна вводиться после полного перемешивания предыдущей.

В процессе совмещения пластификатора с битумом следует следить за тем, чтобы в осадок не выпадали шленки заполимеризованного пластификатора. Если это наблюдается, следует считать данную партию пластификатора непригодной к дальнейшему использованию.

В среднем срок сохранности пластификатора в прохладном месте и в закрытой непрозрачной таре примерно 6–8 месяцев. Срок годности резко снижается при систематических перегревах. Контроль качества необходим каждый месяц. Минеральный порошкообразный наполнитель должен отвечать всем требованиям, предъявляемым к нему при приготовлении обычных асфальтовых мастик. Смешение компонентов следует производить в обогреваемых емкостях с постоянным перемешиванием растворомешалкой с электронагревом типа С-50, разработанной во ВНИИГ (рис. 5–6).

Использование подобной мешалки обеспечивает получение материала лучшего качества за счет тщательного перемешивания смеси и отсутствия его перегрева (рабочая температура в барабане мешалки не превосходит 180°C).

Устройство уплотнений швов из битумно-полимерных герметиков допускается как в летнее, так и в зимнее время при отсутствии дождя или снега. Бетонные торцевые поверхности железобетонных элементов в швы между ними перед заливкой герметика должны быть предварительно очищены от пыли, грязи и строительного мусора или

наледи и снега. Очистка может производиться жесткими вениками, металлическими щетками с последующей обязательной продувкой сжатым воздухом.

Поверхности шва (торцы плит) грунтуются за один раз битумной эмульсией или разжиженным битумом (30% битума и 70% бензина). Загрунтованная поверхность перед заливкой должна сохнуть до потери липкости не менее 12 ч.

Заливка герметика производится вручную из бачков емкостью 10-15 л. В зимнее время используются утепленные бабды как для

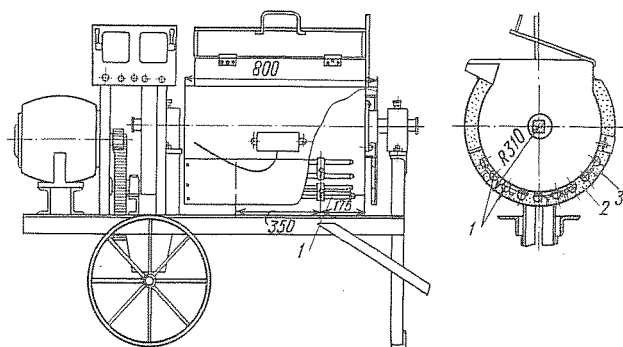


Рис. 5-6. Асфальтосмесительная установка ВНИИГ

1 - элементы электронагрева барабана мешалки; 2 - засыпная теплоизоляция; 3 - кожух наружной обшивки из листовой стали

транспорта и хранения заранее приготовленного герметика, так и для его заливки. Как правило, заливка деформационного шва должна производиться за один раз с избытком, но при устройстве широких швов и при значительных уклонах допускается заливка многослойная, которая предотвращает вытекание мастики шва.

Качество работ по герметизации деформационного шва должно контролироваться в процессе работ путем систематического отбора проб герметика и проверки его температуры размягчения, растяжимости и глубины проникания иглы по ГОСТ 2400-51 для битумов, а также визуального осмотра выполняемого уплотнения. При обнаружении несоответствия физико-механических характеристик проб работы следует прекратить до выявления причин брака. При отставании герметика от бетонных поверхностей плит или обнаружении воздушных пузырей дефектное место следует подрубить и залить заново.

Холодные асфальтовые мастики готовятся в различных мешалках без подогрева исходных материалов – битумной пасты и минерального наполнителя. Для этой цели могут использоваться смесительно-штукатурные агрегаты С-250 или С-372, а также специальная передвижная установка ЦНИЛ-3.

Одним из важных участков гидронизоляционных работ является изготовление битумных и асфальтовых матов, которые до сих пор практически не механизировано. За последние годы сделано несколько попыток механизировать отдельные операции этого процесса. Так, для пропитки мешковины горячим битумом сконструирована пропиточная

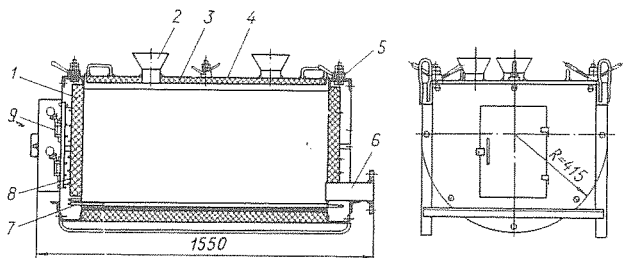


Рис. 5-7. Раздаточный котел емкостью 300 л (размеры в см)

- 1 – корпус; 2 – загрузочная воронка; 3 – теплоизоляция; 4 – крышка; 5 – зажим; 6 – сливная труба; 7 – электронагреватель; 8 – кожух; 9 – рубильник

ванна ВП-700 полезной емкостью 700 л, изготовленная по чертежам Гидроспецпроекта и успешно работавшая на строительстве Братской ГЭС имени 50-летия Октября. Ванна имеет механический привод и снабжена электронагревом. Максимальная производительность ее при однократной пропитке ткани составляет около 65 м²/ч.

Нанесение покровной асфальтовой мастики на пропитанную мешковину или стеклоткань обычно производится вручную на длинных деревянных или металлических столах. Под крышкой металлического стола устраивается полость, через которую пропускается вода для охлаждения матов. Разравнивание слоя покровной мастики производится вручную специальной рейкой – правилом. Для частичной механизации этой операции можно использовать передвижной бункер, который перемещается по направляющим вдоль стола и снабжен в нижней части ножом для разравнивания мастики. Пружинный клапан позволяет регулировать подачу мастики, а длина бункера, соответ-

ствующая ширине стола, обеспечивает равномерное покрытие поверхности асфальтового мата.

В настоящей работе мы не рассматриваем вопросы приготовления бензино-битумных и керосино-битумных растворов. Эти составы обладают токсическими свойствами, чрезвычайно огнеопасны и при работе с ними необходимо соблюдать меры предосторожности.

Транспорт холодных асфальтовых мастик, паст и эмульсий обычно производится в различных баках, металлических бочках и контейнерах, установленных на автомашинах. Штучные материалы – асфальтовые маты, металлические диафрагмы и т. п. транспортируются также в открытых автомашинах. При перевозке битумных и асфальтовых матов в жаркие летние дни нужно закрывать их от прямых лучей солнца во избежание подпаливания битума или покровной мастики и склеивания матов между собой.

Наиболее сложной является перевозка горячих асфальтовых смесей. Современным средством для перевозки является раздаточный котел (рис. 5–7) с теплоизоляцией и электронагревом, позволяющий не только транспортировать мастику в горячем состоянии, но и поддерживать ее при необходимой температуре в течение длительного времени на месте укладки или нанесения мастики.

Изготовление гладких или гофрированных (см. рис. 3–4) металлических диафрагм из листов нержавеющей стали, латуни или чистой красной меди (менее пригодны, хотя и находят применение, диафрагмы из стальных листов марки Ст.3 с противокоррозийным цинковым или алюминиевым покрытием) производится в мастерских строительства или на специализированных заводах. Такие диафрагмы, кроме гофрированных, обычно вырезают из листового материала при помощи механических ножниц (например, гильотинных) и изгибают по заранее изготовленным шаблонам. Литсы должны выполняться при минимальном значении радиуса закругления в пределах $R = (1 - 1,5) \delta$, где δ – толщина листа.

5.2. СПОСОБЫ ОБРАЗОВАНИЯ И УПЛОТНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

Как указывалось выше, уплотняющие устройства деформационных швов различны в зависимости от высоты сооружения, характера основания и климатических условий расположения сооружения. Правильно выбранная конструкция уплотнения обеспечивает свое назначение в том случае, если при его осуществлении все виды работ будут выполнены качественно. В свою очередь высокое качество выполнения работ зависит от простоты конструкции и тесно связано с качеством применяемых материалов.

Опытом эксплуатации установлено, что плохое качество выполненных работ по уплотняющим устройствам деформационных швов неизбежно приводит к трудно устранимым дефектам. Высокое качество работ достигается при выполнении всех видов работ опытными квалифицированными исполнителями и при тщательном контроле за качеством технической инспекцией авторским надзором.

В настоящем разделе рассматриваются наиболее надежные и простые по выполнению конструкции и наиболее дешевые в эксплуатации уплотнения деформационных швов бетонных и железобетонных сооружений гидроузла.

Подготовка полостей и монтаж конструкций уплотнения деформационных швов гидротехнических сооружений производится в следующей последовательности: в период подготовки блоков первой секции на опалубку устанавливаются шаблоны штрабы или элементы уплотнения пропускаются через опалубку блока и закрепляются при помощи брусьев, болтов или анкеров. После этого производится бетонирование блока. После снятия опалубки с блоков производится подготовка поверхности бетона, просушка сжатым воздухом (зимой воздух подогревается до температуры $100-150^{\circ}\text{C}$), выправление и монтаж конструкции уплотнения шва.

Деформационные швы

Образование полых вертикальных и горизонтальных деформационных швов в бетонных гидротехнических сооружениях до настоящего времени является весьма дорогостоящим и трудоемким процессом. Известны следующие основные способы образования полого деформационного вертикального шва:

а) После бетонирования первого блока и снятия опалубки вся площадь будущего шва очищается от наплывов бетона, неровностей и остатков монтажных штырей и оклеивается или оштукатуривается слоем податливого материала (клеечная гидроизоляция, холодная асфальтовая штукатурка и др.) толщиной, равной требуемой ширине шва, после чего к ней прибетонируется массив смежного блока [7]. В этом случае стоимость 1 м^2 шва составляет 11 руб. (§ 5-4). Недостатком этого способа является затрудненность образования шва нужной ширины и безвозвратная затрата ненужного при эксплуатации сооружения ценного материала.

б) Пустота шва получают с помощью стационарной, например, деревянной двусторонней опалубки, что дает возможность бетонировать смежные блоки без производства промежуточных операций [7]. Здесь стоимость 1 м^2 шва составляет 14,4 руб. (§ 5-4). Недостатком этого способа является трудность, а иногда и практическая невозможность извлечения каркаса опалубки, мешающего работе шва.

в) Поверхности смежных блоков, обращенные в шов, образуются плитами-оболочками, служащими опалубкой, которые при бетонировании устанавливаются с необходимым промежутком, соответствующим ширине шва [5]. Стоимость 1 м^2 равна 20,4 руб. Недостатком этого способа являются нецелесообразные затраты на облицовку шва дорогостоящих элементов, иногда необеспечивающих качество работ,

из-за чего имеет место фильтрация воды по контактам между монолитным бетоном и плитой-оболочкой.

г) В зарубежной практике для образования узких деформационных швов, начиная с 1957 г., применяли алюминиевую опалубку. Так, во Франции на плотине Мерайе (150 м) и контрфорсной плотине План Д'Амон (Plan D'Aumont) часть полости температурных швов выполнялась с помощью опалубки из листового гофрированного алюминия, оставляемой в бетоне. Эти листы впоследствии под воздействием щелочи цемента разрушаются, переходя в порошкообразное состояние

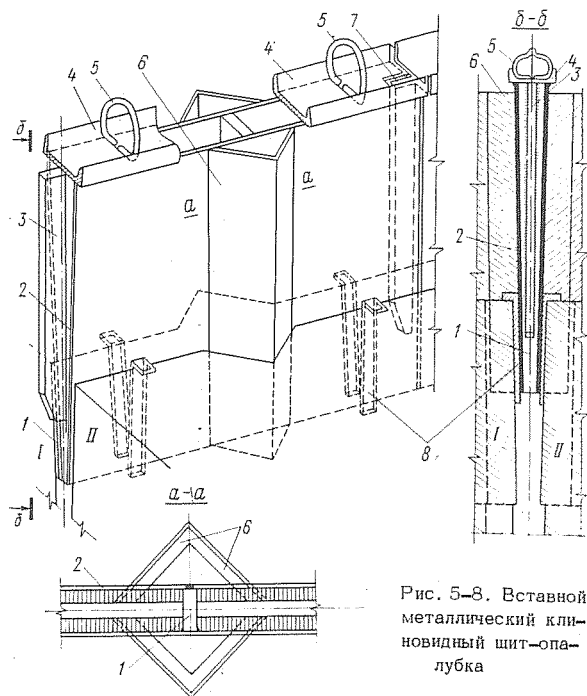


Рис. 5-8. Вставной металлический клиновидный щит-опалубка

[7], и тем самым образуется полость шва. Алюминиевая опалубка применяется в виде двояных листов, расположенных на расстоянии, равном заданной проектом ширине деформационного шва.

Этот способ требует значительных затрат и расхода дорогостоящего листового алюминия и в настоящее время едва ли может быть рекомендован к широкому применению.

д) В зарубежной практике (Италия) на плотинах Кваира делла Миньера и Альте Джера применялся способ образования деформационных швов путем резания массива бетона специальными устройствами. Известны случаи применения подобного способа для образования вертикальных деформационных швов шириной 4 см [7].

е) ГДР известен способ образования полости шва посредством съемной опалубки. Он заключается в следующем: когда блок первой очереди бетонирования наберет достаточную прочность, устанавливается металлический лист, который служит опалубкой для блока, бетонируемого во вторую очередь. От первого блока металлический лист отделяется круглыми металлическими прутьями с крюком на конце. Чтобы свежесложенный бетон не схватывался с металлическим листом, последний окрашивали битумом. После того как блок второй очереди бетонирования приобретет достаточную прочность, металлические прутья выдергивают и уже без труда удаляют металлический лист. Такой способ применим для образования узких (температурных) швов, он не позволяет вести одновременно бетонирование соседних секций.

С целью улучшения качества швов, снижения их стоимости и повышения производительности труда, нами предложен новый способ образования полых вертикальных деформационных швов, строительных швов и тому подобных полостей. Этот способ заключается в том, что шов образуют вставным шаблоном клиновидной формы (рис. 5-8), в отличие от известной стационарной опалубки, при которой ширина образуемой полости ограничивается необходимостью размещения в ней производителей работ для снятия, перестановки и закрепления опалубки и, таким образом, исключается образование узких щелевых пустот.

В сооружениях с образованием деформационных швов с применением предложенной опалубки не будет указанных выше недостатков, а также безвозвратных потерь ценных материалов при значительном снижении трудоемкости. Простота конструкции делает ее экономически эффективной за счет низкой стоимости самой опалубки. При этом в предложенном способе производства работ стоимость 1 м² шва составляет 2,8 руб. против стоимости, соответственно, при существующих способах 14,4-21,0 руб. Кроме того, этот способ позволяет одновременно вести бетонирование блоков с двух сторон межсекционного шва.

Экспериментальное исследование вставного шаблона-опалубки клиновидной конструкции

Вставной шаблон-опалубка клиновидной конструкции (рис. 5-8) состоит из металлических трапециевидных ребер жесткости 1 (с уклоном 6 мм на 1 м высоты с каждой стороны), бортовых металлических листов 2, оголовка из швеллера 4. Трапециевидные ребра жесткости с двух сторон обшиваются металлическими листами 2, причем ширина шаблона в середине высоты равна проектной ширине шва. Для образования полости шит устанавливают вертикально по оси шва и бетонируют к нему с обеих сторон смежные блоки I, II. После

отверждения бетона шаблон поднимают за монтажные петли 5 с помощью грузоподъемных средств в новое высотное положение так, чтобы его нижняя часть, например около $1/3$ высоты, оставалось зашпательной между ранее забетонированными блоками. Для этого между бетонированными гранями бетона и поверхностями щита-опалубки закладывают полосовые элементы 8 по два с каждой стороны щита, поддерживающие и самозакрепляющие шаблон-опалубку в вертикальном положении. Далее этот цикл повторяется до достижения проектных отметок сооружения.

Для стыкования по длине деформационного шва каждая секция шаблона имеет выступающий фиксатор 3 с одной стороны и паз для фиксатора 7 с другой стороны. Клиновидная форма шаблона обеспечивает простоту и скорость перестановки и закрепления опалубки с помощью закладных элементов 8. Для уменьшения сцепления бетона с поверхностями шаблона-опалубки на них наносится смазка с использованием отработанных машинных масел. В отдельных случаях, для уменьшения усилий при подъеме грузоподъемными механизмами, может применяться вибровозбудитель.

Резиновые и полимерные диафрагмы

Уплотнение межсекционных вертикальных швов профилированной резиновой или полимерной лентой шириной 15–40 см производится следующим образом. Во избежание повреждения резиновой ленты во время бетонирования, половина ее ширины пропускается через щитовую опалубку в блок секции, первоначально бетонированной. Для придания устойчивости резиновым и другим лентам резина с двух сторон прижимается парными деревянными брусками, прибитыми по высоте блока через 0,75–1,0 м к опалубке анкерами со съёмными наконечниками. После бетонирования блока и достижения необходимой прочности бетона снимаются гайки с шайбами, потом брусья и отвинчивается наконечник (см. рис. 5–9, в). Перед бетонированием блока смежной секции производится очистка резиновой ленты от грязи и окраска полости шва битумной эмульсией или битумными растворами. Указанное крепление может быть осуществлено также по схеме рис. 5–9. По последней схеме крепление диафрагм может быть выполнено с пересечением опалубки (рис. 5–9, б, г) и без ее пересечения (рис. 5–9, а).

Установку резиновых лент для наружных контурных уплотнений рекомендуется выполнять по схеме на рис. 3–20. При выполнении работ по такой схеме отсутствует контакт резины и других лент с бетоном сооружения.

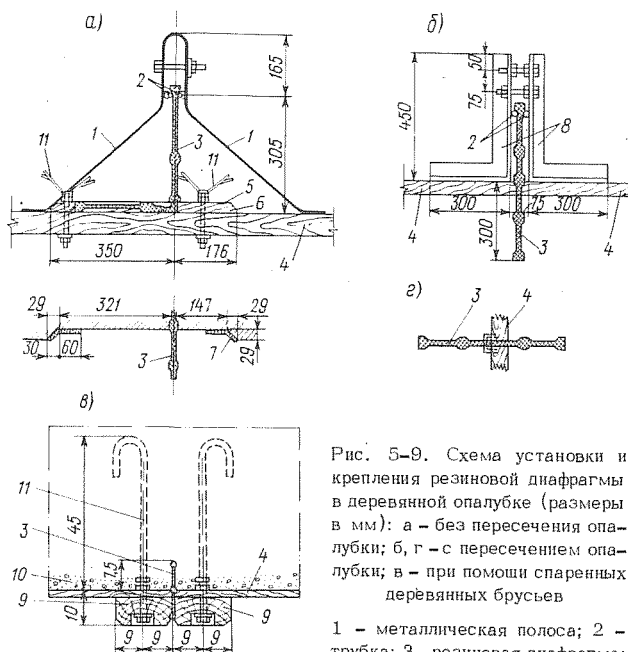


Рис. 5-9. Схема установки и крепления резиновой диафрагмы в деревянной опалубке (размеры в мм): а - без пересечения опалубки; б, г - с пересечением опалубки; в - при помощи спаренных деревянных брусков

1 - металлическая полоса; 2 - трубка; 3 - резиновая диафрагма; 4 - опалубка; 5 - металлический уголок; 6 - доска; 7 - битумматы; 8 - уголок; 9 - деревянный брус; 10 - температурный шов; 11 - анкер

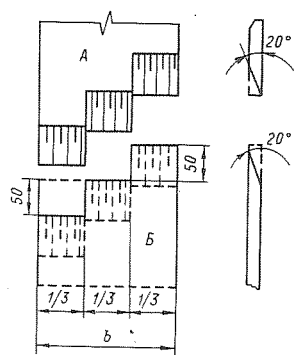


Рис. 5-10. Схема сращивания резиновых лент

очень трудоемкой работой. Оно производится путем склейки или вулканизации внахлест в портативном устройстве при срезке стыкуемых концов под углом 20° (рис. 5-10) или путем нанесения сырой резины, резинового клея № 88-Н и нагрева до 144°C в вулканизационном устройстве. Технические условия на соединение способом горячей вулканизации требуют, чтобы стык выдерживал изгиб на 180° вокруг стержня диаметром 5,1 см без нарушения шва. Примерные размеры ломаного среза для резинового уплотнения следующие: в поперечном направлении ширина каждой ступени должна составлять около 50-70 мм. Плоскости А и Б у первого конца стыка срезаются под углом 20° к верхнему основанию ленты; эти же плоскости у второго конца стыка срезаются под углом 20° к нижнему основанию. Соединение листов из термопластичных полимеров (стеклопластик, неопрен, винилпласт, полиэтилен и др.) может быть выполнено при помощи самосварки. При сварке в качестве присадки употребляется трехгранный пруток, изготовленный из применяемых листов термопластичных полимеров, а в качестве теплоносителя употребляется сжатый воздух, нагрев которого осуществляется в специальном пистолете с электрическим нагревателем [7].

Металлические диафрагмы

Металлические диафрагмы для вертикальных и горизонтальных уплотнений деформационных швов с компенсаторами и двусторонними отогнутыми краями (см. рис. 3-3,а,б) устанавливаются таким образом: одна половина от ширины пропускается через щитовую опалубку блока первой очереди, а вторая половина закрепляется в блоках второй очереди бетонирования. Для создания жесткости диафрагм края их закрепляются к армоконструкциям блоков секции.

Металлическая диафрагма без компенсатора с пропуском ее через опалубку блока первой очереди требует обеспечения подвижности ее второй половины (в блоке второй очереди бетонирования). При изменении ширины полости шва (в связи с температурными деформациями) подвижность второй половины обеспечивается только при устройстве плотно обертывающей диафрагму прокладки из стеклопластика, просмоленного войлока или холодной асфальтовой штукатурки (рис. 3-3). Войлочное обертывание трудно выполнимо в производстве работ, так как для этого необходимо закрепить войлок на диафрагме при помощи специальных зажимов из проволоки $\varnothing 5-6$ мм; зажимы должны устанавливаться через 40-50 см по высоте (длине) диафрагмы. Холодная асфальтовая штукатурка не исключает возможность

фильтрации воды вокруг диафрагмы с выносом штукатурки. Некачественное выполнение этих работ приводит к тому, что уплотнение шва при помощи таких диафрагм не обеспечивает его водонепроницаемости. При осуществлении уплотнений температурных швов при помощи диафрагм без компенсатора (рис. 3-3,в), в период возведения сооружения иногда устраивается недопустимое чередование подвижной части диафрагмы (то в левой, то в правой ее половине). В связи с этим при расхождении шва, особенно у гребня сооружения, возможен разрыв диафрагмы. Во избежание таких последствий рекомендуется перед началом работ установить определенное правило заделки диафрагмы, которое, например, может быть сформулировано в таком виде: если стать лицом к нижнему бьефу, то первую половину диафрагмы следует выполнять подвижной, а левую - наглухо заделанной.

Соединение двух металлических диафрагм - горизонтально расположенной с вертикальной, работающих каждая как самостоятельное уплотняющее устройство, следует осуществлять как показано на схеме рис. 5-11,а - под прямым углом, с помощью вспомогательного уголка; возможны также соединения по радиусу (рис. 5-11,б) и путем перепуска на 10-15 см одного листа на другой со сваркой прерывистым швом (рис. 5-11,в). Изгибы и отгибы листа при монтаже в блоках не допускаются. Лист должен быть очищен от грязи и окалины. Проверка качества и приемка готовой продукции из металлических листов осуществляется согласно ГОСТ 3680-57.

Стыковка металлических диафрагм внахлестку электросваркой является самым трудоемким процессом работ. Стыкование двух таких листов дает положительные результаты в том случае, если сварка их производится электродами марок: а) нержавеющей стали Ст.3 - ЭА-16, ЭА-2Б (ГОСТ 10052-62) или с антикоррозионным покрытием (цинковым) - УОНИ 13/нж, ЦА-2; б) латунные листы - ОБ-5 и ЗТ, марки стержней латуни ЛК8-3Л; в) медные листы - ММ3-2 и ЗТ (с покрытием). После сварки для улучшения структуры материала производится проковка места сварки при температуре около 500°C; г) перед сваркой стальных листов марки Ст.3 с антикоррозионным (цинковым) покрытием производится зачистка листов в месте сварки, а после сварки на шов и на зачищенный участок наносится противокоррозионное цинковое покрытие путем металлизации при помощи электрометаллизаторов типа ЛБ-6а или ЭМ-5 с применением электрического тока и сжатого воздуха [77].

Для устранения местных перенапряжений, появляющихся в связи с изгибом, листы нержавеющей стали, латунные или медные должны подвергаться специальной термической обработке (отжигу) путем нагревания с медленным повышением температуры до 450°C с после-

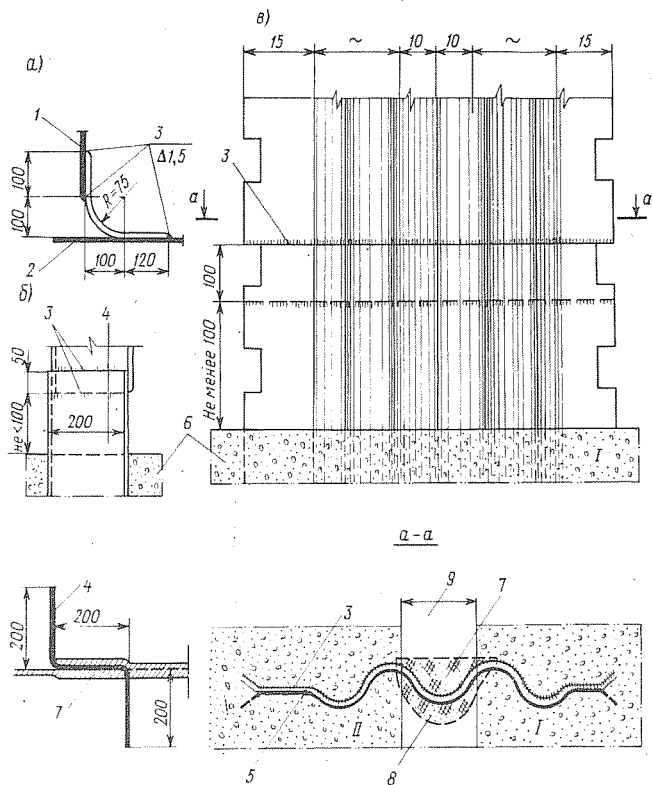


Рис. 5-11. Сопряжения металлических диафрагм (размеры в мм): а – плоских вертикальных и горизонтальных; б – Z-образных; в – вертикальных гофрированных

1 – вертикальный лист; 2 – горизонтальный лист; 3 – сварной шов; 4 – вертикальная диафрагма с компенсатором; 5 – вертикальная диафрагма с гофрированным компенсатором; 6 – бетонируемые блоки секции; 7 – волокнистая шлаковата или минеральная вата; 8 – стеклопластик; 9 – температурный шов

дующим медленным охлаждением. Технология термической обработки подлежит уточнению и согласованию с заводами-поставщиками металлических диафрагм.

Как показывает опыт, для сварки тонких листов нержавеющей стали (примерно до 3 мм) оптимальное отношение диаметра электрода d к толщине листа δ находится в пределах 0,7–1.

При стыковании диафрагм сила сварочного тока должна быть в пределах: а) для нержавеющей стали - 70-90 А; б) для латуни - 110-140 А; напряжение холостого хода 40 В и на дуге сварки 20-25 В.

Асфальтовые шпонки

Шахты шпонки образуются следующими способами:

а) При помощи вставного шаблона в виде металлического клиновидного с двух сторон с обшивками щита-опалубки (рис. 5-8), к которому прикрепляются (сваркой) с двух сторон шаблоны шахты шпонки 6. По мере бетонирования блоков секции и подъема опалубки образуется шахта-шпонка. Простота в производстве, экономичная форма и полная механизация трудоемких работ обеспечивают поточный метод организации труда и экономическую эффективность. Образование шахт шпонки любого размера делает этот способ более предпочтительным нежели другие способы.

б) Для устройства вертикальных асфальтовых шпонок малого поперечного сечения на опалубку блока первой секции бетонирования набивается шаблон треугольного профиля. После распалубки и очистки от строительного мусора производится окраска поверхности бетона шпонки битумной эмульсией. Полость шпонки в блоке второй очереди бетонирования образуется при помощи установки железобетонных корыт, прикрепленных к бетону первой очереди вязальной проволокой. Перед установкой корыт внутренняя их поверхность просушивается и окрашивается битумной эмульсией.

в) Вертикальные асфальтовые шпонки большого сечения выполняются для обеих половин полости шпонки из сборных железобетонных коробов. Эти короба имеют наружную шероховатую поверхность и металлические диафрагмы для предотвращения обходной фильтрации воды (рис. 3-7).

В узких осадочных швах (4-5 см) ограждение асфальтовых шпонок большого и среднего сечений могут быть вынесены за пределы полости шпонки, так же как и в шпонках температурных швов. Ограждение асфальтовых шпонок большого сечения в широких осадочных швах (более 5 см) выполняется железобетонными шандорами или плитами, расположенными в пределах полостей шпонки. Сборные короба закрепляются с помощью тяжей к армофермам блока или к опалубке. Нарастивание коробов производится электросваркой. Схема монтажа коробов и шандоров показана на рис. 5-12.

Шандоры в шпонку подаются в контейнерах тем же краном или переносным краном "Пионер" грузоподъемностью 3 т, устанавливаемым на верхней площадке забетонированных блоков, причем один

кран может обслуживать две шпонки. Сопряжение шандоров по высоте производится с помощью прокладок из технического или минерального войлока, стеклопластика. Во избежание утечки битумной мастики в обход шандоров, пазухи между коробом и шандорами забиваются шлаковой трамбовкой вручную или с помощью пневматического молотка.

Совмещенный монтаж сборных железобетонных коробов и установка армоблоков дает возможность сократить срок подготовки блоков к бетонированию и ускорить темпы возведения сооружения.

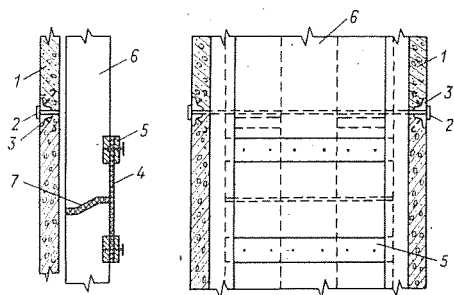


Рис. 5-12. Схема монтажа железобетонных коробов и шандоров

1 - короб; 2 - сварной шов;
3 - уголок 45х45х5; 4 - просмоленный войлок; 5 - деревянные планки 10х2 см;
6 - шандоры

Установка железобетонных шандоров в шпонку должна производиться после бетонирования каждого яруса блоков.

Следует отказаться от оклейки межшандорных швов битумматами, так как для этого требуется покраска горячим или разжиженным битумом поверхности шандорной стенки, которая производится в стесненных условиях (в полости шпонки). Кроме того, опытом /5/ установлено, что при заливке горячей асфальтовой мастики (160-180°C) с высоты 10-15 м эти маты часто обрываются и в скрученном виде остаются в шпонке. Таким образом, битумматы в большинстве случаев не предохраняют течи асфальтовой мастики через неплотные стыки между шандорами. В связи с этим необходимо переходить на новые гидроизоляционные полимерные материалы (§ 4-2), применение которых значительно проще и надежнее.

Способы разогрева заполнителя асфальтовых шпонок

Как указывалось ранее, наиболее надежным и экономичным является способ разогрева заполнителя асфальтовых шпонок при помощи сборно-разборного электронагревателя (рис. 3-23). Для

этого электронагревателя устанавливают над шпонкой с помощью любых грузоподъемных средств.

Последовательность работ электронагревателя заключается в следующем:

1. Перед началом работ к концевой части нижней секции привинчивают подвеску 12 и устанавливают опорное устройство, состоящее из лопасти 7, кольца 9 и стакана держателя 13. Секцию подвешивают над шахтой шпонки при помощи грузоподъемных средств. Контакты 10 и 8 присоединяют к источнику электроэнергии.

2. С разогревом мастики (до температуры $120-150^{\circ}\text{C}$) происходит постепенное опускание секции в шпонку до опирания на опорное устройство. За это время

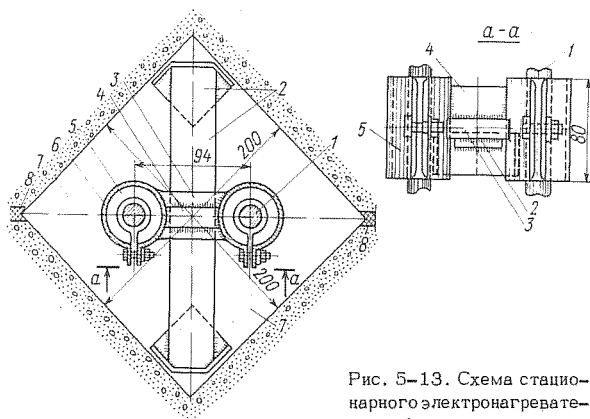


Рис. 5-13. Схема стационарного электронагревателя сборной конструкции

- 1 - стержневые электроды; 2 - фиксаторы электронагревателя с уголками $50 \times 50 \times 5$ мм; 3 - соединительная планка клеммера; 4 - ребра жесткости клеммера; 5 - асбестовая труба; 6 - клеммеры для электрода; 7 - шахта асфальтовой шпонки; 8 - шов

подготавливают следующую секцию нагревателя: на ней устанавливают подвеску и опорное устройство.

3. Далее подачу электроэнергии прекращают, отсоединяют контакты от опущенной в шахту секции, присоединяют ее свинчиванием со следующей секцией.

4. Подключают электроэнергию и начинается новый цикл.

В дальнейшем операция повторяется до достижения проектной глубины шпонки и разогрева мастики.

5. После окончания работы производится посекционное извлечение электронагревателя в обратном порядке, укладка его в гнезда контейнера, который переносится краном к другой шпонке.

Замер температуры наружной трубы электронагревателя производится при помощи термометра сопротивления, устанавливаемого на трубе при помощи хомута. Все секции электронагревателя опускаются в шахту шпонки вертикально под действием собственного веса.

Если в производстве работ появится необходимость монтажа электродов, оставляемых в шахте шпонки для разогрева асфальтовой мастики, то можно использовать U-образные стержневые электроды конструкций автора (рис. 5-13), смонтированные на асбестоцементных изоляторах, опускаемых в шахту шпонки перед заливкой мастики [67]. При этом основное внимание должно быть обращено на контактные соединения между стыками. Электроды должны свариваться ванной сваркой при тщательном выполнении работ в целях исключения разрыва цепи в период эксплуатации. При бетонировании блоков, примыкающих к шпонкам, необходимо обращать особое внимание на тщательность проработки бетонной смеси на контактах с коробками.

Горизонтальные уплотнения

Донное уплотнение по схеме рис. 3-11,а имеет корытообразный профиль. Конструкция уплотнения выполняется в бетонной подготовке; штраба по низу окрашивается битумными растворами за 2 раза и оклеивается двумя слоями битумматов 1 см; на битумматы укладывается стальное корыто толщиной 3-4 мм, у которого края заделываются в бетон смежных блоков. Эти края снабжаются лапками, отогнутыми в разные стороны; вместо лапок из полосового железа иногда устраивают анкеры из арматурной стали диаметром 6-10 мм через 0,75-1,0 м. Листы собираются отдельными звеньями. Сопряжение звеньев производится ручной электросваркой непрерывным швом. Уложенное корыто заполняется асфальтовой мастикой. После остывания мастики корыто закрывается сверху техническим войлоком толщиной 1 см, фанерой 4 мм и просмоленными досками 2 x 20 см. Вся работа выполняется вручную.

Уплотнение шва в месте перехода узкого шва в широкий (рис. 3-12) выполняется между двумя секциями в период подготовки их блоков к бетонированию. Одна половина штрабы устраивается на блоках первой секции, а другая половина на блоках второй секции. Для держателей изоляторов системы электронагрева шпонки через опалубку в первой секции на расстоянии 20 см друг от друга пропускается арматура диаметром 10-12 мм. После бетонирования, снятия опалубки, очистки и выправки держателей производится установка опалубки для другой половины шпонки и бетонирование блока. После распалубки производится оклейка дна штрабы битумматами толщиной 1 см и укладка шлаковаты толщиной 5-10 см, пропитанной битумным раствором; затем через проходные изоляторы устанавливаются стержни электродов. После проверки системы электронагрева на омическое сопротивление шпонка заполняется до верха асфальтовой мастикой и сверху закрывается стальным листом толщиной 4 мм, оклеенным с двух сторон битумматами толщиной 1 см и досками 5 x 35 см.

Контурные уплотнения

Для осуществления такого вида уплотнений (рис. 3-16) необходимо выполнять следующие работы. В период подготовки блока первой очереди бетонирования устанавливаются брусья, оклеенные с четырех сторон двумя слоями битумматов, или стеклоткани (толщиной 1 см); с низовой стороны между битумматами или стеклотканью устанавливается оцинкованный стальной лист. После бетонирования, снятие опалубки блока, очистки поверхности бруса и окраски его битумом производится бетонирование блока смежной секции. Такая последовательность выполнения работ по наружным контурным уплотнениям температурных швов была принята на плотине Красноярской ГЭС. Недостатком такой последовательности следует считать возможность появления трещины между бетоном и железобетонным брусом в связи с усадкой бетона в блоках бетонирования. Более надежное уплотнение может быть достигнуто при другой последовательности выполнения работ. Сначала в соответствующих блоках (первой и второй очереди бетонирования) смежных секций оставляется необходимых размеров штраба. В подготовленную штрабу устанавливается арматура бруса и производится бетонирование.

Наружные контурные уплотнения с резиновыми листами и прижимными устройствами по предложенной нами схеме (см. рис. 3-20) устанавливаются после стабилизации осадок смежных секций сооружений. В первую очередь выполняются горизонтальные и наклонные участки уплотнения, расположенные в днище камеры шлюза, затем — на вертикальных стенках. Такие уплотнения могут устраиваться в водопроводных галереях шлюзов и в подвальных помещениях зданий ГЭС. В подобных случаях такие уплотнения являются внутренними, контурными.

Для выполнения монтажа уплотнения до бетонирования смежных секций к их опалубке прикрепляются через 0,75–1,0 м по высоте блоков анкерные болты $\varnothing 12$ мм. После окончания бетонирования и снятия опалубки блоков смежных секций на подготовленную поверхность бетона наклеиваются армостеклопластик 3 или другой рулонный материал, после чего на него наклеиваются резиновые 2 или полимерные ленты (рис. 3-20). Для обеспечения долговечности лент и плотности примыкания уплотнений к поверхности бетона производится установка с помощью анкерных болтов прижимных сборных железобетонных или других плит 1.

Уплотнение из сборной оклеечной водонепроницаемой прокладки

Такое уплотнение может быть выполнено из отдельных пакетов, изготавливаемых в заводских или полигонных условиях (рис. 5-14). Каждый пакет состоит из железобетонных ограждающих элементов 1, имеющих с внешней стороны арматурные выпуски 2, которые при монтаже соединяются с арматурным каркасом сооружения 8. Уплотнитель 3 полости выполнен в виде упругой водонепроницаемой прокладки, приклеенной к ограждающим элементам и зажатой между ними при помощи кондуктора 5. Стыкование пакетов производится с помощью сопрягающего элемента 4, выполненного в виде водонепроницаемого компенсатора, заделанного концами в железобетонные элементы 7, путем соединения последних с ограждающими элементами. На стыковую упругую прокладку 6 наносится клеящая мастика, и прокладка располагается в полости шва перпендикулярно продольной оси пакетов. Для уменьшения деформаций материала компенсатора предлагается [33] соединения уплотнений шва по рис. 5-14 в углу пересечения последних элемент (рис. 5-15) V-образного профиля (2 V) одной из плит 1 выполнен с вершиной, направленной внутрь шва, а элемент 4 другой пластины 3 выполнен с вершиной, направленной в обратную сторону. Это обеспечивает снижение напряжений в материале компенсатора, возникающих при деформациях раскрытия-закрытия швов до допустимых величин.

Безанкерные поверхностные уплотнения оклеечного типа на основе эпоксидно-каучуковых и эпоксидно-тиоколовых мастик холодного отверждения (рис. 5-16) представляют собой поверхностные контурные горизонтальные и вертикальные уплотнения температурных швов, образованные путем наклеивания на шов в один или несколько слоев тканых или сетчатых материалов из стеклянных, полимерных и других волокон с образованием компенсационного провеса и являются одними из наиболее эффективных уплотнений для безнапорных, низконапорных гидросооружений (облицовок оросительных каналов), особенно для тонкостенных, сборных и сборно-монолитных гидросооружений. Они не требуют сложной конфигурации шва. Технология их устройства предельно проста, они ремонтабельны. К недостаткам оклеечных уплотнений следует отнести наличие открытых, подверженных агрессивному воздействию внешней среды, развитых площадок сцепления, что создает опасность отслоения герметика в процессе эксплуатации. Тем не менее, успешный опыт применения таких полимеров (эпоксидных смол, жидких тиоколов и др.) на канале Северный Донец - Донбасс, Сукленской оросительной системы, Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС (на кровле машинного

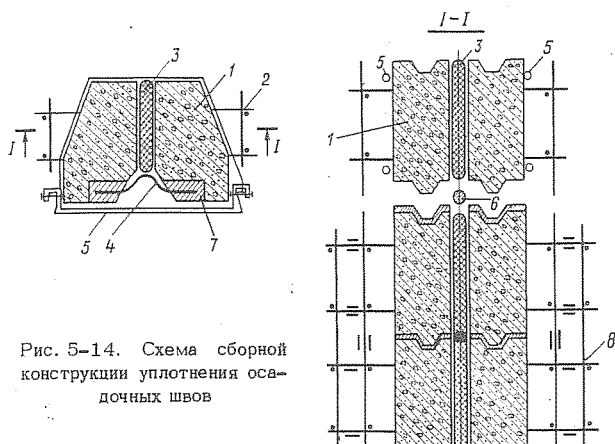


Рис. 5-14. Схема сборной конструкции уплотнения осадочных швов

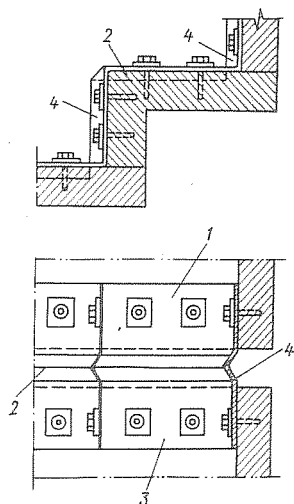


Рис. 5-15. Приспособление V-образного профиля для соединения сборной конструкции уплотнения по рис. 5-14

зала), Каунасской ГЭС и др. создает реальные предпосылки для оценки срока службы этих уплотнений в 25–30 лет.

При использовании в качестве армоосновы сеток из латуни, нержавеющей стали, капроновых волокон и конструктивной защиты поверхностного уплотнения от указанных агрессивных факторов срок службы таких уплотнений будет значительно больше. Расчеты показывают, что усиленные клеечные уплотнения с армированием

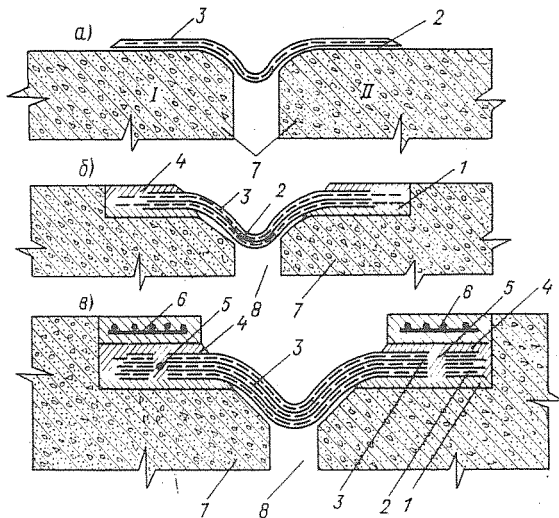


Рис. 5-16. Безанкерные поверхностные уплотнения клеечного типа: а — однослойное; б — двухслойное с пластрастворной подготовкой площадок сцепления; в — трехслойное усиленное с перфорацией

1 — пластрастворная подготовка; 2 — эпоксидно-каучуковая мастика; 3 — клеечный стеклоэластик; 4 — укрывающий слой пластрасвора; 5 — перфорация; 6 — железобетонная доска; 7 — блоки секций сооружений; 8 — шов

металлическими сетками в 3–4 слоя могут быть использованы на напорной грани плотины высотой 100 м и более. Стоимость 1 м таких уплотнений составит 10–15 руб.

Конструкция по рис. 3-18 устраивается для ограждения широкого шва от попадания плавающих предметов и разрушения кромки шва льдом. При подготовке бетонирования на грани блоков (ВБ) устанавливаются уголки на анкерах. После бетонирования, снятие опалубки

и очистки уголков от грязи на один уголок по высоте блоков приваривается стальной (нержавеющий) лист, а другой может свободно перемещаться в специальных накладках, устанавливаемых через 0,5 м. Для такой конструкции возможно применение оклеечного стекло — эластика с компенсаторами, как это показано на рис. 5-16.

В производстве гидроизоляционных работ до сих пор значительное место занимает ручной труд, низок уровень квалификации рабочих и высок процент травматизма. Из-за относительно небольших объемов работ и невысокой их стоимости, по сравнению с основными строительными работами (бетонными, монтажными и т. п.), средства механизации гидроизоляционных работ медленно разрабатываются и слабо внедряются в производство. Между тем внедрение новых механизированных способов и приемов производства работ позволит снизить стоимость этих работ, устранить ручной труд, повысить производительность труда и сократить сроки строительства сооружения. Кроме того, это повысит культуру производства, улучшит условия труда и снизит травматизм.

Нельзя не отметить, что механизация таких видов гидроизоляционных работ, как оклейка бетонной поверхности асфальтовыми матами, работа внутри полости шпонки и т. д. практически не поддаются механизации. Поэтому необходимо повсеместно переходить на применение полимерных материалов, а также заменять сложные гидроизоляционные конструкции более простыми, что в значительной степени упрощает производство работ и увеличивает объем механизации. Так, например, трудовые затраты при устройстве полостей шахты шпонки значительно уменьшаются при замене деревянной опалубки сложной конфигурации металлической консольной опалубкой с клиновидной обшивкой (рис. 5-8) или сборными железобетонными коробами (рис. 3-8).

5-3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ И ИХ УПЛОТНЕНИИ

Работа с горячими битумами и асфальтовыми мастиками, а также с различными едкими и легковоспламеняющимися веществами представляет для работающих с ними большую опасность. Основными причинами несчастных случаев при выполнении гидроизоляционных работ являются грубое нарушение правил техники безопасности, отступление от технических условий производства работ, несоблюдение трудовой дисциплины, а также допуск к работе лиц, не имеющих соответствующей подготовки.

При составлении проектов производства гидроизоляционных работ следует выбирать технологическое оборудование, обеспечивающее наиболее безопасные и производительные способы работы. Необходимо помнить, что максимальная комплексная механизация гидроизоляционных работ снижает до минимума возможность соприкосновения работающих с горячими битумными материалами и вредными для здоровья компонентами, тем самым способствует созданию безопасных условий труда и уменьшает возможность травматизма и профессиональных заболеваний.

При разработке проектов организации гидроизоляционных работ проектировщики должны учитывать требования действующих правил по технике безопасности, а также санитарных и противопожарных норм. Проектная документация по организации и производству гидроизоляционных работ должна содержать следующие конкретные решения: 1) по созданию условий для безопасного и безвредного выполнения работ на всех участках и на всех этапах производства работ и на отдельных рабочих местах; 2) по санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих; 3) по безопасному производству работ в зимних условиях; 4) по достаточному освещению производственной территории, помещений и рабочих мест. Без указанной проектной документации производство гидроизоляционных работ не разрешается.

Ответственность за выполнение мероприятий по технике безопасности, принятых в проектах производства работ, возлагается на администрацию строительства или подрядной специализированной организации, выполняющей эти работы. Руководство этой организации обязано не допускать ввод в эксплуатацию вновь выстроенных цехов и без гидроизоляции до полного их устройства и оборудования санитарно-бытовыми помещениями, вентиляцией, отоплением и другими устройствами, предусмотренными проектами, а также до приемки их комиссией с участием технической инспекции. Рабочих необходимо снабжать спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты в соответствии с действующими нормами.

На основании постановления Государственного комитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы от 29 августа 1959 г. № 629 использование труда лиц моложе 18 лет на гидроизоляционных работах запрещается. К механизированной варке асфальтовых мастик женщины не допускаются. Вновь поступающие рабочие могут быть допущены к гидроизоляционным работам только после прохождения ими вводного (общего) инструктажа по технике безопасности; инструктажа по технике безопасности непосредственно на рабочем месте, который должен производиться также при каждом переходе на другую работу или изменении условий работы; курсового обучения технике безопасности по утвержденной программе со

сдачей экзамена и получением соответствующего удостоверения. До прохождения обучения рабочие к самостоятельной работе не допускаются.

В процессе курсового обучения изолировщик должен получить следующие сведения: о причинах травматизма на гидроизоляционных работах; о мерах безопасности при организации рабочего места; о противопожарных мероприятиях и средствах пожарной защиты; о мерах безопасности при изготовлении, хранении и транспортировке гидроизоляционных материалов; о правилах и способах безопасной работы при подготовке поверхностей к устройству гидроизоляционных покрытий и уплотнений; о мерах безопасности при работе с пеньковыми, дегтевыми и едкими материалами.

На основании "Типовых отраслевых норм бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и предохранительных приспособлений рабочим и служащим" (от 30 декабря 1959 г.) рабочим, занятым на гидроизоляционных работах, положено выдавать следующие виды спецодежды, в зависимости от вида выполняемой работы: костюм брезентовый или комбинезон хлопчатобумажный; рукавицы брезентовые или комбинированные; ботинки на деревянной подошве или сапоги резиновые; очки защитные; фартук прорезиненный с нагрудником; шлем хлопчатобумажный; респиратор; наколенники брезентовые.

Организация базы гидроизоляции

Все проезды на территории базы, предназначенные для следования пожарных автомобилей, должны находиться в исправном состоянии. Опоры под трубопроводы для битума, асфальтовой мастики и топлива должны быть из негорючих материалов, а для пара — из негорючих или трудногорючих материалов. Теплоизоляция этих трубопроводов должна быть выполнена из негорючих материалов.

Совместная прокладка топливопроводов с паропроводами и трубопроводами для подачи битума и асфальтовой мастики запрещается. Вход в битумоплавильный цех, в битумохранилище, в цехи по приготовлению разжиженного битума, битумных лаков, в помещения по пропитке ими гидроизоляционных материалов, а также в котельную и в помещения, где имеется оборудование или хранилища с открытыми поверхностями горячего битума, посторонним лицам запрещен. Освещение на уровне верха котлов должно обеспечивать визуальный контроль за уровнем битума в котлах в любой момент рабочего времени и работой измерительной аппаратуры.

Пол перед фронтом котлов должен быть не ниже уровня прилегающей территории базы гидроизоляции. Он выполняется из кирпича,

бетона или огнестойких плит. Помещение битумоплавильных котлов, а также все вспомогательные помещения должны быть оборудованы вентиляцией, обеспечивающей удаление вредных газов и паров и поддержание санитарно-гигиенических условий воздушной среды.

Для удобного и безопасного обслуживания котлов должны быть установлены постоянные лестницы и площадки с рифленым покрытием и перилами из несгораемых материалов. Они должны обеспечивать возможность доступа к регулирующим подачу битума кранам, контрольно-измерительным приборам, люкам и пр. На площадках и лестницах не должно быть налипших кусков битума, масел и грязи, могущих вызвать скольжение подошвы.

Запрещается оставлять котлы без надзора до прекращения горения, удаления топлива из топок и застывания битума в котлах (или падения давления в паровых котлах). Максимальная температура на поверхности нагревательных приборов допускается не выше 130–150°C в производственных помещениях без выделения пыли или с выделением невоспламеняющейся неорганической пыли, а в пожароопасных помещениях – не более 60–70°C.

Внутренние противопожарные водопроводы не должны устраиваться в битумоплавильных цехах и в цехах по приготовлению битумных лаков, разжиженных битумов и пропитки ими изоляционных материалов, а также и в других помещениях, где применение воды может вызвать распространение огня.

Каждая база гидроизоляции должна иметь телефонную связь для вызова пожарных команд в случае пожара. На территории базы необходимо иметь звуковые сигналы (колокола, куски рельсов и т. п.) для подачи тревоги при возникновении пожара; около сигналов должны быть вывешены надписи "Пожарный сигнал".

Все работы на территории базы, связанные с применением открытого огня, могут производиться только с разрешения лица, ответственного за пожарную безопасность, и в обязательном уведомлении местных органов Госпожнадзора.

Базу гидроизоляции необходимо обеспечить средствами пожаротушения. Здания и сооружения цехов, а также подсобные помещения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения – огнетушителями, ящиками с песком, кошмами, бочками с водой и ведрами, лопатами, ломami, баграми и топорами.

Эксплуатация технологического оборудования

Котлы для варки и разогрева битумных составов должны закрепляться и иметь плотно закрывающиеся несгораемые крышки. Заполнение котлов допускается не более, чем на 3/4 их емкости.

Загружаемый в котел наполнитель должен быть сухим. Для предотвращения вспенивания массы и выброса ее из сварочного котла следует применять специальные мешалки или добавки пенотгасящих веществ.

Загрузочные люки сварочных котлов должны быть закрыты защитными кожухами и оборудованы специальными фартуками, не допускающими разбрызгивания горячей массы во время загрузки котлов. Тушить горячую битумную массу водой запрещается.

Перед чисткой варочного котла необходимо: а) полностью удалить из котла остаток жидкой массы; б) охладить и хорошо проверить котел; в) отключить котел от всех паро- и массопроводов путем постановки видимых заглушек перед кранами; г) перед спуском рабочего в котел ставить указатель "Человек в котле!".

Чистить котел должны двое рабочих: один, производящий чистку, должен надеть предохранительный пояс с прикрепленной к нему веревкой, конец которой держит второй, страхующий, рабочий, находящийся вне котла и наблюдающий за первым.

Пропитанная ванна должна быть наполнена битумом на 40 см ниже борта. При более высоком уровне битума в ванне заправлять мешковину на направляющие ролики запрещается. Запрещается подавать в пропиточную ванну влажную мешковину.

Не разрешается включать электронагрев отжимных вальцов пропиточной ванны, если он дает замыкания на корпус. Пуск вальцов в работу следует производить после предварительного обогрева их. Поднятые рамы направляющих роликов ванны следует закреплять устройствами, исключающими возможность их падения.

Очищать вальцы от комочков битума, кусков мешковины и пр. разрешается только после остановки агрегата. Над пропиточной ванной должны быть установлены зонты, оборудованные вытяжной вентиляцией.

Во время заполнения смесителя битумом и наполнителями он должен быть закрыт крышкой. Запрещается включать перемешивающее устройство при открытой крышке заполненного смесителя. Все устройства подачи и дозировки пылевидных наполнителей (шнеки, дозаторы, пневмопроводы, рукава и т. п.) должны быть закрыты плотными чехлами и крышками, предотвращающими пыление. Асфальтосмесительный цех должен быть оборудован вентиляцией. Все технологические трубопроводы, работающие под давлением или при высоких температурах (битумопроводы, массопроводы, паропроводы, конденсаторопроводы и пр.), должны иметь хорошее уплотнение и надежную теплоизоляцию. Фланцевые соединения следует закрывать кожухами. Крены массопроводов должны быть расположены в доступных местах и снабжены ключами.

Битумопроводы с электронагревом должны быть хорошо изолированы и заземлены. Не следует перекачивать битум по непрогретому битумопроводу. При образовании пробки в битумопроводе необходимо остановить насос и прогреть битумопровод. Применять для нагревания открытый огонь запрещается.

Сушильные печи с электронагревательными элементами и электропроводом должны быть тщательно заземлены. Все вращающиеся части привода печи должны иметь ограждение. Корпус сушильной печи должен быть хорошо теплоизолирован. В случае применения сушильных печей с огневым обогревом необходимо строго соблюдать правила пожарной безопасности. Помещение или навес должны быть негоряемыми. Около печей должны находиться комплекты средств пожаротушения.

Изготовление, хранение и транспортировка асфальтовых гидроизоляционных материалов

Запрещается подогревать битум острым паром. Битум может быть нагрет не выше температуры его вспышки. Во избежание тяжелых ожогов во время производства работ рабочие должны быть одеты в брезентовые куртки, брюки, иметь спецрукавицы и шлем (если работа производится в траншее), а также кожаные ботинки или сапоги. Брюки одевать навыпуск. Рабочих без полного комплекта спецодежды или в одежде, не соответствующей своему назначению, к работе не допускать.

Котлы для разогрева битума должны быть защищены от попадания в них атмосферных осадков и воды, так как при высокой температуре битума вода, почти мгновенно превращаясь в пар, вызывает вспенивание и выбрасывание содержимого из котла. Горячий битум, попадая к топочному отверстию котла, воспламеняется. Поэтому котел должен быть закрыт крышкой, а вблизи него должен находиться запас песка для тушения огня. Тушить загоревшиеся котлы водой запрещается. При загорании котлы закрывают крышками. Вспенившийся и выходящий в топку битум тушат песком или пенным огнетушителем.

Горячие асфальтовые мастики должны готовиться в обогреваемых смесителях. Приготовление этих материалов в котлах с ручным перемешиванием разрешается в отдельных случаях при очень малой потребности в горячей мастике.

При изготовлении мастик в котлах с ручным перемешиванием рабочие должны работать черпаками с удлиненной ручкой и находиться на расстоянии 1–1,5 м от котла, с наветренной стороны.

Горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (бензин, разжиженный битум и т. п.) надо хранить в помещениях с негоряемыми конструк-

ниями или заглубленными в землю, с соблюдением специальных правил пожарной безопасности. Запрещается хранить горючие и легковоспламеняющиеся жидкости в открытой таре.

Запрещается применение в гидроизоляционных работах этилированного бензина и бензола ввиду их высокой токсичности. Приготовление разжиженного битума немеханизированным способом допускается только при площади изолируемой поверхности не выше 500 м². При приготовлении разжиженных битумов, холодных грунтовок и др. требуются особые меры предосторожности: предохранение от соприкосновения с открытым огнем, работа в границах разрешенных температур и не ближе 50 м от огнеопасных объектов.

Изготовление раствора битума на бензине вручную производится только на открытом воздухе. Смешивание битума с бензином производится на расстоянии не менее 50 м от места разогрева битума.

При смешивании разогретый битум вливается в бензин (а не бензин в битум) при постоянном перемешивании. Расплавленный битум до введения в него разжижителя необходимо охладить до температуры не выше 80°C при применении легко улетучивающегося разжижителя (бензина и др.) и не выше 120°C при применении медленно улетучивающегося разжижителя (лигроина, керосина и др.).

Разлив производят бачком-черпаком емкостью 1,5-2 л с ручкой длиной 1,5-2 м. Баки, бачки и бидоны, в которых готовится, транспортируется и хранится бензин или разжиженный битум, должны быть всегда плотно закрыты крышками, независимо от наличия в них огнеопасных материалов.

Электрооборудование цехов приготовления разжиженного битума и пропитки должны быть взрывобезопасными.

Горячий битум должен перевозиться в специальных автомашинах-автогудронаторах и битумовозах. Во избежание расплескивания горячего битума в пути битумовоз должен быть закрытым. Сверху плотно закрываемым загрузочным отверстием и сливным отверстием с пробочным краном или задвижкой в нижней точке. Запрещается перевозить горячие асфальтовые материалы (битум, мастики и др.) в кузовах автомашин и самосвалах. Перевозка горячих асфальтовых материалов в автомашинах должна производиться в специальных закрытых баках-термосах (рис. 5-4).

Конусные бачки с горячими мастиками необходимо перевозить на специальной тележке. В местах, неудобных для применения тележек, бачки следует переносить на шесте с упорами, исключающими возможность их сдвига.

Транспортировать котел для варки битума по вертикали и горизонтально вручную и механическим способом в разогретом состоянии воспрещается.

Бадьи-термосы с горячими асфальтовыми материалами при заливке шпонок следует переносить общестроительными кранами, тщательно оберегая бадьи от ударов. Загрузочные и разгрузочные отверстия и краны при переноске должны быть наглухо закрыты.

Устройство гидроизоляционных покрытий и уплотнений деформационных швов

Рабочий, производящий продувку бетонной поверхности сжатым воздухом, должен работать в респираторе в защитных очках. Уши необходимо защищать от шума ватными или марлевыми тампонами.

Запрещается просушивать внутренние поверхности открытыми жаровнями (мангалами), огнеметами и огневыми калориферами. При сушке открытой поверхности калориферами последние заключаются в кожух из листовой стали и монтируются на специальной подставке.

После окончания работ доступ людей в закрытые помещения, в которых производилась грунтовка или окраска битумными материалами, не разрешается; об этом вывешиваются предупредительные надписи.

При производстве окрасочных работ с применением пневматических аппаратов, а также быстросохнущих окрасочных материалов, содержащих летучие растворители, рабочие снабжаются респираторами и защитными очками. При механической окраске горячими битумами рабочие снабжаются шлемом со вставленным в него плоским стеклом, и кроме того рукавицами.

В зоне применения составов, выделяющих горючие пары, запрещается курить и производить работы, связанные с использованием огня, вызывающие искрообразование, и т. п. Работать с бензиновыми растворителями одному рабочему не разрешается.

Запрещается устройство покрытий, связанных с применением горячих битумных и асфальтовых материалов, на поверхности, загрунтованной огнеопасными материалами (бензобитумным раствором), до полного испарения разжижителя. Ввиду пожарной опасности выжигание разжижителя (бензина) категорически воспрещается.

На рабочие места и склады огнеопасных материалов посторонние лица не допускаются. При работе с огнеопасными окрасочными материалами люльки, леса и подмости должны быть негорючими.

Внутренние окрасочные работы с применением составов, выделяющих вредные для здоровья людей летучие пары, надлежит выполнять при открытых окнах или наличии вентиляции, обеспечивающей не менее двукратного обмена воздуха в час. Рабочие, применяющие при окраске

вредные или ядовитые вещества, через каждые три месяца подвергаются медицинскому осмотру.

Раскройку оклеечной гидроизоляции из гибких рулонных материалов нужно производить на ровной площадке. Делать эту работу на высоте запрещается. Работы по устройству оклеечной гидроизоляции стен надо выполнять, отстоя от стены на 0,25–0,3 м, т. е. на расстоянии, достаточном только для раскатывания свернутого рулона между подмостями и стеной.

Перед началом каждой смены следует проверить исправность растворонасоса, шлангов, асфальтометов и другого оборудования, применяемого для производства штукатурных гидроизоляционных работ. Предохранительные клапаны и манометры должны быть опломбированы. Запрещается работа растворонасосов при давлении, превышающем указанное в технических паспортах.

Разборка, ремонт и чистка асфальтометов, форсунок и другого оборудования, применяемого при механизированных штукатурных работах, производится после снятия давления и отключения машин от электросети. Продувка шланга сжатым воздухом допускается только после удаления людей за пределы опасной зоны. Запрещается применять проволоочные скрутки при соединении растворопровода со штукатурной машиной. Не допускается перегибать шланги под острым углом и в виде петли, а также затягивать сальники во время работы штукатурных машин.

Укладка и нанесение горячих асфальтовых мастик и растворов разрешается только на сухую подготовленную поверхность. Помимо комбинезона из плотной материи, весь персонал, обслуживающий асфальтомет, должен быть снабжен брезентовыми перчатками и рабочей обувью. Брюки надеваются поверх сапог, перчатки заправляются под нарукавники. Перчатки асфальтометчика должны иметь стеганую прокладку на тыльной стороне руки. Работать в майках, сандалиях, босоножках и т. п. запрещается. Чтобы мастика не налипла на обувь, последнюю надо обматывать какой-либо тканью (мешковиной), смоченной в воде. При работе в перчатках их надо смачивать водой, чтобы к перчаткам не прилипла мастика.

Во время работы асфальтомета оператор (асфальтометчик), а при загрузке аппарата также и подносчик должны, кроме обычной спецодежды, надевать шлемы, полностью закрывающие голову, но не стесняющие свободу движений. Прорезы в шлеме против глаз закрываются стеклами. При работе с асфальтометом наиболее опасным является засорение сопла, сопровождающееся неожиданным выбрасыванием горячего раствора, что может вызвать ожоги лица и рук оператора и других рабочих. В этом случае необходимо немедленно остановить работу асфальтомета.

Предохранительная крышка, надежно закрывающая сверху воронку асфальтомета, исключает возможность выброса горячего материала. Поэтому наиболее радикальной мерой предупреждения ожогов при закупорке сопла является прекращение подачи сжатого воздуха перед каждым открыванием крышки. Конструкция асфальтомета должна исключать возможность проливания горячего асфальтового материала на руки или одежду асфальтометчика при загрузке аппарата. Дополнительным средством защиты против этой опасности является остановка работы асфальтомета на время его загрузки. Асфальтометчик должен внимательно следить за тем, чтобы струя горячего асфальтового материала, вылетающего из сопла, не была направлена на людей. Запрещается работа асфальтометом с приставных лестницы и стремянок.

При производстве работ в колодце шпонки на поверхности у колодца должен находиться дежурный для связи, наблюдения за безопасностью работающего и обеспечения его страховки. При производстве гидроизоляционных работ в шпонках и смотровых колодцах запрещается производство каких-либо работ над ними. Во время опускания в колодец шпонки труб, электродов, ведер с битумом и т. п. рабчие из него должны быть удалены.

Вокруг устьев шпонки и смотровых колодцев должны устраиваться ограждения высотой 0,8 м и бортовые доски высотой не менее 15 см. При работе в шпонках и смотровых колодцах следует обязательно пользоваться предохранительными поясами. Вербки для привязывания предохранительных поясов должны быть толщиной не менее 15 мм и предварительно испытаны на нагрузку 200 кгс в течение 15 мин.

Для освещения шпонок в смотровых колодцах нужно применять лампы напряжением не выше 12 В. При ведении окрасочных работ в шпонках и смотровых колодцах необходимо организовать подачу в них чистого воздуха при помощи вентиляционного оборудования. В случае невозможности обеспечения нужной вентиляции применение вредных материалов при проведении гидроизоляционных работ внутри колодца шпонки запрещается.

Запрещается применять огнеопасные материалы для окраски внутренней поверхности шпонок и смотровых колодцев при нахождении в них рабочих. При производстве работ внутри шпонок запрещается вблизи них курить, пользоваться открытым огнем, производить сварку и другие искроопасные работы.

Запрещается производить окраску влажных стенок шпонок и смотровых колодцев горячими битумными материалами. Запрещается производить заполнение шпонки горячими асфальтовыми материалами в случае наличия на дне воды. Использование паяльных ламп для сушки и прогрева стенок шпонок и смотровых колодцев не разрешается.

После окончания работ доступ людей в колодцы шпонок, в которых производилось нанесение битумных материалов, не разрешается. Об этом вывешиваются предупредительные надписи.

5-4. СТОИМОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ И ИХ УПЛОТНЕНИИ

В общем составе бетонных работ по основным сооружениям гидроузлов капитальные затраты на создание уплотняющих устройств деформационных швов колеблются от 0,4 до 3,4%. При этом затраты на материалы составляют 80-85% от общей стоимости. Конкретные данные об удельном весе затрат по бетонным работам и по устройству уплотнений деформационных швов для характерных гидроузлов, имеющих различные расчетные напоры и конструкции гидротехнических сооружений, приведены в табл. 5-1.

Таблица 5-1
Удельный вес затрат по уплотняющим устройствам деформационных швов (по данным института Гидропроект им. С.Я. Жука)

Основные показатели и затраты на устройство деформационных швов гидроузла	Гидроузел					
	Братский им. 50-летия Октября	Воткин-ский	Красно-ярский	Кахов-ский	Плявинь-ский	Сара-товский
Расчетный напор, м	106,0	22,5	100,0	16,5	40,0	15,0
Объем бетонных работ по основным сооружениям, тыс. м ³	4858	1960	5714	650	545	3090
Удельный вес затрат на устройство деформационных швов к стоимости бетонных работ, %	1,8	3,4	0,4	2,5	2,95	2,9

Различие в удельном весе затрат на устройство деформационных швов связано прежде всего с различными конструкциями основных сооружений и характеристикой оснований. Так, на Красноярской и Братской ГЭС, где, как известно, в основании сооружений залегают скальные породы, удельный вес затрат на устройство деформационных швов наиболее низок.

По нашему мнению, различие в удельных весах затрат на деформационные швы объясняется также и различным подходом к назначению конструкций самих уплотнений и методами производства работ на разных гидроузлах.

В табл. 5-2, 5-3, 5-4, 5-5 и 5-6 приведены в числителе стоимости (в рублях) 1 м, в знаменателе – затраты труда (в чел. днях) для уплотнения деформационных швов, по данным различных проектов и расчетных калькуляций, составленных Институтом "Гидропроект" им. С. Я. Жука для конкретных условий работ.

Из табл. 5-4 видно, что наиболее дешевыми и простыми в производстве работ являются металлические диафрагмы из нержавеющей стали с $\delta = 1,8-2,0$ мм.

Таблица 5-2

Уплотнения из асфальтовых шпонок

Гидроузлы	Сечение шпонки, см	Паропрогрев шпонки в шахте, выполненной		Электронагрев шпонки в шахте, выполненной железобетонным коробом
		в деревянной опалубке	железобетонным коробом	
Волжский имени В. И. Ленина	170x140	-	$\frac{317,1}{14,42}$	-
	120x110	$\frac{263,5}{12,21}$	-	-
	72x72	-	$\frac{205,9}{11,77}$	-
	16x16	-	$\frac{22,8}{1,53}$	-
Воткинский	120x80	-	-	$\frac{154,6}{5,9}$
	80x80	-	-	$\frac{126,5}{3,5}$
	60x83	-	-	$\frac{137,8}{3,71}$
Каховский	150x80	$\frac{151,24}{7,1}$	-	-
	30x30	-	$\frac{30,0}{2,4}$	-
Кременчугский	100x80	-	-	$\frac{123,5}{9,54}$
	30x30	-	-	$\frac{21,0}{1,01}$
Братский	110x90	-	-	$\frac{96,75}{2,21}$

Таблица 5-3

Резиновые уплотнения

Местоположение уплотнений	Тип резины на рис.	Гидроузлы		
		Воткин-ский	Кремен-чугский	Красно-ярский
Наружные контуры здания ГЭС	3-1, а	$\frac{19,4}{0,48}$	$\frac{15,5}{0,80}$	$\frac{10,14}{0,18}$
Наружные контуры камеры шлюза	3-1, а, б	$\frac{39,85}{1,35}$	-	-
Температурные швы на швах водосливной плотины	3-1, в	-	$\frac{15,14}{0,73}$	-

Таблица 5-4

Уплотнения температурных швов из металлических диафрагм

Материал диафрагм	Гидроузлы				
	Волжский имени В. И. Ленина	Красно-ярский	Брат-ский	Усть-Илим-ский	Кремен-чугский
Латунный лист (Л68)	-	$\frac{13,47}{1,52}$	$\frac{21,66}{3,05}$	$\frac{17,65}{2,50}$	
Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	$\frac{7,56}{0,76}$	-	-	-	$\frac{5,35}{0,43}$

Таблица 5-5

Наружные контурные уплотнения с напорной и низовой сторон

Материал уплотнения	Гидроузлы			
	Кахов-ский	Красно-ярский	Брат-ский	Предла-гаемый
Железобетонный брус	$\frac{25,2}{0,73}$	$\frac{21,25}{0,61}$	$\frac{46,97}{2,1}$	
Деревянный брус	$\frac{7,62}{0,30}$	$\frac{8,66}{0,31}$	-	$\frac{3,42}{0,25}$

Из табл. 5-5 видно, что наружные контурные уплотнения со стороны напорной и низовой граней сооружения в виде железобетонного и деревянного бруса с гидроизоляционной прокладкой из асфальто-армированных матов относительно дешевы. Однако при больших температурных деформациях на контуре шва в них образуются трещины, что неизбежно ведет к образованию фильтрации (см. § 5-2). Предложение автора (рис. 3-4) в пять раз удешевляет конструкцию и упрощает производство работ.

Сопоставление способов устройства деформационных швов, шахт шпонок и разогрева их заполнителей приведено в табл. 5-6. Из этой таблицы видна экономическая и техническая целесообразность использования вставного шаблона-опалубки клиновидной конструкции (рис. 5-8) для образования деформационного шва шахты шпонки при помощи вставного клиновидного щита опалубки, к которому прикрепляются (сваркой) с двух сторон шаблоны б шахты шпонки (рис. 5-8) и разогрева заполнителя шпонки с применением сборно-разборного электронагревателя (рис. 3-23).

Таблица 5-6
Сопоставление стоимостей (руб.) способов
устройства деформационных швов, шахт шпонок
и разогрева их заполнителей

Способы устройства и разогрев	Деформаци- онный шов, 1 м ²	Шахта шпонки, 1 м
Деревянная опалубка	14,4	36,0
Железобетон:		
плита-оболочка	20,4	-
короб	-	47,0
Вставной клиновидный шаблон	2,8	3,2
Паропрогрев	-	14,5
Электронагреватель:		
стационарный	-	15,4
сборно-разборный	-	1,5

Учитывая то обстоятельство, что приведенные в таблицах стоимостные данные были получены в разное время и разными проектными коллективами, а также, что при их исчислении были использованы разные нормы и что гидроузлы размещаются в различных экономических районах СССР, — не представляется возможным сравнивать конструкции уплотнения швов, применяемые в одном гидроузле, с другим. Однако для конкретного гидроузла указанные стоимостные сопоставления более показательны.

Анализ описанных выше уплотнений деформационных швов, а также данных об их выполнении на строениях и о работе в процессе эксплуатации сооружений дает, по нашему мнению, основание для следующих выводов и предложений.

Как видно из табл. 5-2, применяемые в настоящее время конструкции асфальтовых шпонок при одинаковых инженерно-геологических условиях, напоре и назначении в одном гидроузле (Волжской имени В. И. Ленина, Кременчугской) имеет существенную разницу в стоимости 1 м (от 317 до 21 руб.) и в трудовых затратах (от 14,32 до 1,0 чел.-дней). Сопоставление данных таблиц 5-2 и 5-3 по Кременчугской ГЭС показывает, что стоимостные показатели 1 м резиновых уплотнений значительно дешевле, чем асфальтовых шпонок в 1,2-8 раз; в табл. 5-4 применяемые уплотнения из металлических диафрагм различаются следующим образом: латунные листы - от 13,47 до 21,66 руб. и трудозатраты - от 1,52 до 3,05 чел.-дней; из нержавеющей стали - от 5,35 до 7,56 руб. и трудозатраты от 0,43 до 0,76 чел.-дней. Из табл. 5-5 видно, что применяемые наружные контурные уплотнения из железобетонных брусьев имеют стоимость от 21,25 до 46,97 руб., трудозатраты - от 0,61 до 2,1 чел.-дней и деревянные брусья - стоимость от 3,42 до 8,66 руб., трудозатраты - от 0,25 до 0,31 чел.-дней, то же имеем и по данным табл. 5-6, где произведены сопоставления стоимостей устройства деформационных швов, шахт шпонок и разогрева их заполнителей различными способами.

Из данных, приведенных в указанных таблицах, также видно, что применение предлагаемых автором способов значительно снижает стоимость конструкции уплотнения швов.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ УПЛОТНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

6-1. УПЛОТНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ШВОВ В СООРУЖЕНИЯХ НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Резиновые и полимерные изделия

Впервые каучук в качестве строительного герметика был применен в виде системы уплотнительных колец Лондонского канализационного коллектора, построенного в 1860 г. В 1963 г., спустя более 100 лет, стыки были открыты в связи с реконструкцией. Кольца были изготовлены из натурального каучука без добавки сажи, несмотря на это они хорошо сохранились [77]. Интересно отметить, что коллектор обычно работает при наполнении от одной четверти до полной высоты сочленения, таким образом уплотнения частично подвергались атмосферным воздействиям в течение длительного времени. Это говорит о том, что, вероятно, срок

эксплуатации резиновых диафрагм, заделанных в бетон и не подверженных действию света, значительно выше 100 лет.

Опыт Кременчугского гидроузла интересен, прежде всего, потому, что данный объект является крупным гидротехническим сооружением, где впервые были широко применены резиновые диафрагмы для основного межсекционного уплотнения температурных швов. На двух температурных швах (№ 5 и № 6) шитовой стенки здания ГЭС со стороны верхнего бьефа асфальтовые шпонки сечением 80х100 см были заменены двумя рядами резиновых диафрагм шириной 25 см и толщиной 1 см, с расстоянием 40 см между ними, диафрагмы были установлены в 1,3 м от напорной грани.

На строительстве водосливной плотины большинство уплотнений температурных швов, по предложению автора, было выполнено комбинированными, из резиновых диафрагм и асфальтовых шпонок. В нижней части шов уплотнялся асфальтовой шпо-

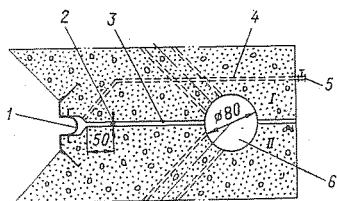


Рис. 6-1. Схема уплотнения температурного шва плотины Мерайе (Франция) (размеры в см)

1 - металлическая диафрагма; 2 - резиновая диафрагма; 3 - шов; 4 - дрена; 5 - затвор; 6 - смотровая шахта

кой сечением 30х30 см, в верхней части - резиновыми диафрагмами шириной 25 см по схеме, приведенной на рис. 3-14. За состоянием резиновых уплотнений Кременчугской ГЭС с 1960 г. по настоящее время проводятся систематические наблюдения. За 12 лет эксплуатации фильтрации через температурные швы не наблюдалось.

На опыте Кременчугской и других гидроэлектростанций выявлены следующие преимущества уплотнений из резиновых профилированных диафрагм.

1. Установка резиновых диафрагм менее трудоемка, чем устройство асфальтовых и металлических уплотнений [77].
2. Уменьшается вероятность фильтрации воды через температурный шов.
3. Снижаются эксплуатационные расходы по уходу за уплотнением, так как в уплотнениях из асфальтовых шпонок требуется периодический разогрев заполнителей и ремонт.

В контрфорсных плотинах, построенных во Франции в период с 1957 по 1970 г., усадочные швы уплотнялись со стороны напорной грани двумя диафрагмами, одна из которых (верховая) - медная, другая (низовая) - из профилированной резиновой ленты. Со стороны нижнего бьефа за низовой диафрагмой устраивалась смотровая шахта диаметром около 80 см. Такое уплотнение швов применялось, например в плотине Мерайе (150 м) и показано на рис. 6-1.

Представляет интерес конструктивное решение уплотнения температурных швов здания правобережной ГЭС Бхакра (Индия). Уплотнение контура межсекционных температурных швов осуществлялось листами из нержавеющей стали, полосовой резиновой лентой, металлическим листом "манели"*, профилированной резиновой лентой шириной 23,0 см, асфальтовой шпонкой сечением 20,2х20,2 см с электронагревом, огражденной металлическими листами "манели". Уплотнение шва на горизонтальном участке (пол машинного зала) и вдоль напорной стены здания ГЭС

Таблица 5-3

Резиновые уплотнения

Местоположение уплотнений	Тип резины на рис.	Гидроузлы		
		Воткин-ский	Кремен-чугский	Красно-ярский
Наружные контуры здания ГЭС	3-1, а	$\frac{19,4}{0,48}$	$\frac{15,5}{0,80}$	$\frac{10,14}{0,18}$
Наружные контуры камеры шлоза	3-1, а, б	$\frac{39,85}{1,35}$	-	-
Температурные швы на швах водосливной плотины	3-1, в	-	$\frac{15,14}{0,73}$	-

Таблица 5-4

Уплотнения температурных швов из металлических диафрагм

Материал диафрагм	Гидроузлы				
	Волжский имени В. И. Ле-нина	Красно-ярский	Брат-ский	Усть-Илим-ский	Кремен-чугский
Латунный лист (Л68)	-	$\frac{13,47}{1,52}$	$\frac{21,66}{3,05}$	$\frac{17,65}{2,50}$	
Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	$\frac{7,56}{0,76}$	-	-	-	$\frac{5,35}{0,43}$

Таблица 5-5

Наружные контурные уплотнения с напорной и низовой сторон

Материал уплотнения	Гидроузлы			
	Кахов-ский	Красно-ярский	Брат-ский	Предла-гаемый
Железобетонный брус	$\frac{25,2}{0,73}$	$\frac{21,25}{0,61}$	$\frac{46,97}{2,1}$	
Деревянный брус	$\frac{7,62}{0,30}$	$\frac{8,66}{0,31}$	-	$\frac{3,42}{0,25}$

Из табл. 5-5 видно, что наружные контурные уплотнения со стороны напорной и низовой граней сооружения в виде железобетонного и деревянного бруса с гидроизоляционной прокладкой из асфальто-армированных матов относительно дешевы. Однако при больших температурных деформациях на контуре шва в них образуются трещины, что неизбежно ведет к образованию фильтрации (см. § 5-2). Предложение автора (рис. 3-4) в пять раз удешевляет конструкцию и упрощает производство работ.

Сопоставление способов устройства деформационных швов, шахт шпонок и разогрева их заполнителей приведено в табл. 5-6. Из этой таблицы видна экономическая и техническая целесообразность использования вставного шаблона-опалубки клиновидной конструкции (рис. 5-8) для образования деформационного шва шахты шпонки при помощи вставного клиновидного щита опалубки, к которому прикрепляются (сваркой) с двух сторон шаблоны 6 шахты шпонки (рис. 5-8) и разогрева заполнителя шпонки с применением сборно-разборного электронагревателя (рис. 3-23).

Таблица 5-6
Сопоставление стоимостей (руб.) способов
устройства деформационных швов, шахт шпонок
и разогрева их заполнителей

Способы устройства и разогрев	Деформаци- онный шов, 1 м ²	Шахта шпонки, 1 м
Деревянная опалубка	14,4	36,0
Железобетон: плита-оболочка	20,4	-
короб	-	47,0
Вставной клиновидный шаблон	2,8	3,2
Паропрогрев	-	14,5
Электронагреватель: стационарный	-	15,4
сборно-разборный	-	1,5

Учитывая то обстоятельство, что приведенные в таблицах стоимостные данные были получены в разное время и разными проектными коллективами, а также, что при их исчислении были использованы разные нормы и что гидроузлы размещаются в различных экономических районах СССР, — не представляется возможным сравнивать конструкции уплотнения швов, применяемые в одном гидроузле, с другим. Однако для конкретного гидроузла указанные стоимостные сопоставления более показательны.

Анализ описанных выше уплотнений деформационных швов, а также данных об их выполнении на строениях и о работе в процессе эксплуатации сооружений дает, по нашему мнению, основание для следующих выводов и предложений.

Как видно из табл. 5-2, применяемые в настоящее время конструкции асфальтовых шпонок при одинаковых инженерно-геологических условиях, напоре и назначении в одном гидроузле (Волжской имени В. И. Ленина, Кременчугской) имеет существенную разницу в стоимости 1 м (от 317 до 21 руб.) и в трудовых затратах (от 14,32 до 1,0 чел.-дней). Сопоставление данных таблиц 5-2 и 5-3 по Кременчугской ГЭС показывает, что стоимостные показатели 1 м резиновых уплотнений значительно дешевле, чем асфальтовых шпонок в 1,2-8 раз; в табл. 5-4 применяемые уплотнения из металлических диафрагм различаются следующим образом: латунные листы - от 13,47 до 21,66 руб. и трудозатраты - от 1,52 до 3,05 чел.-дней; из нержавеющей стали - от 5,35 до 7,56 руб. и трудозатраты от 0,43 до 0,76 чел.-дней. Из табл. 5-5 видно, что применяемые наружные контурные уплотнения из железобетонных брусьев имеют стоимость от 21,25 до 46,97 руб., трудозатраты - от 0,61 до 2,1 чел.-дней и деревянные брусья - стоимость от 3,42 до 8,66 руб., трудозатраты - от 0,25 до 0,31 чел.-дней, то же имеем и по данным табл. 5-6, где произведены сопоставления стоимостей устройства деформационных швов, шахт шпонок и разогрева их заполнителей различными способами.

Из данных, приведенных в указанных таблицах, также видно, что применение предлагаемых автором способов значительно снижает стоимость конструкции уплотнения швов.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ УПЛОТНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

6-1. УПЛОТНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ШВОВ В СООРУЖЕНИЯХ НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Резиновые и полимерные изделия

Впервые каучук в качестве строительного герметика был применен в виде системы уплотнительных колец Лондонского канализационного коллектора, построенного в 1860 г. В 1963 г., спустя более 100 лет, стыки были открыты в связи с реконструкцией. Кольца были изготовлены из натурального каучука без добавки сажи, несмотря на это они хорошо сохранились [7]. Интересно отметить, что коллектор обычно работает при наполнении от одной четверти до полной высоты сечения, таким образом уплотнения частично подвергались атмосферным воздействиям в течение длительного времени. Это говорит о том, что, вероятно, срок

эксплуатации резиновых диафрагм, заделанных в бетон и не подверженных действию света, значительно выше 100 лет.

Опыт Кременчугского гидроузла интересен, прежде всего, потому, что данный объект является крупным гидротехническим сооружением, где впервые были широко применены резиновые диафрагмы для основного межсекционного уплотнения температурных швов. На двух температурных швах (№ 5 и № 6) штовой стенки здания ГЭС со стороны верхнего бьефа асфальтовые шпонки сечением 80х100 см были заменены двумя рядами резиновых диафрагм шириной 25 см и толщиной 1 см, с расстоянием 40 см между ними, диафрагмы были установлены в 1,3 м от напорной грани.

На строительстве водосливной плотины большинство уплотнений температурных швов, по предложению автора, было выполнено комбинированными, из резиновых диафрагм и асфальтовых шпонок. В нижней части шов уплотнялся асфальтовой шпон-

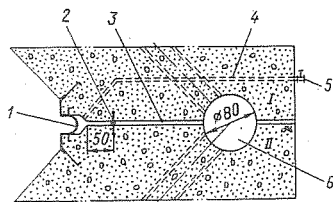


Рис. 6-1. Схема уплотнения температурного шва плотины Мерайе (Франция) (размеры в см)

1 - металлическая диафрагма; 2 - резиновая диафрагма; 3 - шов; 4 - дрена; 5 - затвор; 6 - смотровая шахта

кой сечением 30х30 см, в верхней части - резиновыми диафрагмами шириной 25 см по схеме, приведенной на рис. 3-14. За состоянием резиновых уплотнений Кременчугской ГЭС с 1960 г. по настоящее время проводятся систематические наблюдения. За 12 лет эксплуатации фильтрации через температурные швы не наблюдалось.

На опыте Кременчугской и других гидроэлектростанций выявлены следующие преимущества уплотнений из резиновых профилированных диафрагм.

1. Установка резиновых диафрагм менее трудоемка, чем устройство асфальтовых и металлических уплотнений [77].

2. Уменьшается вероятность фильтрации воды через температурный шов.

3. Снижаются эксплуатационные расходы по уходу за уплотнением, так как в уплотнениях из асфальтовых шпонок требуется периодический разогрев заполнителей и ремонт.

В контрфорсных плотинах, построенных во Франции в период с 1957 по 1970 г., усадочные швы уплотнялись со стороны напорной грани двумя диафрагмами, одна из которых (верховая) - медная, другая (низовая) - из профилированной резиновой ленты. Со стороны нижнего бьефа за низовой диафрагмой устраивалась смотровая шахта диаметром около 80 см. Такое уплотнение швов применялось, например в плотине Мерайе (150 м) и показано на рис. 6-1.

Представляет интерес конструктивное решение уплотнения температурных швов здания правобережной ГЭС Бхакра (Индия). Уплотнение контура межсекционных температурных швов осуществлялось листами из нержавеющей стали, полосовой резиновой лентой, металлическим листом "манели"*, профилированной резиновой лентой шириной 23,0 см, асфальтовой шпонкой сечением 20,2х20,2 см с электронагревом, огражденной металлическими листами "манели". Уплотнение шва на горизонтальном участке (пол машинного зала) и вдоль напорной стены здания ГЭС

состояло из профилированной резиновой ленты, огражденной с двух сторон металлическими листами и дреной сечением 20,2 x 20,2 см (рис. 6-2).

Опыт эксплуатации уплотнений из профилированной резины и полимерных материалов показал, что при смещении секций сооружения относительно друг друга до 5 см резиновые диафрагмы хорошо

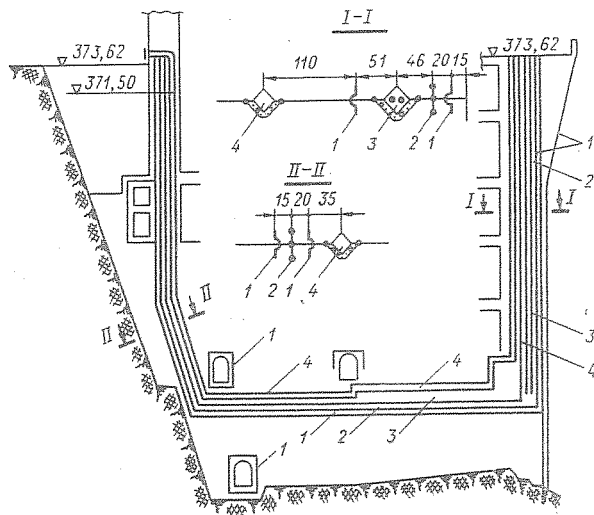


Рис. 6-2. Схема уплотнения температурного шва здания ГЭС Бхакра (Индия) (размеры в см)

1 — металлическая диафрагма "манель"; 2 — резиновая диафрагма; 3 — асфальтовая шпонка с электронагревом; 4 — дрена

приспособляются к деформации и обеспечивают водонепроницаемость швов при их раскрытии и закрытии.

В сооружениях Борисоглебской ГЭС напором 20 м, построенной норвежской строительной фирмой на территории СССР, температурные швы шириной 20 мм уплотнялись при помощи резиновой диафрагмы шириной 23 см. Диафрагма располагалась в 25 см от напорной грани плотины. Со стороны напорной и низовой граней шов уплотнялся наружным контурным уплотнением по схеме рис. 6-3, имеющим расширенное сечение 25 x 31 мм, и заполнялся пластичным материалом под названием "Fibrous" (по составу напоминающим битум марки БН-I, легко размягчаемым от температуры руки). В эксплуатационных условиях данная конструкция показала вполне удовлетворительную работу.

* Листовая "манель" изготовлена в Индии из сплавов меди и латуни, отличается значительной стойкостью против многократных изгибов.

Уплотнение температурных швов плотины План д'Амон в разных частях выполнено по-разному. На участке, где основанием служат кристаллические сланцы, уплотнение шва обеспечивается тремя рядами резиновых диафрагм, расположенных в 0,35 м от напорной грани (рис. 6-4,а). На расстоянии 0,5 и 1,34 м от средней диафрагмы расположены две асфальтовые шпонки диаметром 10 см. На расстоянии 0,56 м от нижней шпонки установлена медная диафрагма с компенсатором. На участке сооружения, расположенном на сланцах (рис. 6-4,б), где возможны неравномерные осадки, в верхом уплотнении первый ряд диафрагм выполнен из резины более усиленного профиля. Такая же резиновая диафрагма установлена и с

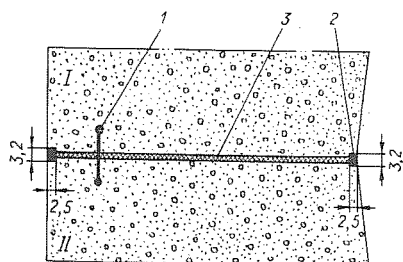


Рис. 6-3. Схема уплотнения температурного шва плотины Борисоглебской ГЭС (размеры в см)

1 - резиновая диафрагма; 2 - наружное контурное уплотнение в виде пробки из специальной мастики; 3 - заполнение шва

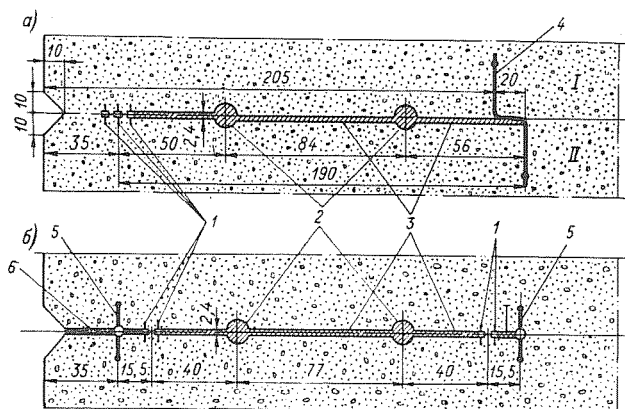


Рис. 6-4. Уплотнение температурного шва частей плотины План д'Амон (Франция), расположенных на кристаллических (а) и зеленых (б) сланцах (размеры в см)

1 - резиновые диафрагмы; 2 - асфальтовые шпонки; 3 - заполнение шва асфальтовой мастикой; 4 - медная диафрагма; 5 - резиновая диафрагма усиленного профиля; 6 - алюминиевая опалубка, которая после бетонирования блоков не снимается, а в результате экзотермического процесса и гидратации бетона превращается в порошок

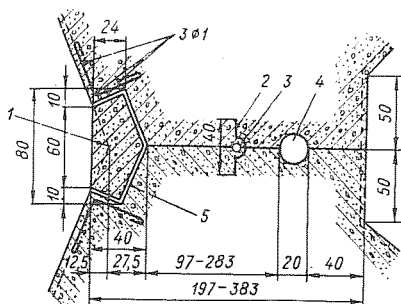


Рис. 6-5. Схема уплотнения температурного шва контрфорсной плотины Дживаретто (размеры в см)

1 - бетонный брус; 2 - резиновая диафрагма; 3 - резиновая трубка; 4 - дрена; 5 - патентованная паста

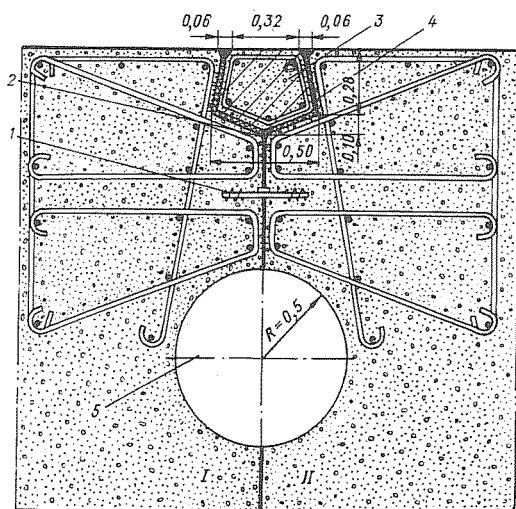


Рис. 6-6. Схема уплотнения температурного шва итальянской плотины Кварра Делла Миньера (размеры в м)

1 - поливинилхлоридовая диафрагма; 2 - бетонная пробка; 3 - железобетонный брус; 4 - специальные полонепроницаемые материалы; 5 - смотровая шахта

низовой стороны вместо медной диафрагмы. Швы между резиновыми, асфальтовыми и медными диафрагмами заполняются асфальтовой мастикой.

В последнее время конструкция температурных швов несколько упрощается за счет применения новых полимерных и синтетических материалов. Так, на плотине Джюваретто (Италия) медный лист заменен резиновой лентой специального профиля, изгиб ленты непосредственно в самом шве создается путем нагнетания под давлением воздуха в резиновую трубку во время укладки бетона (рис. 6-5).

В плотинах Кваира Делла Миньера (Италия) и Кауэнс Форт (США) [7] температурные швы уплотнялись вертикальными диафрагмами из поливинилхлорида.

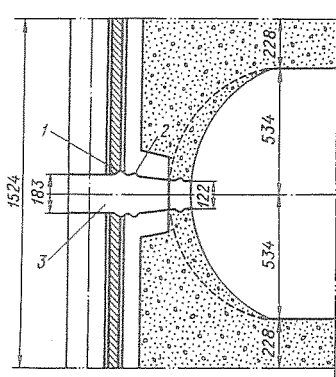


Рис. 6-7. Широкий усадочный шов в контрфорсной плотине Ствян (США) (размеры в см.)

1 — штраба для поливинилхлоридного покрытия напорной грани; 2 — асфальтовая штукатурка; 3 — шов

Со стороны напорной грани шов закрывался железобетонным брусом, оклеенным специальным водонепроницаемым материалом (рис. 6-6). Ниже поливинилхлорида в сторону нижнего бьефа предусматривались смотровые (дренажные) колодцы диаметром 100 и 10 см.

На некоторых плотинах (Яблоница Сен-Пьер-Конье, Сарран, Сувянна, Обераар и др.) уплотнение швов выполнялось без дублирующих конструкций, в связи с чем при выходе уплотнения из строя ремонт его был затруднен или невозможен. Учитывая это обстоятельство, в послевоенные годы (с 1948 г.) стали устраивать в швах по несколько рядов одноименных или различных диафрагм (резиновые, поливинилхлоридные листы, медные, нержавеющей стали и бетонные пробки). Правильность таких решений подтверждается опытом эксплуатации ряда плотин (Гранд-Диксанс, Бау Муджерис и др.).

Контрфорсная плотина Ствян (США) высотой 30,4 м и с расстоянием между осями контрфорсов 15,2 м была разделена посередине пролета широкими клинообразными (1,2-1,5 м) швами. Шов имел штрабу под уплотнения из поливинилхлорида и битумных прокладок. Штраба с каждой стороны окрашивалась битумной эмульсией, затем заполнялась со стороны напорной грани листами из поливинилхлорида, а ниже их — битумными прокладками. В дальнейшем расширенный шов заполнялся бетоном. Усадочные швы заделывались цементацией не раньше, чем через 3-6 месяцев после того, как завершалось воздействие примыкающих контрфорсов (рис. 6-7) [7].

Исследования работы уплотнений из стеклопластика на шве камеры шлюза Кременчугской ГЭС, проведенные автором в период 1956-1963 гг., показали, что стеклопластик в шве имеет в продольном направлении разрывы в нескольких местах [77]. Причиной разрывов могли быть недостаточно тщательная заделка шва между облицовочными плитами (глубокие раковины), воздействие солнечной радиации или плохое качество опытной партии стеклопластика.

Диафрагмы из металлических листов

В отечественном гидростроительстве на плотинах Красноярского, Верхне-Туломского, Кайтакоски, Усть-Илимского и некоторых других гидроузлов основным уплотнением температурных швов являются металлические диафрагмы из латуни или меди.

Уплотнение температурных швов гравитационной пластины гидроэлектростанции Саньмынься (КНР) выполнялось из двух рядов металлических (медных) диафрагм, которые устанавливались в 1,5-2,0 м от напорной грани плотины с расстоянием между рядами 0,60-1,40 м. От низовой грани плотины в шве на расстоянии 1,5-3,5 м устанавливались ограждающие листы из оцинкованных стальных листов с компенсаторами толщиной 1,5 и шириной 500 мм, которые предохраняли от попадания воды со стороны НБ в полость шва. Между низовым и верховым уплотнениями располагалась дрена сечением 20 x 20 см (рис. 6-8,а).

Уплотнение температурных швов плотины Красноярской ГЭС напором 100 м выполнялось из металлических диафрагм с компенсаторами и отогнутыми краями. Листы устанавливались от напорной грани на расстояниях: латунные в 1,5 м, из стали СТ-3 - в 2,5-4,5 м. Со стороны низовой грани на расстоянии 0,5 м (только на водосливном участке плотины) также был установлен металлический лист (рис. 6-8,б).

Уплотнения на плотинах Усть-Илимской и Зейской ГЭС напорами по 90 м запроектированы из латунных диафрагм с компенсаторами и отогнутыми краями. Листы устанавливались от напорной грани на расстояниях: латунные Л90 в 2,0 м, из стали СТ-3 в 2,9-5,25 м и со стороны низовой грани - металлические листы (Ст. 3) на расстоянии 2,0-2,5 м (рис. 6-8,в).

В камерах шлюза Кременчугской ГЭС, ввиду больших затруднений в устройстве уплотнения из асфальтовой шпонки и его высокой стоимости, впервые в отечественной практике по нашей рекомендации асфальтовые шпонки были заменены металлическими диафрагмами с компенсаторами и отогнутыми краями (рис. 6-8,г).

Наблюдениями автора за фильтрацией воды в камере шлюза Кременчугского гидроузла установлено, что такое уплотнение уже в течение 13 лет эксплуатации работает вполне удовлетворительно.

Нашли широкое применение металлические диафрагмы на ряде строек северных гидроузлов, проектирование и строительство которых осуществлялось финской строительной фирмой "Иматран-Войма". Так, например, для наружных контурных уплотнений температурных швов контрфорсных плотин Раякоски и Кайтакоски с напором до 21,0 м

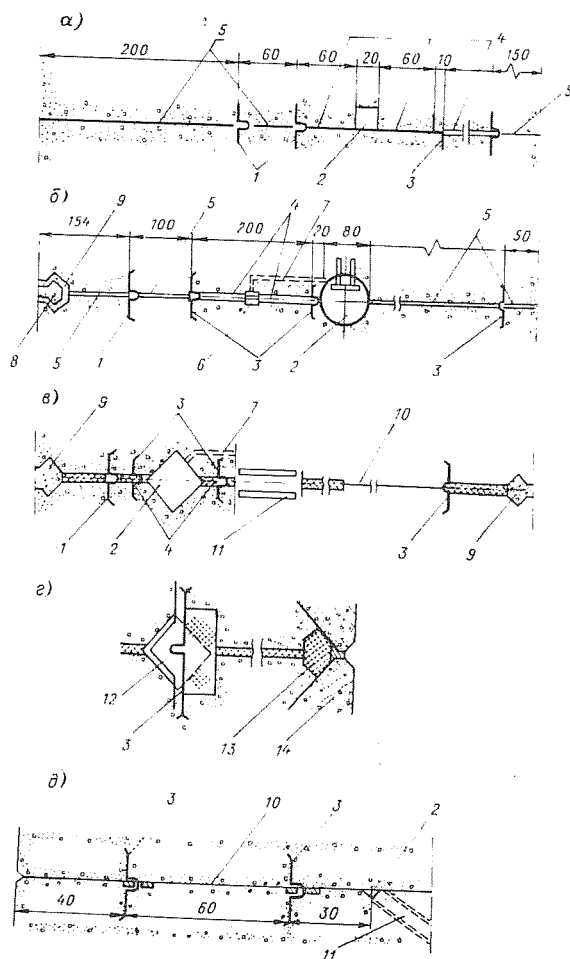


Рис. 6-8. Уплотнения температурных швов плотин металлическими диафрагмами (размеры в см): а - Саньмынься; б - Красноярская ГЭС; в - Усть-Илимская ГЭС; г - Кременчугская ГЭС (шлюз); д - Кайтакоски

- 1 - медный (латунный) лист; 2 - дрена (смотровая шахта);
- 3 - металлический (нержавеющий) лист; 4 - участок цементации; 5 - оклейка битумматами; 6 - тарельчатый клапан;
- 7 - труба для нагнетания цементного раствора; 8 - деревянный брус; 9 - железобетонный брус; 10 - окраска разжиженным битумом; 11 - галерея смотровая; 12 - асфальтовая шпонка 20x20; 13 - технические войлочные пакеты;
- 14 - железобетонная облицовочная плита

применялось уплотнение в виде двух листов из нержавеющей стали толщиной 1,0–1,5 мм или из медных листов с компенсаторами (рис. 6–8, д). Диафрагмы устанавливались на расстояниях 40 и 100 см от напорной грани сооружения. В 130 см от низовой грани устраивалась дрена прямоугольной формы. Поверхность бетона в швах дважды промазывалась горячим битумом и оклеивалась рубероидом.

Длительная эксплуатация и наблюдения за состоянием температурных швов плотины Раякоски показали, что работа уплотнений вполне удовлетворительная летом, и в зимнее время. Фильтрация воды в одном случае происходила в виде капель с расходом около 0,01 л/с.

За рубежом в более поздний период, при строительстве гравитационных плотин высотой 95–219 м уплотнение температурных швов осуществлялось медными диафрагмами с компенсаторами, которые располагались с напорной стороны, и диафрагмами без компенсаторов со стороны нижнего бьефа. В США в качестве уплотнения температурных швов гравитационных плотин высотой 56,0–76,5 м (Блэккенбэн и др.) применялись медные диафрагмы с компенсаторами с напорной стороны и без компенсаторов со стороны нижнего бьефа.

В итальянской практике гидростроительства в качестве уплотнения швов гравитационных плотин Карсер, Лагодимэшо, Сант Стефано [77] и других использовались медные диафрагмы. Реже уплотнение осуществлялось при помощи асфальтовых шпонок с сечением от 20 х 20 до 80 х 80 см. В обоих случаях с напорной стороны в температурных швах устраивались уплотнения в виде железобетонных плит, оклеенных просмоленной тканью, а со стороны нижнего бьефа устраивались дрена диаметром 10 х 20 см или смотровые колодцы сечением 0,8 х 0,8 – 1 х 1 м (рис. 6–9). Уплотнения этой конструкции успешно проработали под напором до 50 м в течение 20 лет во всех 24 швах плотины Карсер [24].

Большой интерес представляют уплотнения швов гравитационных плотин Чиньяна (рис. 6–10) и Санкатарина (Италия), а также Хердеке (ФРГ), Шлюхзее и Эккер (ГДР), где применен медный лист петлеобразной формы. Петля выходит внутрь шахты смотрового кольца сечением 80 х 80 см. Такая конструкция уплотнения обеспечивает возможность осмотра и ремонта основного элемента уплотнения медного листа.

В Швейцарии уплотнение температурных швов гравитационных плотин выполнялось со стороны напорной грани медными диафрагмами. С низовой стороны шов расширялся до 3 м и заполнялся штрафным бетоном. Такой вид уплотнений в период длительной их эксплуатации показал удовлетворительную работу. На ряде плотин применялся другой вид уплотнения – из медных или стальных диафрагм. Так, например, на плотине Гранд-Диксанс, на расстоянии 2 м от напорной грани, располагались медные диафрагмы. Со стороны напорной грани шов ограждался железобетонным брусом, оклеенным битумными матами, между которыми заложен металлический лист. На расстоянии 4 м от низовой грани устроена дрена диаметром 20 см. Кроме того, шов дополнительно уплотнен двумя рядами диафрагм из стальных листов и оборудован смотровой шахтой диаметром 120 см (рис. 6–11).

В Швеции уплотнение температурных швов плотин Бергенбрунхавет, Крангедэ выполнялись у напорной грани медными диафрагмами с компенсаторами. Оба конца диафрагм жестко заделывались в блоки первой и второй очереди бетонирования. Со стороны нижнего бьефа были расположены дрена диаметром по 15 см.

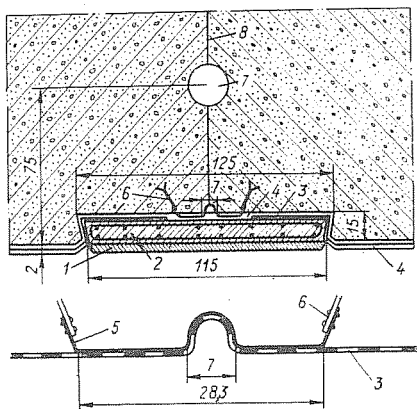


Рис. 6-9. Схема уплотнения температурного шва плотины Карсер (размеры в см)

1 - цементная штукатурка; 2 - железобетонная плита; 3 - просмоленный войлок; 4 - торкрет по сетке; 5 - медный лист; 6 - анкеры; 7 - дрена ϕ 20; 8 - шов

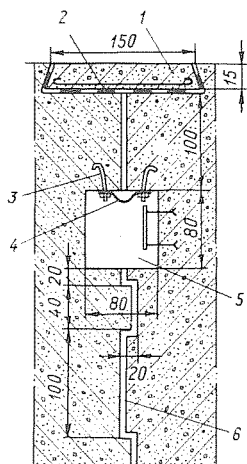


Рис. 6-10. Схема уплотнения температурного шва плотины Чиньяна (размеры в см)

1 - железобетонная плита; 2 - гидроизоляционная прокладка; 3 - анкеры; 4 - медный лист; 5 - смотровая шахта; 6 - шов

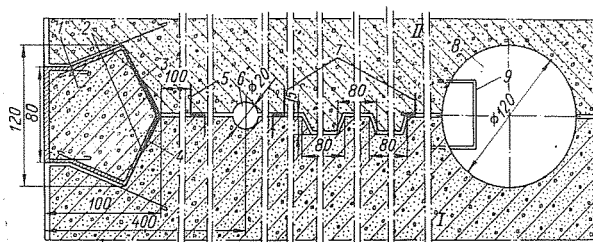


Рис. 6-11. Схема уплотнения температурного шва плотины Гранд-Диксанс (размеры в см)

1 - железобетонный брус; 2 - окраска битумом; 3 - оклейка битумматом; 4 - металлический лист между битумматом; 5 - медный лист с компенсатором; 6 - дрей; 7 - стальные листы с компенсаторами; 8 - смотровая шахта; 9 - лестница

Уплотнение температурных швов гравитационных плотин в Турции осуществлялось при помощи четырех слоев флинткота^{*}, при толщине каждого слоя 1 мм, и трех слоев джута. Расплавленный битум заливался в температурные швы через специально оставленные для этой цели отверстия (плотина Порзуак).

Для обеспечения водонепроницаемости температурных швов гравитационной плотины Альпе Джера предусматривалась облицовка напорной грани металлическими листами толщиной 3,15 мм. По мере возведения плотины, в местах расположения швов, на расстоянии 6 м друг от друга закладывались стальные листы толщиной 3 мм специальной формы (рис. 6-12), к концам которых приваривались уголки 120x80x12. Листы металлической облицовки 1,4x6 м приваривались к уголкам.

Уплотнение температурных швов гравитационной плотины Биказ ГЭС имени В. И. Ленина (Румыния, 116 м) выполнялось медными диафрагмами и запасными шахтами, как показано на рис. 6-13.

Уплотнение температурных швов контрфорсной плотины Элмали, построенной в Турции в 1963 г., выполнялось медными диафрагмами, установленными с напорной стороны. Цементация шва производилась при помощи специальных труб сечением 10x12 см, оставленных в теле плотины в процессе бетонирования [24, 7].

Наиболее простое уплотнение температурного шва между контрфорсами было выполнено на плотине Миранда высотой 80 м. Вместо бетонного бруса и асфальтовой шпонки в шве с верховой стороны установлены два и с низовой стороны — один ряд медных листов толщиной по 2 мм. Пространство шва между вторым и третьим листами заполнялось мастикой, которая нагнеталась по специальной трубке из потерны (рис. 6-14).

В Италии наибольшее распространение получила раздельная установка металлических (медных) листов и уплотнений других типов, например, на плотине Катилья, на контрфорсных плотинах Понтано д'Авио, Бау Муджерис (рис. 6-15) и других.

В Португалии уплотнение температурных швов контрфорсной плотины Пикоти (95 м), построенной в 1957 г., выполнялось со стороны напорной грани медными диафрагмами и плоскими стальными листами с низовой грани. Работы по цементации производились после охлаждения бетонного массива до среднегодовой температуры, в холодное время года, когда происходило максимальное раскрытие швов [36].

В некоторых других плотинах, высотой 112-114 м, уплотнение швов выполнялось только одними медными диафрагмами с компенсаторами и широким швом (3,0 м), заполняемым бетоном.

На плотинах США — Хангри Хорс, Колдервуд, Тайгерт, Молден и других — уплотнения широких швов выполнялись в виде медных диафрагм, а на плотине Сотэ — заполнением бетоном. Диафрагмы устанавливались на каждой стороне широкого шва. После усадки бетона в блоках плотины широкий шов заполнялся бетоном и затем цементировался. Цементация шва, как правило, осуществлялась в следующий строительный сезон (через 6-8 месяцев).

Из рассмотренных более 700 конструкций уплотнений температурных швов в сооружениях зарубежных стран, расположенных на скальных основаниях, нами установлено, что преобладающими являются:

1) металлические (медные, латунные) диафрагмы с компенсаторами (США, Франция) для всех видов плотин; резиновые, каучуковые

^{*} Листовой гидроизоляционный материал.

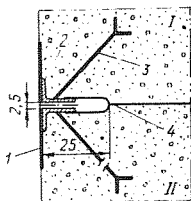


Рис. 6-12. Схема уплотнения температурного шва плотины Альпе Джера (размеры в см)

1 - металлический облицовочный лист 1,4x6 м; 2 - уголок 120x80x12; 3 - анкеры; 4 - специальной формы лист толщиной 3,15 мм

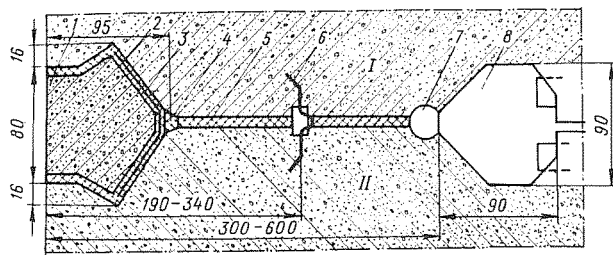


Рис. 6-13. Схема уплотнения температурного шва плотины Биказ имени В. И. Ленина (размеры в см)

1 - железобетонный брус; 2 - окраска разжиженным битумом; 3 - гидроизоляционные прокладки; 4 - асфальтовая шпонка; 5 - оклейка шва битумматом; 6 - медный лист с компенсатором; 7 - резервное уплотнение; 8 - смотровая шахта

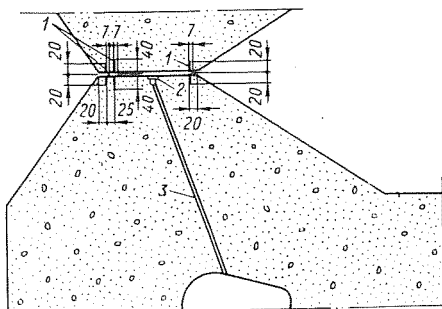


Рис. 6-14. Схема уплотнения температурного шва контрфорсной плотины Миранда (размеры в см)

1 - медные диафрагмы с компенсаторами; 2 - клапаны; 3 - труба ϕ 127 мм для нагнетания битума

и поливинилхлоридные ленты (США, Япония, Чехословакия) также для всех видов плотин;

2) для контрфорсных плотин — медные листы и асфальтовые шпонки малого сечения с электронагревателями;

3) для перекрытия температурных швов высоких гравитационных плотин (Гримзель, Обераар, Ретерихсбоден и другие) применялись металлические уплотнения оригинальной конструкции, предусматривающие возможности значительных как горизонтальных, так и вертикальных деформаций сооружения.

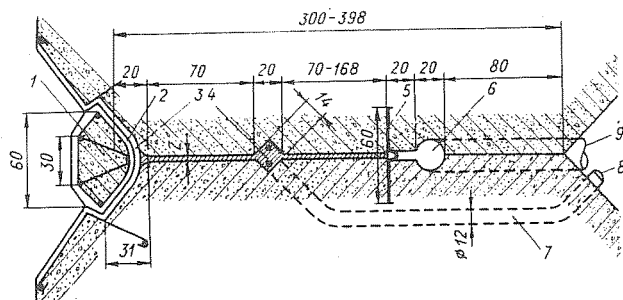


Рис. 6-15. Уплотнение температурного шва контрфорсной плотины Бай Муджерис и Саббиона (размеры в см)

- 1 — железобетонный брус; 2 — асфальтовая стеклоткань; 3 — цементная штукатурка; 4 — асфальтовая шпонка с электронагревом; 5 — медная диафрагма; 6 — дрена; 7 — труба для доливки мастики; 8 — задвижка; 9 — выпускная труба из дрены

Уплотнения температурных швов из металлических диафрагм за период многолетнего применения в зарубежных странах оказались достаточно надежными и обеспечивающими водонепроницаемость швов.

Опыт применения диафрагм из нержавеющей стали для уплотнения деформационных швов на отечественных строительствах подтверждает экономическую целесообразность и техническую возможность их применения вместо дорогостоящих меди, бронзы и латуни.

Уплотнение из плоского металлического листа в большинстве случаев имеет тот недостаток, что оно недоступно для осмотра и ремонта внутри полости шва.

Компенсаторные волны придают металлическим диафрагмам большую эластичность, но зато затрудняют устройство стыков диафрагм по высоте сооружения. Поэтому наибольшее распространение находят металлические диафрагмы Z-образной формы, хотя они хуже других выдерживают деформацию, направленную вдоль плоскости шва.

Сварка листов металлического уплотнения иногда сопровождается прожогами на изгибах, что может вызвать коррозию листов, а стыкование внахлестку заклепками вызывает прямую фильтрацию. Рекомендуемые конструкции уплотнения описаны в § 6-6.

Асфальтовые уплотнения

Нашими исследованиями при строительстве и эксплуатации ряда гидротехнических сооружений, расположенных на скальных основаниях, установлено, что конструкции асфальтовых шпонок большого (80 x 170 см) и малого (15 x 15 - 25 x 25 см) поперечного сечения с внутренними ограждающими металлическими листами, паронагревом или электронагревом и приставными бетонными корытами /3, 7, 35/ не обеспечивают водонепроницаемости и пропускают воду через швы (Усть-Каменогорской, Бухтарминской, Кременчугской, Мамаканской и Братской ГЭС, а также шлюзы Каховской и Новосибирской ГЭС).

При устройстве шпонок малого сечения, в связи с использованием приставных железобетонных корыт, для образования второй половины шахты шпонки необходимо отогнуть металлический лист ограждения и стыковать его с последующим. Выполнить эту работу доброкачественно сложно из-за трудности получения правильной формы листа перед корытом, поскольку при изгибе листа струбцинами получается извилистая кромка листа, плотного прилегания корыт к полости шва добиться не удастся. В связи с этим неизбежно образуется зазор между поверхностью секции первой очереди бетонирования и корытом. Указанные недостатки приводят к фильтрации воды в обход шпонки.

В местах стыкования электродов и их изоляции часто наблюдаются разрывы в цепи, замыкания электродов и электрическая связь электродов с арматурой бетона сооружения. Поэтому нормальную работу электронагрева гарантировать трудно.

На плотине Усть-Каменогорской ГЭС асфальтовая шпонка имеет малое поперечное сечение 15 x 15 см с электронагревом и ограждена с напорной грани оцинкованным железом, а с низовой - просмоленным пеньковым канатом. Для сбора профильтровавшейся воды и сброса ее в нижний бьеф предусмотрена дрена (см. рис. 1-8).

Для придания свободной подвижки одна половина оцинкованного листа смазывалась 3 раза горячим битумом, а другая половина оклеивалась битумными матами толщиной 10 мм. В качестве материала для заполнения асфальтовой шпонки использовался чистый битум марки БН-III.

Поверхность шва между секциями на расстоянии 2,0-3,5 м от граней сооружения оклеивалась 1-3 слоями ребурыда (число слоев зависело от температуры воздуха при бетонировании). Произведенная цементация для предотвращения фильтрации воды в температурных швах в конце строительства не дала положительного результата.

Многолетние наблюдения за состоянием температурных швов показали, что большинство уплотнений фильтрует. В отдельных швах наблюдается расход до 5-6 л/с, что характеризует неудачную работу принятой конструкции уплотнения, а также недоброкачественное ее выполнение [7].

На Бухтарминской ГЭС установлено, что для определения эффективности принятой системы // -образного электронагрева по глубине шпонки в потере из смотровой шахты производилось перфораторное бурение $\varnothing 45$ мм по направлению асфальтовой шпонки. На расстоянии 1,0 м из-за сильной струи воды (расход до 100 л/с) пришлось прекратить дальнейшее бурение. Это говорит о наличии в шпонке каверны и об отсутствии контакта между электродами в системе электронагрева.

Ввиду того, что смотровые шахты проходят через потери, весьма затруднительна их изоляция от последних в случае заполнения шахт асфальтовой мастикой и превращение их в асфальтовые шпонки.

Оклейка битумматами ограждающей диафрагмы асфальтовой шпонки в зимний период затруднена из-за потери их эластичности при отрицательных температурах; требуются дополнительные затраты на производство работ при отсутствии утопленного штра.

При бетонировании блока бетон плохо прорабатывается и не прижимается к листу битуммата, остается щель вокруг наклеенного битуммата, особенно в изгибе наклейки к полости шва. Фильтрацию воды устранить трудно (она доходила до 2 л/с).

Для всей конструкции уплотнения, где применяется оцинкованное железо толщиной 1,5-2,0 мм, оно не прочно, а стыкование внахлестку заклепками ненадежно и не устраняет фильтрации.

На здании Новосибирской ГЭС почти все шпонки в феврале 1962 г. и апреле 1963 г. доливали битумом БН-III. Осадка заливки составляла 0,7-1,2 и 1,5 м, хотя вытекания битума из шпонок не наблюдалось [6].

На строительстве Кременчугской ГЭС [7] асфальтовые шпонки 80x100 см с пазонагревом и внутренними ограждающими металлическими листами со стороны верхнего и нижнего бьефов (рис. 3-9,а) требовали производства таких трудоемких работ, как установка деревянной опалубки; снятия опалубки шахты уплотнения (особенно после бетонирования второй очереди); очистка полости от строительного мусора; подготовка бетонных поверхностей полости шахты; окраска всего периметра стены шпонки бензино-битумным раствором за три раза (включая грунтовку); оклейка асфальтовыми матами в два слоя с размещением между ними металлического листа и заливку асфальтовой мастикой; стыкование металлических листов внахлестку заклепками внутри шахты шпонки; монтаж металлического листа внутри шахты шпонки между асфальтовыми матами, требующий плотного прижима листов к стенкам с помощью деревянных реек 5x5 см. Кроме того, проводились работы с повышенной опасностью, такие, как окраска стен шахты в среде вредных паров, выделяемых огнеопасными бензино-битумными смесями, и монтаж металлических листов.

В первые годы работы асфальтовых шпонок верхнего и нижнего бьефов наблюдалась обильная фильтрация через некоторые температурные швы. Было установлено, что фильтрация происходила в основном не через асфальтовые шпонки, а в обход их. Это объяснялось тем, что асфальтовые шпонки далеко выдвинуты от напорных стенок в бьефы, а бетон в районе пазовых конструкций, сильно насыщенных арматурой, уложен некачественно. В связи с этим, после производства цементационных

работ на ГЭС суммарная фильтрация воды через температурные швы резко сократилась (суммарная - зимой 15, летом 10 л/с). Недостатком оказалось также и то, что водосбросные трубы из смотровых шахт выводились в общий коллектор без задвижек, что не давало возможности контролировать величину фильтрационных расходов воды через каждый шов в отдельности. Кроме того, при больших фильтрационных расходах в смотровых шахтах верхнего бьефа уровень воды выравнивался с уровнем воды в смотровых шахтах нижнего бьефа, а это вызывало опасность затопления трансформаторной площадки.

На водосливной плотине Кременчугской ГЭС основным уплотнением являлась вертикальная асфальтовая шпонка, огражденная диафрагмами из нержавеющей стали (по схеме на рис. 3-1,в). Предусматривался электронагрев шпонок. В процессе строительства большинство уплотнений швов плотины было заменено (выше фундаментной плиты) на комбинированные уплотнения (см. рис. 3-14).

Опытом эксплуатации (с 1960 по 1966 г.) гидросооружений Кременчугского гидроузла установлено, что уплотнения температурных швов, выполненные при помощи асфальтовых шпонок малого и большого сечений, из резиновых и металлических диафрагм показали вполне удовлетворительную работу. Неудовлетворительными оказались уплотнения, где был применен стеклопластик.

В процессе строительства в конструкции уплотнений были внесены следующие изменения: а) в асфальтовой шпонке было исключено ограждение в виде "плавающего" стального листа с верхней стороны; в аналогичном листе с нижней стороны отказались от наклейки битумматов; б) в здании ГЭС несколько асфальтовых шпонок сечением 80x100 см были заменены двумя рядами резиновых диафрагм, а на плотине асфальтовые шпонки сечением 25x25 см были заменены резиновыми диафрагмами. Принятые конструктивные решения по уплотнениям температурных швов оказались в эксплуатации вполне надежными.

На Мамаканской ГЭС, расположенной в резко континентальном климате (табл. 1-6), уплотнение швов выполнено в виде асфальтовой шпонки сечением 25x25 см, огражденной с двух сторон металлическими диафрагмами (рис. 6-16) с компенсаторами, которые отстоят друг от друга на расстоянии 1,40 м. Концы листов с отогнутыми краями жестко заделаны в бетон. При заделке обоих концов листа в бетон обеспечивалась большая надежность в отношении водонепроницаемости по контуру заделки листа, чем при обертке одного его конца битумматом. Стыковка листов производилась внахлестку на 100 мм. Разогревалась мастика с помощью электродов из стержней диаметром 20 мм.

Несмотря на то, что все работы, связанные с устройством уплотнений, выполнялись удовлетворительно, в период опытного электронагрева обнаружилось, что некоторые шахты шпонок были засорены досками и кусками арматуры.

Из приведенных в период строительства сотрудниками Сибирского филиала ВНИИГ опытных прогревов шпонок на Мамаканской ГЭС установлено, что из 6 шпонок в трех не оказалось контакта в цепи электродов [7]. Эти шпонки остались неразогретыми (из-за отсутствия контакта между электродами и др.).

Следует отметить, что асфальтовая шпонка с ограждениями в виде жестко заделанных в бетон металлических диафрагм с компенсаторами работала надежно. Отсутствие фильтрации воды через шов дает право судить об удовлетворительной ее работе.

Уплотнение температурных швов плотины Братской ГЭС выполнено в виде асфальтовых шпонок сечением 90х100 см, огражденных латунными диафрагмами с компенсаторами (см. рис. 3-10). На расстоянии 1,5 м от шпонки в сторону нижнего бьефа расположена смотровая шахта такого же сечения, как и асфальтовая шпонка. Температурный шов со стороны напорной и низовой граней плотины перекрывался сборными железобетонными брусками, оклеенными в местах примыкания к бетону блоков гидроизоляционным материалом. Прогрев асфальтовой мастики производится электрическим током.

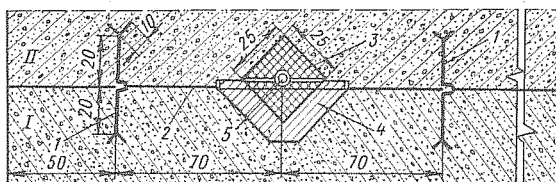


Рис. 6-16. Уплотнение температурного шва плотины Маманской ГЭС (размеры в см)

1 - металлическая диафрагма; 2 - шов; 3 - асфальтовая шпонка; 4 - бетонное корыто; 5 - электронагрев

При обследовании состояния уплотнения температурных швов на плотине Братской ГЭС (февраль 1971 г.) установлено, что между некоторыми секциями водосливной части плотины (53-54, 54-55, 56-57, 59-60, 61-62, 63-64) происходит выпор мастики на поверхность кромок шпонки ($\Phi 1388,0$). Помимо этого, с 7/ХП 1967 г. наблюдается выход воды из смотровых колодцев между секциями 55-56 ($\Phi 1351,0$) и 61-62 ($\Phi 1357,0$) через горизонтальные строительные швы с интенсивностями в пределах 0,35-0,7 л/с.

Также выявлено, что состав асфальтовой мастики по высоте шпонки неоднороден; отрыв мастики происходит из глубины шахты шпонки в пределах 10-12,5 м.

Выпор мастики объясняется отсутствием сплошности между их послойными заливками, так как разогрев их не производится после ввода в эксплуатацию сооружения. В этом случае гидростатическое давление воды несколько больше, чем давление, создаваемое оторванной частью мастики.

В США уплотнение температурных швов контрфорсных плотин в связи с ограниченной длиной шва (6-10 м) выполнялось в виде асфальтовых шпонок сечением 15х15 см. Шпонка располагалась в 1,5-2 м от напорной грани плотины и ограждалась медными листами, устанавливаемыми от нее на расстоянии 0,5-1,0 м. Водонепроницаемость швов обеспечивалась за счет высокого качества работ.

В контрфорсных плотинах, построенных во Франции в период с 1957 по 1965 г., уплотнение температурных швов обеспечивалось за счет асфальтовых шпонок диаметром 10 см, расположенных с напорной стороны. Шпонка ограждена с верхней

и низовой сторон медными диафрагмами. Ниже шпонки устраивалась смотровая шахта диаметром 80 см.

Уплотнение швов на плотинах Саланфе, Талеппере и Клэзон производилось при помощи асфальтовых шпонок диаметром 15 см, огражденных медными листами (рис. 6-17) [77].

На плотине Паландьера уплотнение шва осуществлялось при помощи асфальтовой шпонки треугольного сечения, ограждение выполнялось металлическими диафрагмами: медными с верховой и стальными с низовой стороны.

В Алжире в плотинах уплотнение температурных волнистых швов осуществлялось при помощи асфальтовых шпонок малого сечения (25х25 см), огражденных латунными листами.

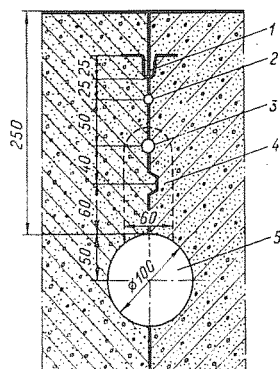


Рис. 6-17. Схема уплотнения температурного шва плотин Саланфе, Талепперо и Клэзон (размеры в см)

1 — медная диафрагма с компенсатором; 2 — асфальтовая шпонка; 3 — дрена; 4 — соединительный ход; 5 — смотровая шахта

Уплотнение температурных швов некоторых плотин в Чехословакии обеспечивалось асфальтовой шпонкой малого сечения (20 х 20 см) с ограждениями из металлических диафрагм. За асфальтовой шпонкой устраивался смотровой колодец

размером 80х80 см. В период эксплуатации в некоторых шпонках наблюдалась незначительная фильтрация воды в пределах до 1,2 л/мин (плотина Вранов) [77].

В Норвегии уплотнение швов обеспечивалось асфальтовыми шпонками малого сечения (25х25 см) при высоте плотин до 40х50 м. Шпонка ограждалась с верховой и низовой стороны медными диафрагмами. Ниже шпонки устраивался смотровой колодец поперечным сечением 1,0х1,0 м (плотины Мюркфосс, Зальбергфосс).

В другом случае температурный шов был уплотнен двумя асфальтовыми шпонками поперечным сечением 25х25 см, между которыми располагалась дрена 40х40 см (плотина Норе Тюнхорд).

Уплотнение швов плотин в ГДР и ФРГ осуществлялось при помощи асфальтовых шпонок поперечным сечением 8х19 — 20х20 см. Внутри шпонок устанавливались медные диафрагмы. Шпонки по обе стороны ограждались просмоленными канатами. С низовой стороны шпонок устраивались смотровые колодцы поперечным сечением 75х75 см. В эксплуатационных условиях было установлено, что фильтрационный расход по швам достигает 0,12 л/с (плотина Целлербах).

В Новой Зеландии уплотнение швов обеспечивалось при помощи асфальтовых шпонок диаметром 10 см, огражденных с низовой и верховой стороны медными диафрагмами. От низового медного листа в сторону нижнего бьефа шов расширялся до 1,5-2,0 м, и после охлаждения бетона замыкающий блок заполнялся бетоном [77].

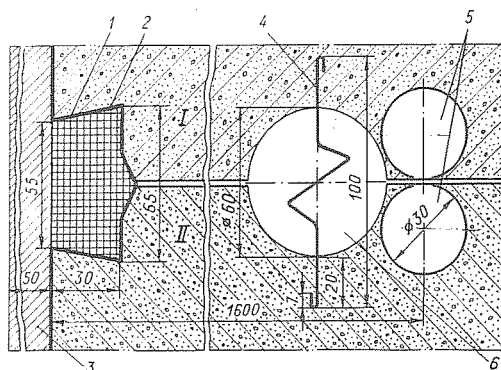


Рис. 6-18. Схема уплотнения температурного шва плотины Бела Искер (Болгария) (размеры в см.)
1 - медный лист; 2 - асфальтовая шпонка; 3 - облицовка напорной грани бутовой кладкой; 4 - медная диафрагма; 5 - дрена; 6 - смотровая шахта

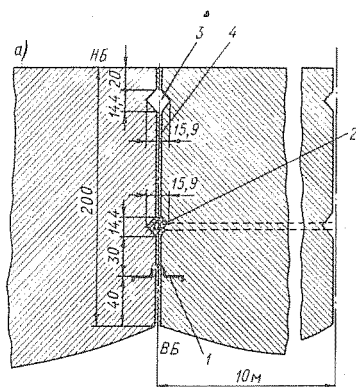
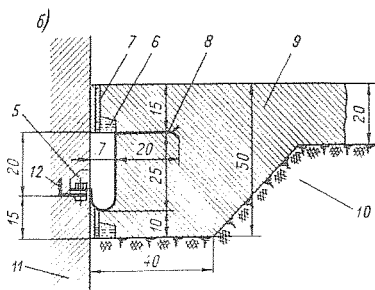


Рис. 6-19. Уплотнение температурного шва контрфорсной плотины Круц дель Эйе (Аргентина) (размеры в см.): а - шов между оголовками; б - шов между земляной и бетонной плотинами

1 - медный лист; 2 - асфальтовая шпонка с паропрогревом; 3 - дрена; 4 - рубероидная прокладка; 5 - цементный раствор; 6 - антисептированный деревянный брус; 7 - ткань "Целатекс", приклеенная к бруску; 8 - медный лист; 9 - железобетонный экран земляной плотины; 10 - земляная плотина; 11 - сопрягающий устой бетонной плотины; 12 - уголок для крепления медного листа



На плотине Бела Искер (Болгария), построенной в 1948 г., уплотнение швов осуществлялось при помощи асфальтовой шпонки трапециевидного сечения (65-55) x 30 см, огражденной с верховой стороны напорной грани плотины бутовой кладкой толщиной 60 см, а с низовой стороны - медной диафрагмой. На расстоянии 1,75 м от напорной грани за шпонкой была расположена шахта диаметром 60 см, в середине которой устанавливалась медная пластина толщиной 2 мм. Шахта служила резервной полостью, которая в случае выхода из строя асфальтовой шпонки могла быть заполнена мастикой. На расстоянии 2,2 м располагались две дренажные трубы диаметром 30 см (рис. 6-18). Длительная эксплуатация данной конструкции уплотнения показала вполне удовлетворительную ее работу.

Уплотнение швов плотины Круц Дель-Эйе (Аргентина) обеспечивалось при помощи асфальтовой шпонки, огражденной с верховой грани медной диафрагмой [7]. Шов между оголовками контрфорсов заполнялся слоем ткани "целотекс" толщиной 12,5 мм, пропитанной битумом. Собственно уплотнение шва в плотине состояло из пружинящего медного листа толщиной от 0,7 до 1,25 мм, шириной 200 мм. За медной диафрагмой была расположена асфальтовая шпонка прямоугольной формы. Вставленная в шов трубка диаметром 25,4 мм на уровне основания уплотнения переходила из одного разделительного шва в следующий. Во время пропуска пара через трубки уплотняющая асфальтовая мастика плотно заполняла шахту шпонки. Вторая шахта, расположенная на расстоянии 20 см от низовой грани шва, служила коллектором для отвода профильтровавшейся воды (рис. 6-19).

В Италии и Тунисе для уплотнения температурных швов контрфорсных плотин применяются асфальтовые шпонки малого поперечного сечения с электронагревом, огражденные с напорной стороны железобетонными брусками и смотровыми колодцами или дренами с низовой стороны шва.

На некоторых плотинах (Яблонница, Сен-Пьер-Конье, Сарран, Сувианна, Обераар и др.) конструкция уплотнения швов выполнялась без дублирующих уплотнений, в связи с чем при выходе конструкции из строя ремонт ее был затруднен или вообще невозможен. Учитывая это обстоятельство, в послевоенные годы (с 1948 г.) стали устраивать в швах по несколько рядов одинаковых или разнотипных диафрагм (резиновые, поливинилхлоридные, медные, из нержавеющей стали) и бетонные пробки. Целесообразность таких решений подтверждается опытом эксплуатации ряда плотин, например, Гранд-Диксанс, Бау Муджерис и др. (рис. 6-11 и 6-15).

6-2. УПЛОТНЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ШВОВ В СООРУЖЕНИЯХ НА СЖИМАЕМОМ ОСНОВАНИИ

Резиновые и полимерные изделия

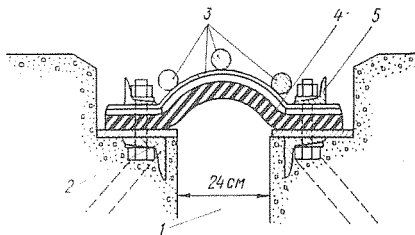
В продольных швах днищ камер шлюзов (Бухтарминской ГЭС, Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС, Воткинской ГЭС и других и по периметру внутреннего контура зданий Красноярской, Воткинской ГЭС и других при бетонировании блоков смежных секций в штрабы уплотнений закладывались уголки с выпущенными наружу болтами. Перед монтажом резины на шов между уголками наклеивали резину с заранее прорезанными для болтов отверстиями. Сверху резину прикрывали листами полосовой стали толщиной 10 мм и с помощью болтов крепили к закладным уголкам (рис. 3-18, а, б).

Из опыта Бухтарминской ГЭС следует отметить, что причина ненадежной работы резинового уплотнения заключается в неоправданном применении различного рода закладных частей из металла, в частности, уголков и металлических листов, которыми по существу уплотнение изолируется от бетона смежных секций. В данной ситуации резиновая лента надежно перекрывает шов, но вода фильтрует в обход уплотнения по контакту бетон-металл или через бетон. Это есть результат того, что при усадке бетона по контакту с закладной частью образуется щель, а бетон около закладной части трудно прорабатываем. В результате этого отмечается: а) сложность стыкования профильных резиновых уплотнений внахлестку болтами; б) неизбежность фильтрации воды в местах изгиба резины; в) трудность ремонта и замены резины из-за ржавления облицовочной стали и крепежных болтов. Кроме того, вследствие воздействия ржавчины листа на резину, происходит преждевременный износ резиновых лент.

При проектировании резиновых и полимерных лент это обстоятельство, по-видимому, не учитывается.

Рис. 6-20. Схема резинового контурного уплотнения машинного зала здания Воткинской ГЭС

- 1 - шов; 2 - уголок 65x65x7;
3 - арматурная сетка ϕ 6; 4 -
плоская резина толщиной 4 мм;
5 - уголок 100x100x10



На рис 6-20 представлена схема резиновых контурных уплотнений, выполненных в здании Воткинской ГЭС по внутреннему контуру помещений над отсасывающими трубами. Исследованиями резиновых уплотнений в период их устройства и эксплуатации на гидроузлах Воткинской ГЭС, Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС и других установлено, что резиновые диафрагмы, уложенные на изгибах наружных и внутренних контурных уплотнений, пропускают воду ввиду того, что в этих местах резиновая диафрагма не повсюду соприкасается с бетоном и плохо обрабатывается бетон, в результате чего образуются воздушные полости и раковины в бетоне. Подтверждением этому являлась перфораторная цементация, производившаяся для ликвидации проточек через уплотнение межсекционных швов камеры шлюза [77].

Долголетними исследованиями нами установлено, что уплотнения из резиновых профилированных диафрагм на наружных контурах сооружений (шлюзы Бухтарминской, Новосибирской, Воткинской, Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС и других гидроузлов) применимы в том случае, если температура района расположения гидроузла не падает ниже минус 35°C , в противном случае резина

трескается. Например, на шлюзе Бухтарминского гидроузла, расположенном в районе с континентальным климатом — жарким летом ($+35^{\circ}\text{C}$) и суровой продолжительной зимой (-43°C), резиновые уплотнения не были защищены от атмосферных влияний и потрескались. Кроме того, наличие на резиновом профиле монтажных отверстий для зажимных болтов явилось причиной ухудшения прочностных и противofiltrационных характеристик резины. Все это приводило к образованию трещин и фильтрации воды [6]. Аналогичные уплотнения, установленные в температурных швах камеры шлюза Новосибирской ГЭС, с учетом недостатков, выявившихся на Бухтарминской ГЭС, были защищены теплоизоляционными сборными плитами и оказались вполне удовлетворительными и достаточно стойкими. Уплотнения из резины на наружных контурах целесообразно применять в сооружениях, расположенных в районе с мягким климатом, и во всех случаях они должны быть защищены от воздействия ультрафиолетовых лучей и механических повреждений.

В районах с большими колебаниями температуры можно использовать авиационную резину, которая не теряет своих эластичных свойств при низких температурах (до минус 50°C). Применение такой резины для уплотнения деформационных швов было бы весьма эффективным для сооружений, расположенных в суровых климатических условиях.

Представляет интерес опыт применения профилированной резины для уплотнения деформационно-осадочных швов на плотине Империл (США), где наружные и внутренние уплотнения сделаны из резиновых профилированных лент (рис. 3-1, а, в). Наружное уплотнение состоит из резиновой полосы 13×150 мм, которая при помощи бронзовых болтов и прижимных стальных листов прикрепляется к закладным частям. В случае необходимости резиновая полоса может быть заменена новой.

После 20-летней эксплуатации уплотнения (см. рис. 3-18, б) было установлено, что увеличение жесткости резины не превышает 10%. Все резиновые уплотнения работали вполне удовлетворительно, несмотря на то, что было зарегистрировано землетрясение силой до 8 баллов, при этом относительное смещение одной секции против другой составило до 50 мм. В этом случае фильтрация воды через шов не наблюдалась [77]. Лабораторией Бюро мелiorации и ирригации США экспериментально доказано, что резиновое уплотнение шириной 23,0 см может эффективно обеспечивать водонепроницаемость швов шириной 50 мм.

Из результатов многолетних натурных наблюдений за резиновыми (каучуковыми) уплотнениями в течение 100 лет в Англии, более 60 лет в США, 50 лет в Чехословакии [46] и 18 лет в Советском Союзе показали, что долговечность резиновых уплотнений зависит от того, как резина будет защищена от воздействия ультрафиолетовых лучей, озона и минеральных масел. Отрицательным свойством резины является способность трескаться при действии низких температур и прямых солнечных лучей. Для предохранения резины от воздействия света и атмосферных влияний на ее поверхность нанесен холодный вулканизацией защитный слой тиоколовой мастики толщиной 1,6 мм, характеризующейся высокой атмосферостойкостью.

Асфальтовые уплотнения

Для первых в Советском Союзе крупных гидротехнических сооружений на сжимаемых основаниях конструкции уплотнений деформационных швов были заимствованы из зарубежной строительной практики. Так, для Нижне-Свирской плотины в качестве основных уплотнений швов принимались асфальтовые шпонки сечениям 20х20 см (без разогрева мастики) с ограждениями из просмоленных канатов в сочетании с металлическими диафрагмами. Все уплотнения дубли-

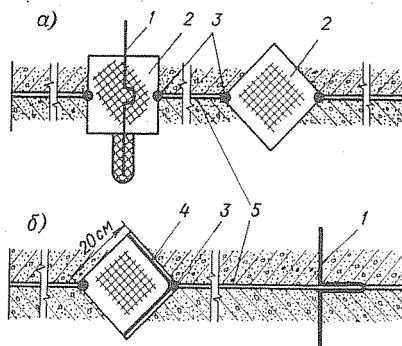


Рис. 6-21. Схемы уплотнений осадочного шва Нижне-Свирской ГЭС: а - на водосливной плотине; б - на здании ГЭС

1 - металлический лист с компенсатором;
2 - асфальтовая шпонка; 3 - просмоленные канаты; 4 - металлический лист; 5 - шов

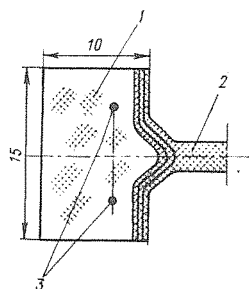


Рис. 6-22. Схема уплотнения осадочного шва Фархадской ГЭС (размеры в см)

1 - асфальтовая шпонка;
2 - битумматы; 3 - система электронагрева

ровались. Кроме того, со стороны верховой грани плотины швы перекрывались железобетонными брусками пятиугольного сечения. Наиболее надежными из ряда комбинаций оказались уплотнения в швах пролетов водосливной плотины с секторными затворами, где имелось по две асфальтовые шпонки (рис. 6-21, а). В течение многолетней эксплуатации сооружений эти уплотнения вполне себя оправдали. Течи через швы отмечено не было, за исключением шва между зданиями ГЭС и водосливной плотинной, где наблюдалась фильтрация воды. Из некоторых швов здания ГЭС, особенно в летний период, внутрь помещения поступала черная жидкость, появление которой было связано с выдавливанием смолы из канатов и битума асфальтовых шпонок.

На Фархадской ГЭС, построенной в 1930 г. и расположенной на непрочных конгломератах, для уплотнения швов шитовой стенки применялись асфальтовые шпонки малого поперечного сечения (рис. 6-22). Для асфальтового заполнения шпонки предусматривался электронагрев (впервые в Советском Союзе). Эти уплотнения работают удовлетворительно в тех швах, где не произошло значительных смещений сопрягаемых секций. При горизонтальных же смещениях секций с раскрытием шва более чем на 1 см, уплотнения расстраивались и выходили из строя.

Из опыта проектирования, строительства и эксплуатации уплотнений осадочных швов в сооружениях, расположенных на сжимаемых основаниях, например на канале имени Москвы, на Волгострое (Иваньковский, Шекснинский, Рыбинский, Угличский гидроузлы), на Каховском, Новосибирском, Воткинском и других гидроузлах, установлено, что ширина швов и их уплотнения по высоте сооружения даже при одинаковых геологических условиях и напорах принимались различными и устраивались по-разному.

Уплотнение широкого шва делалось в деревянной опалубке железобетонных коробах или плитах, перекрывалось с напорной и низовой стороны железобетонными шандорами высотой 25-40 см и заполнялось асфальтовой мастикой (Каховская, Волжская имени В. И. Ленина ГЭС). На установку опалубки и железобетонных шандоров, на разборку опалубки требовались значительные затраты труда (см. § 5-4). Особенно трудно было выдержать точные размеры шахт и их закладных элементов при большой высоте бетонируемого блока. Вследствие этого уплотнения имели ряд существенных недостатков: 1) неплотное прилегание железобетонных шандоров к пазам, которое являлось причиной утечки асфальтовой мастики; 2) асфальтовые маты, которыми оклеивалась поверхность шандоров для уплотнения против вытекания мастики, при заливке шахты горячей асфальтовой мастикой (150-180° С) с высоты 10-15 м часто обрывались и в скрученном виде оставались в шахте [77].

Уплотнение узкого шва делалось при помощи шахты-шпонки (100x80 см), выполняемой в деревянной опалубке или железобетонных коробах с внутренними ограждающими металлическими листами, поддерживаемыми деревянными рейками с верхней и нижней сторон, с наклеенными с двух сторон битумматами. При заливке горячей асфальтовой мастики маты отклеивались от листов, а листы отходили от стенки шахты и образовывали так называемый "плавающий" лист (см. рис. 3-9).

Так как горизонтальные асфальтовые (рис. 3-12) шпонки устанавливались на границе густоармированных армоблоков, то для их установки нередко приходилось разрезать арматуру армоблоков. Заливка асфальтовой мастики в узкий шов, шириной 25 см, при наличии армоблоков является практически неконтролируемой работой, особенно

после установки бруса. Вследствие этого в уплотнениях возможно образование пустот.

Плохое сопряжение уплотнения вертикальных шахт с горизонтальными у основания сооружения и в местах перехода узкого шва в широкий (рис. 3-11,а) приводило к расстройству всей системы уплотнений в целом. Примером могут служить уплотнения здания Каховской ГЭС.

При неравномерной осадке секции корыто горизонтального уплотнения давало трещины, а доска деформировалась. Это вызывало нарушение сопряжения между вертикальными и горизонтальными асфальтовыми уплотнениями. Вследствие этого под действием гидростатического давления фильтрационного потока вначале вытеснялась мастика из горизонтальной, а затем из вертикальной шпонки. В кабельной галерее здания ГЭС, где горизонтальные уплотнения перекрывались деревянными брусками, подвергавшимися гниению, происходило заполнение галереи асфальтовой мастикой и песчаным грунтом из подошвы основания [7].

Для предотвращения этого горизонтальное уплотнение было реконструировано. Реконструкция заключалась в пробуривании бетона для закладки анкерных болтов. После закладки болтов на них было наведена арматурная сетка и уложена бетонная подушка толщиной 20 см, разрезанная вдоль галереи по оси осадочных швов. Опыт эксплуатации реконструированных уплотнений показал их надежность. Вытекание асфальтовой мастики в кабельную галерею прекратилось.

Внутренние конструкции уплотнения (горизонтальные и вертикальные) по периметру смотровой галереи выполнялись при помощи металлических листов с прижимными железобетонными брусками. Из-за сложности конструкции проведенные большие ремонтные работы оказались ненадежными и не устранили полностью фильтрацию воды. В 1967 г. осадочные швы были зацементированы, в результате чего фильтрация воды снизилась с 35 до 2,0 л/с.

Контурные шпонки вокруг галерей в здании ГЭС и в водосливной плотине Воткинского гидроузла, поперечным сечением 20х20 см, заполненные асфальтовой мастикой и соединенные с трубами подпитки, имели смонтированные электроды только в трубах подпитки (рис. 3-19,в). Натурные испытания при длительной эксплуатации сооружения показали, что эта конструкция, несмотря на ее оригинальность, является сплошной и не обеспечивает герметизации шва — пропускает воду в количестве 5-15 л/с.

В течение 1967-1972 гг. прогрев труб подпитки для дополнения контурных шпонок асфальтовой мастикой не производился, так как оказался неэффективным.

Уплотнения из просмоленного каната для перекрытия узкого осадочного шва выполнялись в штрабе трапециевидного сечения, оставляемой при бетонировании секций первой очереди. Затем после снятия опалубки, очистки и окраски бензино-битумным раствором штрабы в ней устанавливался канат и крепился скрутками из проволоки, после чего производилось бетонирование блока смежной секции.

При опускании в штрабу канат неплотно прилегал к ее стенке, провисая между скрутками, и сильно загрязнял битумом армоконструкцию блока. Кран, обслуживавший установку каната, использовался непроизводительно; наращивание каната (стыковка) была затруднительной, особенно зимой, что приводило к образованию разрывов или неплотностей в стыках.

Контурные уплотнения для перекрытия узких и широких деформационных швов между секциями плотин ГЭС со стороны напорной и низовой граней устраивались в виде шахты сложной конфигурации, заполненной железобетонным брусом. (см. рис. 3-16). По проекту уплотнения должны были выполняться следующим образом: до бетонирования смежных секций устанавливается опалубка по конфигурации бруса, после бетонирования секций поверхность штрабы окрашивается горячим битумом за 2 раза. Затем краном в штрабу устанавливают железобетонные брусья, обернутые двумя слоями битумматов, просмоленным войлоком или другими гидроизоляционными материалами. Эти брусья вставляются в металлические обоймы с низовой стороны. Ввиду сложности и трудоемкости выполнения данного уплотнения строители заменили сборной железобетонный брус на монолитный [6,7].

Натурные испытания контурных уплотнений, проведенные на строительстве Каховской ГЭС [7], показали, что конструкция из просмоленных канатов, железобетонных и деревянных брусьев при малейших деформациях сооружения расстраивается и пропускает воду.

Проведенные опытные цементации показали, что фильтрационный расход через такие уплотнения достигал 0,5-1,35 л/с с 1 м шпонки. Аналогичные результаты были получены при цементациях на правобережной подпорной стенке здания Кременчугской ГЭС [7].

Значительные затруднения встречались на Каховской ГЭС при устройстве узкого шва шириной 4 см с помощью послойной оклейки поверхности шва двумя-четырьмя слоями асфальтоармированных матов. В процессе бетонирования маты нередко отрываются. Извлечение их из бетонной смеси, разравнивание и последующая навеска на место - очень трудоемкая работа.

В проекте были предусмотрены плиты из асфальтовой плитки размером 50х50х4 см, которые должны были быть без наклейки

устанавливаться при бетонировании, но из-за большой трудоемкости устройства специальных лесов от плит пришлось отказаться [77].

Значительные затруднения возникали и при производстве рулонных гидроизоляционных работ по шлюзу, выполняемых двумя способами. Поверхности швов между секциями камеры шлюза при первом способе окрашивались горячим битумом БН-Ш за три раза, затем оклеивались двумя слоями рубероида. При разогреве блока слой рубероида сползал по поверхности шва и образовывал пузыри. При втором способе наклейка гидроизоляции производилась после разогрева окрашенной поверхности шва паяльными лампами. Установка сборных железобетонных шандоров высотой 40 см в 4-5 ярусах перед бетонированием примыкающей секции (Каховской ГЭС, Волжских ГЭС имени В. И. Ленина и XXП съезда КПСС) требовала монтажной арматуры и крепления ее на высоте.

Наша рекомендация выполнять шахты асфальтовой шпонки из сборного железобетонного короба на строительстве Каховской ГЭС [77] внедрена вначале на Волжской ГЭС имени XXП съезда КПСС, затем на строительстве Воткинской ГЭС, где, в отличие от первых случаев, для разогрева мастики вместо паронагрева применен электронагрев, и сборные железобетонные короба выполнены высотой 2,0-4,0 м, а шандоры - бетонные короба выполнены высотой 2,0 м.

Благодаря увеличению размеров короба и шандоров значительно уменьшилось число стыков между ними и улучшилось качество монтажа. Для лучшего сцепления монолитного бетона блоков с наружными поверхностями коробов проектом предусматривалось устройство "шубы" из щебня, утопленного в бетон короба. Применялась также обработка поверхностей коробов пескоструйным аппаратом перед установкой их в блок бетонирования.

Для предотвращения фильтрации по контакту короба с бетоном блока применялись металлические листы, заделанные в короб. Кроме того, при бетонировании блоков, примыкающих к коробам, особое внимание обращалось на тщательность проработки бетонной смеси.

Общими недостатками асфальтовых шпонок со стационарным электронагревом является невозможность восстановления системы электронагрева в шпонках в процессе эксплуатации, в случае разрыва ее в стыковках электродов.

В период эксплуатации сооружений Воткинского гидроузла (1961-1972 гг.) уплотнения швов работают удовлетворительно. Фильтрация воды незначительна.

Опыт эксплуатации уплотнений осадочных швов Каховского гидроузла (1956-1972 гг.) показывает, что некоторые асфальтовые уплотнения не обеспечивали водонепроницаемости шва. Наблюдалась

фильтрация воды в виде струй и выход асфальтовой мастики в сторону верхнего и нижнего бьефов.

На Волжской ГЭС имени В. И. Ленина и Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС шахты шпонок выполнялись из нескольких разновидностей сборных железобетонных плит (рис. 6-23). По высоте шахты в стыках железобетонных плит не исключалась возможность образования пустот и щелей. Швы между плитами до заполнения шпонки асфальтовой мастикой не заделывались. Кроме того, некоторые шахты бетонировались в деревянной опалубке с большими отступлениями от вертикальной плоскости, что не позволяло плотно

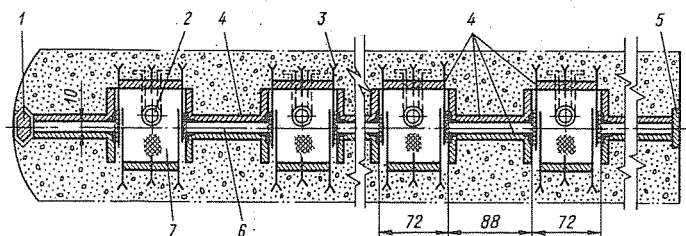


Рис. 6-23. Схемы уплотнения осадочного шва плотины Волжской ГЭС имени В. И. Ленина (размеры в см)

1 - железобетонный брус; 2 - труба паронагрева; 3 - металлические ограждающие листы; 4 - сборные железобетонные плиты; 5 - железобетонные доски; 6 - осадочный шов; 7 - асфальтовая шпонка

установить железобетонные шандоры и проконопатить их торцы и стыки.

Опыт эксплуатации Волжской ГЭС имени В. И. Ленина показал, что конструкция асфальтовых шпонок, выполненная из нескольких сборных плит и шандор (высотой 40-50 см), плоха, так как через стык между ними вытекает мастика, что дает большую осадку мастики. Утечки асфальтового заполнения для некоторых шпонок здания ГЭС показаны в табл. 6-1.

Периодическая доливка мастики в отдельных асфальтовых шпонках доходила по высоте от 5,8 до 19,3 м за 4 месяца, несмотря на то, что разогрев асфальтовой мастики в шпонках не производился. При этом не исключалась возможность застывания мастики в шпонке и прорыв ее. При разогреве асфальтовой мастики для освобождения шпонки от застывания может произойти авария, так как при увеличении подвижности мастики последняя может быть выжата из шпонки в еще больших объемах.

Таблица 6-1

Усадки асфальтовых заполнений на некоторых шпонках
здания Волжской ГЭС имени В.И. Ленина

№ шва секции	Со стороны напорной грани			Со стороны нижнего бьефа	
	Отметка асфаль- товой мастики на 20/УШ 1958 г., м	Осадки асфальтовой ма- стики (м) за периоды		Отметка асфальтовой мастики на 20/УШ 1958 г., м	Осадки асфальтовой мастики (м) за период с УІ по X 1957 г.
		с УІ по X 1975 г.	с У по УШ 1958 г.		
0-1	154,40	11,5	1,05	139,55	5,0
1-2	155,00	14,9	1,60	139,75	3,0
3-4	155,90	14,5	1,70	140,00	4,5
7-8	154,50	4,80	1,50	140,60	1,7
8-9	155,0	19,30	0,50	140,40	2,7
9-10	155,0	18,15	0,80	140,50	2,2

В межсекционных осадочных швах наблюдалось интенсивное поступление воды, которая фильтровалась, в основном, в обход шпонки по контактам между сборными железобетонными плитами и монолитным бетоном, по швам между сборными плитами шахт, через пустоты в монолитном бетоне полубыков, а также из-за засорения плоскости шпонки строительным мусором.

Величина фильтрации через шпонки со стороны напорной грани колебалась в пределах 1,0-30 л/с, со стороны нижнего бьефа 1-2 л/с. Для предупреждения затопления здания гидроэлектростанции на отдельных швах были установлены специальные глубинные насосы, которые значительно понизили уровень воды в шахтах.

Качество выполнения асфальтовых шпонок на водосливной плотине значительно выше, нежели в здании гидроэлектростанции. Поэтому фильтрация воды через шпонки здесь немного ниже. Наибольшая утечка асфальтовой мастики наблюдалась на одной шпонке 2-го ряда. За период с 10 У по 10 IX 1957 г. максимальная осадка мастики составила 1,76-1,83 м.

Эксплуатация уплотнения осадочных швов на шлюзе показала, также ряд недостатков: а) заливка асфальтовой мастикой полостей шпонок производилась после бетонирования блоков в 2-3-х ярусах. Получение качественной заливки не гарантировалось, так как в полостях шпонок частично мог оставаться строительный сор. Но все шпонки были залиты до проектных отметок; б) в некоторых швах между секциями камеры наблюдался струйный выход воды, что давало

основание предполагать, что фильтрация идет через асфальтовые шпонки, так как шахта недостаточно очищалась от строительного сора перед заливкой мастикой.

В результате фильтрации воды со стороны основания сооружения, вызванной неравномерной осадкой межсекционных блоков и нарушением конструкций донных уплотнений, наблюдался вынос частиц грунта в полость осадочного шва между секциями. Благодаря выносу грунта в основании сооружения образовалась яма. В некоторых смотровых шахтах при наполнении камеры вода поднималась на высоту до 2,5 м, а в отдельных шахтах это повышение доходило даже до 7–8 м. При откачке камеры шлюза в одной шпонке обнаруживалась фильтрация воды через осадочный шов между секциями. В одной шпонке был сорван защитный металлический лист и под оставшимися элементами простукивалась пустота. Доливка шахтных шпонок асфальтовой мастикой производилось без разогрева.

Уплотнение швов плотины Донебек (ГДР) высотой 13,5 м, построенной в 1937 г., выполнено в виде асфальтовой шпонки сечением 20х20 см, расположенной на расстоянии 1,0–2,2 м от напорной грани. Шпонка ограждена медными диафрагмами, края которых заделаны в блоках смежных секций бетонированием. За шпонкой устроена дрена диаметром 15 см для сбора и отвода профильтровавшейся воды в нижней бьеф [24].

Деформационные швы камер шлюза Эймонде (Голландия) высотой 23,8 м, построенного в 1923 г., с речной стороны уплотнялись асфальтовыми шпонками $\varnothing 14$ см, а с тыльной стороны предусматривались дрена поперечным сечением 15х12 см. Внутри, по середине между асфальтовой шпонкой и дрена, проходят медные листы спиралеобразной формы. Края листов заделаны в бетон смежных секций.

6.3. УПЛОТНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-УСАДОЧНЫХ ШВОВ АРЧНЫХ ПЛОТИН

Резиновые и полимерные уплотнения. В арочной плотине Мовуазен (Швейцария) уплотнение представляет собой толстую резиновую полосу, установленную в смотровой шахте диаметром 1,2 м и закрепленную на фасонных чугунных вкладышах, заанкеренных в бетон. Резиновая полоса прижата к фасонным вкладышам болтами через стальные пластины. Наружная грань плотины вблизи шва облицована листами нержавеющей стали, ширина которых определялась с учетом воспринимаемого сооружения напора воды. В случае необходимости замены резиновой пластины цилиндрическая полость, образуемая

вкладышами перед резиновой полосой, может быть заполнена мастикой (рис. 6-24) [7].

В плотине Менжил (Иран) уплотнение температурно-усадочных швов достигалось резиновыми профилированными лентами и медными диафрагмами (рис. 6-25), устанавливаемыми на расстоянии 385 и 310 см от напорной грани [7].

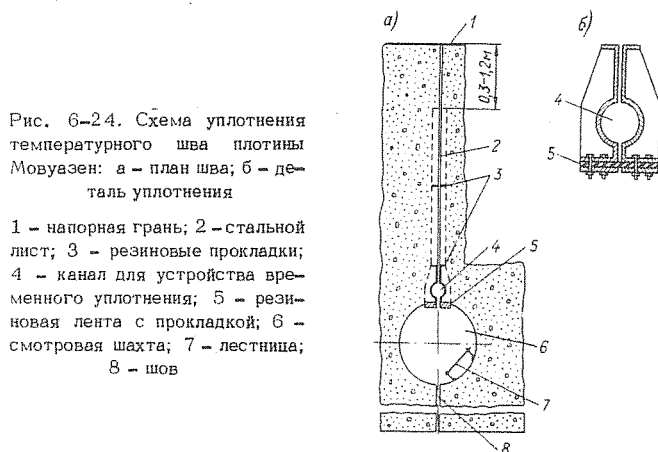
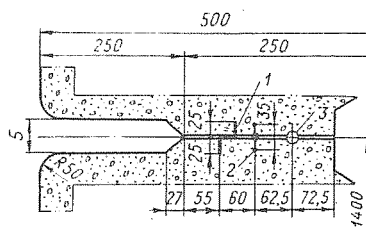


Рис. 6-25. Уплотнение температурного шва контрфорсной плотины Менжил (размеры в см)

1 - медная диафрагма; 2 - резиновая диафрагма; 3 - дрена



Диафрагмы из металлических листов. Уплотнение временных швов арочно-гравитационных плотин производилось таким образом: 1) в пределах гравитационной части плотины швы уплотнялись медными диафрагмами с последующей их цементацией; 2) в пределах арочной части плотины широкие усадочные швы уплотнялись штрабным бетоном. После установления внутри тела плотины среднегодовой температуры района расположения сооружения, в холодное время года, полость температурного шва между верховым и низовым уплотнениями подвергалась цементации.

Водонепроницаемость радиальных швов секций средней шириной около 9,5 м в арочной плотине Спеккери (Италия) обеспечивалась на половине высоты (88 м) от ее основания сдвоенными медными листами шириной 50 см; выше этой высоты ограничивались лишь одним листом через каждые три секции, остальные швы секций окрашивали битумом, добиваясь таким образом некоторого скольже-

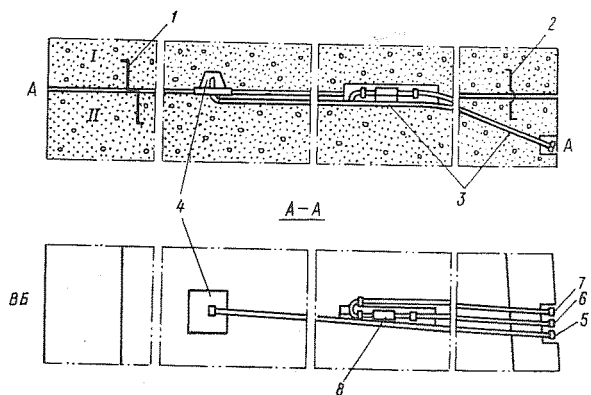


Рис. 6-26. Уплотнение температурно-усадочных швов арочно-гравитационных плотин Спеккери (Италия)

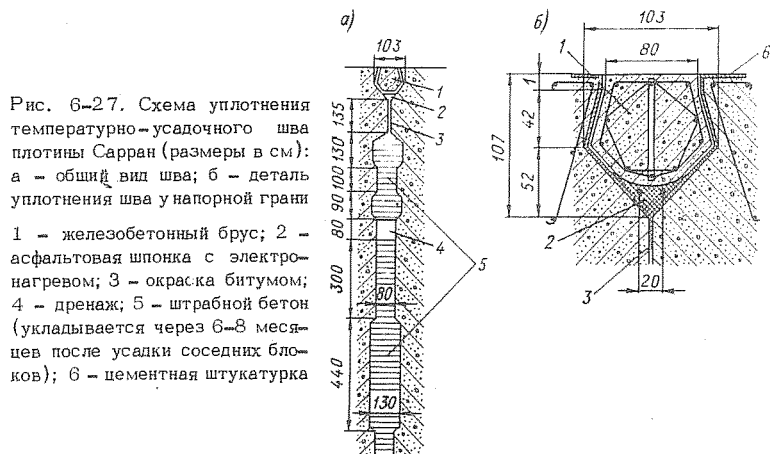
- 1 - медный лист; 2 - металлический лист; 3 - труба 3/4" для подачи цементационного раствора; 4 - цементационная галерея;
- 5 - первая подача раствора; 6 - вторая подача; 7 - возврат;
- 8 - цилиндрический цементационный клапан из микропористой резины

ния при контакте с бетоном. Со стороны нижнего бьефа устанавливалась металлическая лента шириной 20 см, препятствующая выходу цементационного раствора. (рис. 6-26).

Асфальтовые уплотнения

В США при строительстве арочных плотин уплотнение временных усадочных швов обеспечивалось устройством асфальтовых шпонок малого сечения (15x15 см), огражденных с напорной стороны железобетонным брусом. Примером такой конструкции уплотнения может служить плотина Спалдинг. Кроме данной конструкции, в качестве уплотнения усадочных швов использовались медные

диафрагмы, устанавливаемые у напорной грани, и асфальтовые шпонки малого сечения (15х15 см) с трубой для паронагрева асфальтовой мастики. В промежутке между верховым и низовым уплотнениями устраивалась дрена диаметром 10 см (плотина Пакоима высотой 122 м). В других случаях низовое уплотнение выполнялось в виде асфальтовых шпонок сечением 20х20 см. Для разогрева материала заполнителя шпонок на плотине Диабло использовали паронагрев, а на плотине Гувер – электронагрев. Асфальтовые шпонки ограждались



с верховой стороны медными диафрагмами, а с низовой – стальными. С напорной стороны усадочный шов уплотнялся медными диафрагмами. Между асфальтовой шпонкой и верховым уплотнением устанавливалась труба диаметром 45 мм для инъекции цементного раствора после достижения внутри тела плотины среднегодовой температуры района сооружения. Известно, что в течение 25-летней эксплуатации такие уплотнения работают вполне удовлетворительно [7] (плотины Гувер, Диабло высотой 121 м).

На плотине Сарран со стороны напорной грани усадочный шов закрыт железобетонным брусом пятиугольного сечения, за которым устроена треугольная асфальтовая шпонка с электронагревом (рис. 6-27). В период эксплуатации этой плотины в двух швах в пределах верхних отметок, была обнаружена фильтрация воды (до 0,6 л/с). В остальных швах наблюдалось частичное просачивание воды. Основной причиной фильтрации воды в швах следует считать

неудачное расположение асфальтовых шпонок у напорной грани, где они подвергались воздействию резких колебаний температуры наружного воздуха.

6-4. РАЗОГРЕВ АСФАЛЬТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ШПОНКАХ

Вследствие деформаций сооружений или дефектов производства работ при подготовке и заливке полости шпонки асфальтовым материалом наблюдаются различные нарушения уплотнений (утечка части асфальтового материала из полости шпонки и образование в ней пустот, возникновение трещин при отрицательной температуре, отрывы мастики от стенок шахты и т. п.). Восстановление нормальной работы шпонок может быть достигнуто лишь путем разогрева асфальтового материала, т. е. обеспечения такой степени его подвижности, чтобы под влиянием собственного веса или искусственно создаваемого давления он заполнил все имеющиеся пустоты, щели, каверны, выдавив находящиеся в них воду и воздух.

Как в отечественной, так и в зарубежной практике проектирования и строительства гидротехнических сооружений для разогрева асфальтового материала в шпонках, в основном, применяют три способа: разогрев паром, горячим воздухом и электрическим током.

В первых двух способах разогревающие устройства представляют заложенные в полости шпонки по всей ее длине и надежно закрепленные U-образные или вставленные одна в другую металлические трубы, через которые пропускается горячий пар или нагретый воздух, а в третьем способе — это сплошные или трубчатые электроды обычно U-образной формы, образующие непрерывные электрорезисторные цепи, по которым пропускается электрический ток.

Разогрев асфальтовой мастики с помощью трубчатого коаксиального нагревателя не связан с конструкцией шпонки. Однако такие нагреватели до настоящего времени не получили широкого распространения из-за ограниченной их длины. Они используются лишь для ремонтного обогрева верхней части шпонки.

Из зарубежных гидротехнических сооружений, имеющих конструкции для паробогрева шпонок, можно указать на такие, как плотины Асуанская (Египет), Рокельсаль (Италия), Рамет-Ивоэ (Франция), Дьябло и Аскоима (США), а также некоторые контрфорсные плотины в Шотландии; из отечественных — сооружения Днепровской ГЭС, Верхне-Волжские гидроузлы (Рыбинский, Угличский, Шекснинский), Волжская ГЭС имени В. И. Ленина, Каховская, Павловская, Новосибирская ГЭС и многие другие. Конструкции для электронагрева

шпонок применены в плотинах: Гувер (США), Сарран (Франция), Понтано д'Авио, Бау Муджерис, Саббионе (Италия), на ГЭС Бхакра (Индия) и некоторых других, а также на Нарвской, Нивской-3, Усть-Каменогорской, Воткинской ГЭС, Нижне-Сви́рском шлюзе, Фархадской, Братской, Плявинской ГЭС и других - в СССР.

Опыт эксплуатации электростанций показал, что паронагрев или вовсе не действовал вследствие невозможности пропустить через трубу пар, или, где это удавалось, паронагрев не давал должного эффекта из-за конденсации пара и скопления в трубах воды. Как выяснилось в дальнейшем, невозможность пропустить пар через трубы нагрева являлась следствием образования в них пробок асфальтового материала, просочившегося через неплотности соединений труб. Это почти всегда происходило в глубоких шпонках, где число муфтовых или фланцевых соединений достаточно велико. Даже в тех случаях, когда на гидротехнических сооружениях гидроэлектростанций предусматривались и осуществлялись устройства для паронагрева шпонок, они или переделывались в конструкции для электронагрева (Новосибирская, Кременчугская ГЭС), или использовались как "электрокипятильник" (Каховская ГЭС) [7].

Практика применения даже первых конструкций электронагрева шпонок показала, что в условиях строительства и эксплуатации гидроэлектростанций он является наиболее простым.

Опытные данные по разогреву шпонок

Разогрев асфальтовых шпонок на Днепро́вской гидроэлектростанции имени В. И. Ленина предусматривался при помощи пара, подаваемого от паровозного котла. В период эксплуатации сооружения были обнаружены указанные выше недостатки и паронагрев не мог быть осуществлен. В связи с этим его пытались заменить обогревом при помощи горячего воздуха еще в 1940 г., но это не имело успеха.

В 1951 г. была предпринята попытка разогрева мати́ки в шпонках горячим воздухом. Для этого непосредственно в битум опускали U-образную трубу диаметром 12,7 мм, через которую пропускали разогретый до 100°С воздух. Этот опыт оказался неудачным. В 1954 г. было произведено несколько попыток разогреть шпонки путем опускания в них электроиглы, смонтированной из четырех звеньев труб диаметром 38 мм, длиной 1,5 м каждое. Электроигла хорошо нагревалась, но в шпонку не шла из-за наличия в ней цементного раствора и кусков арматуры. Наконец были пробурены скважины, в которые опускалась электроигла. Все указанные мероприятия не дали удовлетворительных результатов.

Как показал опыт первого и последующих лет эксплуатации Новосибирского гидроузла, электронагрев шпонок не дал удовлетворительных результатов; если эксплуатационники и внедряют для обогрева некоторых шпонок в здании ГЭС вместо паропрогрева (по проекту) — электронагрев, то на камере шлюза электронагрев шпонок не производится.

Вследствие частых выходов из строя электронагревателей зимой многие шпонки вообще не могли быть разогреты, что послужило причиной протечек битума.

Аналогичные картины наблюдались на Каховской ГЭС. Нагрев асфальтовой мастики при помощи пропуска пара через трубу из-за отсутствия на гидростанции паросиловой установки не выполнялся. Нагрев мастики производился путем заливки воды в трубу и подогрева воды электрическими кипятильниками. Положительный результат указанным способом не был достигнут, так как часто образовывались паровые пробки [7].

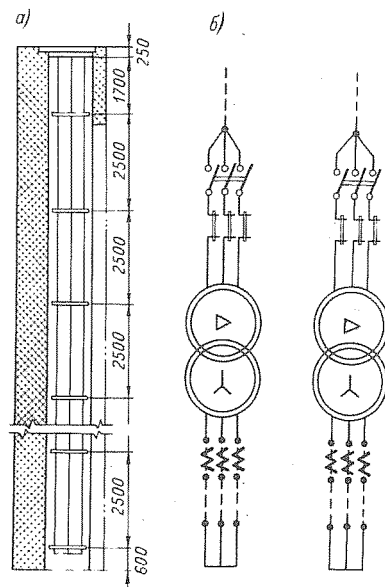
Разогрев асфальтовой шпонки глубиной 34 м в здании Кременчугской ГЭС производился с помощью шести электродов из круглой стали диаметром 18 мм, подключаемых к двум трансформаторам ТМО-50, 380/60 В (рис. 6-28). После установки и соединения электронагрева перед заливкой шпонки производилась проверка цепи прозвониванием. В начале разогрева асфальтовой мастики нагревание шло вокруг электрода по всей глубине шпонки одинаково. Постепенно зона прогрева вокруг электрода расширялась до соединения с соседними зонами. Температура нагрева вокруг электродов была 120–150°С, а к центру шахты шпонки уменьшалась до 65°С. После отключения трансформаторов температура выравнивалась в течение 12–24 ч. Исследованием было установлено, что средний расход электроэнергии для прогрева 1 м шпонки (сечения 80×100 см) составлял около 2,4 кВт·ч.

Последующий профилактический разогрев асфальтовых шпонок производился в 1961 и 1964 гг. Прогрев продолжался 30–36 ч. Глубина прогретой мастики контролировалась с помощью груза (гири 200 г), опускаемого на проволоке в мастику. После подключения электронагрева к источнику питания вышли из строя электроды нескольких уплотнений, так как внутри шпонки звенья электродов соединялись с помощью болтов, а при остывании электрода между болтовыми соединениями образовалась щель, которая заполнялась расплавленным битумом, изолируя электроды, нарушая контакт между ними.

Для разогрева материала заполнителя на Воткинской ГЭС (см. рис. 1-10) каждая шпонка имела свою индивидуальную схему электронагрева. Монтаж U-образных электродов диаметром 16 мм в

шпонке производился при помощи держателя, заделанного в шандоры в процессе их изготовления. Электроды пропускались через проходные изоляторы и закреплялись держателями через 0,75–1,0 м по высоте шпонки. Электроды на дне шпонки опирались на опорный изолятор. Между собой звенья электродов стыковались ванной сваркой, при этом было обращено внимание на тщательность стыковки в целях

Рис. 6-28. Схема электронагрева асфальтовых шпонок в сооружениях Кременчугской ГЭС: а – общий вид; б – схема электрических соединений электронагрева (размеры в мм)



исключения разрыва цепи в период эксплуатации. Несмотря на это при разогревании в процессе эксплуатации выявилось, что некоторые электроды в трубах подпитки, служащие для пополнения мастики контурных асфальтовых шпонок вокруг галереи и в здании ГЭС и водосливной плотины, оказались вышедшими из строя. Опорные и проходные изоляторы выполнялись из асбоцемента.

Конструкция электронагрева на Братской ГЭС состояла из двух U -образных стержней диаметром 20 мм, устанавливаемых в 10 см от стенок шахты по всей ее высоте (см. рис. 3-10). Электроды были соединены попарно перемычками у дна шахты параллельно шву и образовали две U -образные электрические цепи длиной 132 м каждая. Электроды с помощью специальных держателей крепились к закладным частям, установленным в стенках шахты через три метра по высоте.

Выбор шпонки для испытаний [7] был обусловлен тем, что при сооружении плотины в трех сечениях этой шпонки на глубине в 1; 23,0 и 41,5 м были заложены динамометры (для измерения давления в мастике), термометры сопротивления и термодары для измерения температуры асфальтового материала при электронагреве шпонки. Для питания электродов током были установлены два понижающих трансформатора типа ТМО-50. Включение и выключение тока производилось одновременно для обеих цепей электродов от общего рубильника, установленного со стороны высокого напряжения, питающего оба трансформатора ТМО-50.

При натурных испытаниях разогрева заполнителя асфальтовых шпонок на Братской и Нарвской ГЭС, произведенного ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева [7], установлено, что:

1) после включения тока вокруг электродов образовались зоны расплавленной мастики, которая пенилась и поднялась через 20 ч до верха шпонки (на 1 м выше начального уровня). На поверхность мастики всплывал мусор (опилки, щепки, тряпки);

2) при кратковременных перерывах прогрева пенообразование и выделение пара постепенно затухало и уровень мастики падал. При длительных перерывах и сильном морозе образовалась поверхностная корка замерзшей пены, под которой накапливалась вода слоем 40-50 см. После окончания прогрева и остывания мастики слой воды увеличивался до 2,25 м;

3) обнаруживалось наличие электрической связи электродов с арматурой бетона, а также замыкание цепей электродов в шпонке посторонними токопроводящими телами.

При обследовании (21/УП 1964 г.) установлено, что система электронагрева в 23 асфальтовых шпонках не действует. Сейчас число таких шпонок превысило 30. Причинами выхода из строя электронагрева являются отсутствие контакта между цепями, замыкания на землю и т. п.

Предложенная нами переносная сборно-разборная конструкция электронагревателя (рис. 3-23) прошла промышленные испытания (§ 3-8) вначале на Кременчугском гидроузле для разогрева заполнителя асфальтовой шпонки сечением 80x100 см, затем на Братской ГЭС. При испытании электронагревателя на Братской ГЭС питание осуществлялось переменным током 360-420 А и напряжением в электродах 6-14 В от двух сварочных трансформаторов ТС-500, соединенных параллельно между собой.

Параметры тепловых свойств электронагревателя: ток измерялся аппаратом Э305а с трансформатором тока УТТ-5 с коэффициентом трансформации 600/5, напряжение измерялось вольтметром М-330 с выпрямительным мостом на диодах Д7Ж; сопротивление измерялось

одинарным мостом Р-333. Замер температур прогреваемой асфальтовой мастики производился при помощи тарированных термометров сопротивлений. Прогрев заполнителя асфальтовой шпонки производился по глубины 60 м.

В процессе электронагрева установлено:

1. Электронагреватель устойчив в работе. Размягчение мастики вначале происходит в радиусе 30-40 см на всю глубину опускания секции нагревателя, затем оно распространяется по всей площади поперечного сечения шпонки.

2. Скорость нагружения электронагревателя в мастике зависит от силы тока, как например, при 380-400 А она колеблется в пределах 44-55 см/ч.

3. При плохом контакте секций электродов между собой происходит замедление погружения электронагревателя в шахту шпонки.

4. В процессе разогрева асфальтовой мастики в шпонке секции 23-24 произошло оседание мастики за счет ее уплотнения и выжимания из нее воды на глубину до 2,0 м.

При испытании электронагревателя обнаружено, что: а) муфтовые соединения труб должны быть снабжены контргайками с обеих сторон для уплотнения резьбы от проникновения воды и мастики; б) для устранения контактного соединения отдельных секций сердечника 2 (рис. 3-23) необходимо при монтаже устанавливать между ними шайбу из латунного листа $\delta = 3$ мм, диаметром, равным без резьбы внутреннему диаметру соединительной головки сердечника.

Натурными испытаниями установлено, что оптимальный диаметр электронагревателя для разогрева заполнителя должен быть для асфальтовых шпонок сечением 100x90 см в 75,2 мм и для асфальтовых шпонок сечением 40x60 см - в 50,2 мм.

Электронагрев асфальтовых шпонок Плявиньской ГЭС производился по сложной схеме (рис. 6-29), состоящий из 27 отдельных самостоятельных цепей, для которых предусмотрено 7 подключений к сварочным трансформаторам ТД-1000-3, мощностью 76 кВ·А и к трансформаторам СТЭ-34У, мощностью 30 кВ·А. Общая потребляемая мощность для одновременного электронагрева шпонок примерно 800 кВт. По данным гидроцеха, система электронагрева работает удовлетворительно. Опытный прогрев шпонок перед вводом сооружения в эксплуатацию показал надежность их работы: в течение 2,5-3,0 суток можно было разогреть нужную шпонку до 40-50° С.

Представляет интерес устройство электронагрева асфальтовых шпонок в зарубежных странах. На плотине Сарран (рис. 6-27) в качестве нагревателя шпонки был принят U-образный электрод, сплетенный из двух гальванизированных железных проволок диаметром 5 мм. Прогрев шпонки в нижней ее части, находящейся постоянно

под водой, почти в одинаковых температурных условиях, производился очень тщательно при бетонировании уплотняющего бруса. К концу этой операции ток пропусклся в течение 48 ч с постепенным уменьшением разности потенциалов, составлявшей в начале разогрева 1 В на 1 м провода. Это позволило сохранить вокруг нагревателя жидкую зону битума и сосредоточить усадку его во внешней поверхности призмы. В верхней части шпонки, в условиях эксплуатации ежегодно выходящей из воды, обогревательные провода последних

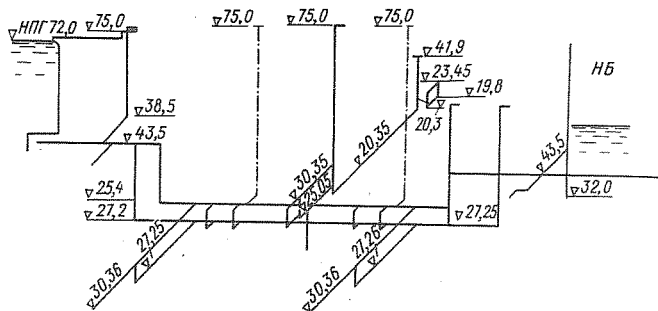


Рис. 6-29. Схема электронагрева асфальтовых шпонок здания Плявиньской ГЭС

18 метров шпонки, заполненной битумом марки БН-1У, использовались лишь в случае обнаружения утечки воды через эту часть плотины. После заполнения водохранилища система уплотнения швов работала безукоризненно [7].

Следует отметить, что на итальянских плотинах Понте д'Авио, Бау Муджерис и Саббине (рис. 6-15) асфальтовые шпонки поперечными сечениями 14х14 и 15х20 см разогревались одним U-образным стержнем [7].

6-5. АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА РЕМОНТА УПЛОТНЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ

Текущий и капитальный ремонт

Следует различать текущий и капитальный ремонт уплотнений в периоды постоянной и временной эксплуатации. Необходимость выполнения ремонтных работ по уплотняющим устройствам может

возникнуть в процессе нормальной эксплуатации, в связи с обнаружением тех или иных дефектов уплотнений.

Для выполнения ремонтных работ по уплотнениям деформационных швов необходимо составить соответствующую проектную документацию. В проекте должно быть обращено особое внимание на вопросы техники безопасности.

Перед составлением проекта должны быть собраны детальные данные по состоянию элементов сооружения, связанных с уплотняющими устройствами швов, установлен характер дефекта уплотнения, его причины и возможные пути устранения дефектов. В зависимости от характера деформационного шва и конструкции уплотняющих устройств могут быть разные виды дефектов уплотнений. Различают два основных вида дефектов уплотнений швов: а) фильтрация воды через шов в обход уплотнения; б) утечка асфальтовой мастики из полости шпонки.

Для каждого вида уплотнения деформационного шва могут быть разные причины появления указанных дефектов уплотнений.

Причинами фильтрации воды через температурный шов могут быть: а) неудовлетворительное качество выполненных работ при осуществлении уплотнений; б) неучаено выбранная конструкция основного уплотнения шва. При наличии асфальтовой шпонки может быть несоответствие между площадью полости шпонки и вязкостью асфальтовой мастики; ограждений шпонки в виде просмоленных канатов или металлических диафрагм без компенсаторов. При уплотнениях швов без асфальтовых шпонок фильтрацию могут вызвать неудовлетворительная конструкция металлических диафрагм — без компенсаторов или некачественно выполненная заделка диафрагм в бетон блоков первой и второй очереди бетонирования, несвоевременная цементация полости шва и т. п.; в) неудовлетворительная конструкция или плохое качество работ при осуществлении наружного контурного уплотнения температурного шва; в этом случае поступление фильтрационной воды может быть сосредоточено на напорной грани температурного шва; г) другие причины; так, например, при установке закладных частей затворов, решеток и т. п. в штрабы быков ограниченной толщины (менее 2 м) фильтрация воды в температурный шов может происходить через штрабной бетон закладных частей пазов при расположении основного уплотнения шва до пазовых конструкций в быках.

Наиболее серьезным дефектом уплотнений деформационных швов, выполненных в виде металлических диафрагм, является фильтрация воды через шов. Основные причины фильтрации могут быть сформулированы в следующем виде: а) неудовлетворительная конструкция металлических диафрагм (диафрагма без компенсаторов); б) нека-

чественные стыковка и заделка диафрагм в бетон первой и второй очереди бетонирования или плохая проработка бетона вокруг диафрагм; в) несвоевременная или некачественная цементация полости температурного шва и др.

Появление фильтрации воды через температурный шов из асфальтовых шпонок малого сечения с верховым и низовым ограждениями в виде металлических диафрагм может быть обусловлено следующими причинами: некачественная заделка диафрагм в бетон блоков, неплотности заполнения шахты шпонки асфальтовой мастикой, отсутствие системы электронагрева или разрыва в цепи и т. п. Устранение таких недостатков может быть достигнуто при выполнении следующих ремонтных работ: цементация полости температурного шва перед верховым и низовым ограждениями шпонки; разбуривание полости асфальтовой шпонки скважиной диаметром 30–35 см и заполнение ее мастикой, приготовленной на битуме с меньшей вязкостью (например, на битуме марки БН-П).

Для выполнения цементации полости шва перед верховым ограждением шпонки необходимо пробурить две скважины. Первая скважина – для тампонажа шва, благодаря которому может быть устранена или значительно ослаблена фильтрация воды через шов. Вторая скважина используется для цементации шва.

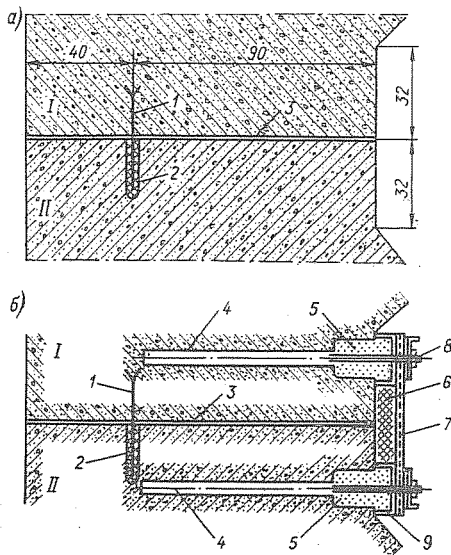
Во вторую очередь следует пробурить скважину ниже низового ограждения шпонки для цементации шва за низовым ограждением. При наличии за низовым ограждением дренажного устройства температурного шва скважину следует располагать не ближе 1 м от дренажных устройств. При этом для предотвращения засорения дренажа цементным раствором в процессе цементации скважины, рекомендуется производить промывку дренажа. Устранение фильтрации воды через температурный шов при наличии наружных и внутренних контурных уплотнений в зависимости от конструктивных и эксплуатационных особенностей сооружений может быть достигнуто цементацией полости шва и применением прижимных устройств (см. рис. 3–20). Устранение фильтрации воды через температурный шов, перекрытый внутренними контурными уплотнениями по схеме рис. 3–3, 3–19, может быть достигнуто цементацией полости шва. Скважины для цементации полости шва должны выполняться с наклоном к полости шва с таким расчетом, чтобы буровой скважиной не пересекались бы уплотняющие диафрагмы. Как правило, в неармированных конструкциях эти диафрагмы рекомендуется размещать на расстоянии 0,5 м от поверхности бетона и 0,2 м – в армированных.

Ниже приводится описание некоторых случаев появления фильтрации воды через деформационные швы сооружений с пояснением причин и способов ее устранения.

В температурных швах шитовых отделений зданий Верхне-Свирской и Кременчугской ГЭС при повышении воды верхнего бьефа до отметок, близких к нормальному подпорному уровню, началась фильтрация воды. Причиной фильтрации явилось неудачное расположение основного уплотнения температурного шва (в виде асфальтовой шпонки большого сечения) - перед пазами затворов и решеток. В обоих случаях фильтрация воды в шов происходила через штрабный бетон

Рис. 6-30. Схема уплотнения осадочного шва в камере шлюза Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС (размеры в см): а - до ремонта; б - после ремонта

- 1 - металлическая диафрагма; 2 - войлок; 3 - шов; 4 - скважина ϕ 46 мм; 5 - штрабный бетон; 6 - асфальтовая мастика; 7 - резиновая прокладка, покрытая металлическим листом; 8 - анкерные болты; 9 - резиновая прокладка



закладных частей пазовых конструкций в быках ограниченной толщины. Фильтрация воды была устранена путем цементации полости шва через скважины, пробуренные ниже (по течению) всех пазов в быках.

В период временной эксплуатации шлюза Волжской ГЭС имени ХХП съезда КПСС на некоторых осадочных швах происходила фильтрация воды; причиной фильтрации явилась некачественная заделка диафрагмы в бетон второй очереди. Фильтрация была устранена путем установки прижимного устройства, конструкция которого показана на рис. 6-30, б.

Существенным дефектом асфальтовых шпонок в деформационных температурных швах является утечка асфальтовой мастики, которая чаще всего обнаруживается в начале эксплуатации сооружения и

вызывается сравнительно большой вязкостью битума, применяемого для приготовления асфальтовой мастики, и малыми скоростями фильтрации таких мастик при достаточно низких температурах окружающей среды.

Более раннее распознавание дефектности асфальтовых шпонок может быть достигнуто только после длительного электронагрева мастики. Но такой разогрев, как правило, производится только в начале эксплуатации сооружения (при условии исправности системы

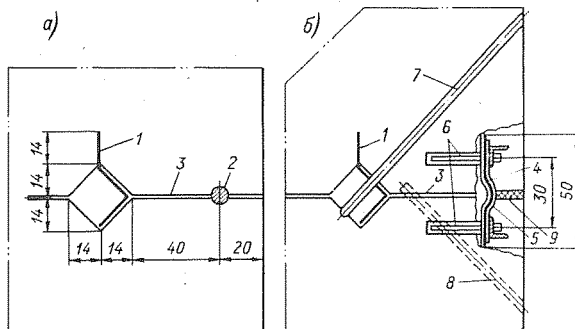


Рис. 6-31. Схема уплотнения осадочного шва в камере шлюза Верхне-Свирской ГЭС (размеры в см): а - до ремонта; б - после ремонта

1 - металлический лист; 2 - канат; 3 - шов; 4 - металлическая диафрагма; 5 - битуммат; 6 - анкерные болты; 7 - скважина для нагнетания мастики в шпонку; 8 - то же - в шов; 9 - доска

электронагрева). Причины таких утечек могут быть самые разнообразные; на некоторые из них обращается внимание в рассматриваемых ниже примерах.

В период нормальной эксплуатации шлюза Верхне-Свирской ГЭС были обнаружены утечки асфальтовой мастики через деформационные швы. Эти швы имеют уплотнение в виде асфальтовой шпонки малого сечения с внутренним ограждением металлической диафрагмой и просмоленным канатом. Причиной утечек мастики явилось низовое ограждение шпонки в виде просмоленного каната. При работе шлюза периодические наполнения и опорожнения камеры создают благоприятные условия для вымывания из каната битума. Это способствовало образованию пустот вокруг каната и путей для утечек мастики. Устранение утечек мастики было достигнуто устройством со стороны камеры прижимного устройства (рис. 6-31).

В шлюзах № 7 и 13 Волго-Донского канала имени В. И. Ленина были произведены ремонтные работы по ликвидации очагов фильтрации в камерах [7]. Осадочные швы в камерах шлюзов были уплотнены при помощи асфальтовых шпонок. Кроме этого, продольные швы в камерах шлюзов были уплотнены двумя асфальтовыми шпонками — одна у подошвы, вторая сверху. Основанием шлюза № 7 являются суглинки с песчаными и супесчаными прослойками и пески. Шлюз № 13 расположен на мелкозернистых пылеватых песках. В камерах шлюзов при выходе фильтрационных вод наблюдались выносы частиц грунта основания. Ремонт начался с закрепления грунта основания при помощи силикатизации и ликвидации пустот под подошвой камер шлюзов. Пустоты ликвидировались путем нагнетания цементного раствора.

При выполнении ремонтных работ наибольшее внимание уделялось продольным швам в днище, а также участкам сопряжения этих шпонок с уплотнениями поперечных швов в камерах. Продольный шов сверху был прикрыт резиновой лентой, прикрепленной к бетону днища при помощи анкерных болтов. Болты устанавливались в шпуры, пробуренные в бетоне.

Ремонт уплотнений поперечных швов в днище и вертикальных швов в стенах акмер шлюзов заключался в замене старого уплотнения резиновой полосой и в нагнетании расплавленного битума (рис. 6-32).

Для нагнетания битума БН-Ш в металлических накладках шпонок просверливали отверстия, в которые вваривали трубки с резьбой. Расстояние между отверстиями определялось в зависимости от поглощения битума и колебалось от 0,5 до 2 м. К трубкам подсоединялся выходной патрубок битумного иньектора, из которого под давлением расплавленный битум поступал в деформационно-осадочный шов.

Иньектор представляет собой металлический цилиндр диаметром 325 и высотой 750 мм. Цилиндр имеет конусное дно с выходным патрубком, снабженным накидной гайкой и вентилем. Перемещение иньектора при нагнетании битумной мастики в вертикальные швы осуществлялось при помощи крана, установленного на верхней площадке шлюза. Вместе с иньектором поднималась люлька с рабочим, обслуживающим иньектор. При выполнении всех видов работ строго соблюдались правила техники безопасности. Принятые меры дали положительные результаты [7].

Контурные уплотнения в сооружениях Каховской ГЭС состояли из двух листов нержавеющей стали, оклеенных битумматами и сверху закрытых сборными железобетонными плитами. Листы и плиты при помощи анкерных болтов крепились к стенкам штрабы. Изготовление железобетонных плит на строительстве оказалось

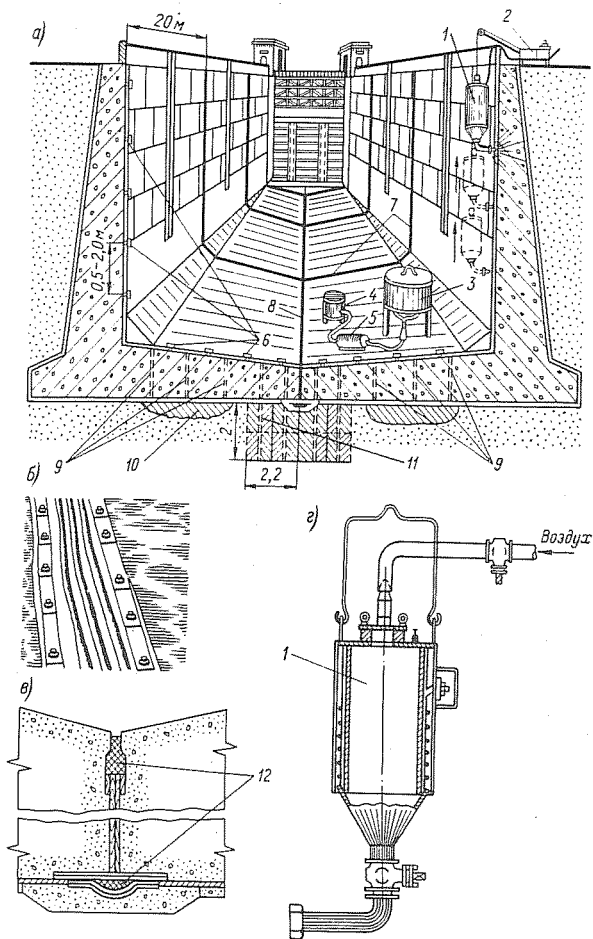


Рис. 6-32. Схема ремонта уплотнений осадочных швов камер шлюзов № 7 и 13 Волго-Донского канала имени В. И. Ленина: а - общая схема камеры шлюза; б - уплотнение продольного шва; в - шпонка продольного шва днища; г - битумный инъе́ктор

1 - инъе́ктор; 2 - компрессор; 3 - бак для разогрева битума; 4 - бак для жидкого топлива; 5 - насос для подачи топлива; 6 - трубка для присоединения инъе́ктора; 7 - поперечные швы; 8 - продольный шов днища; 9 - скважина для цементации; 10 - заполнение пустот цементным раствором; 11 - скважины для силикатизации основания; 12 - битумная мастика

невозможным, поэтому внутренние контурные уплотнения выполнялись без этих плит. После затопления котлована большое количество этих уплотнений оказалось водопроницаемым. Для их ремонта по периметру галереи пробуривались в бетоне через 20–30 см скважины; в них устанавливались анкерные болты диаметром 16 мм, после чего наклеивались в два слоя битумматы и на них профилированная резиновая диафрагма шириной 70 см и толщиной 10 мм, а поверх листа на анкерных болтах укладывались металлические листы шириной 66–68 см и толщиной 6–8 мм, которые этими же болтами и уголками 70x70x8 мм прижимались к стенкам штрабы. Однако фильтрацию воды через уплотнения все же устранить не удалось; расход воды в отдельных уплотнениях доходил до 20–25 л/с.

После отвода фильтрационных вод из водосбросной канавы с помощью трубы диаметром 150 мм создавалось возможность продлить металлическую рубашку до дна канавы с последующей заливкой асфальтовой мастикой. В результате фильтрационные расходы воды значительно снизились – до 1,0–1,5 л/с [4].

В здании Каховской ГЭС, в первые годы эксплуатации [7], в смотровую галерею из вертикальной шпонки НБ было выдавлено около 16 м³ асфальтовой мастики. Такое выдавливание происходило через открытое устье вертикальной шпонки, выходящей в смотровую галерею против смотровой шахты. Выдавливание мастики происходило под воздействием собственного веса и фильтрационного потока со стороны подошвы сооружения в связи с расстройством донного уплотнения. Подобное расстройство могло произойти в результате перенапряжения в основании у низовой стороны здания ГЭС. Такому расстройству в значительной мере способствовала и неудачная конструкция уплотнения (см. рис. 3–11,а) по подошве сооружения. При указанной конструкции горизонтальной шпонки не обеспечивалась возможность устройства надежного сопряжения с вертикальными шпонками, при котором гарантировалась бы полная изолированность и разобщенность шпонок. Отсутствие такой изолированности и разобщенности не исключает возможности работы всех этих шпонок как сообщающихся сосудов. Чтобы убедиться в справедливости сказанного, достаточно сравнить схему рис. 3–11 со схемами рис. 6–33. Сообщение между шпонками установилось после расстройтва уплотнения, показанного на рис. 3–12. По-видимому, главным образом этим обстоятельством, а не только повышением температуры мастики [7], и может быть объяснено выдавливание асфальтовой мастики в смотровую галерею через шпонку. После того как установилось равновесие в сообщающихся сосудах, через нарушенное уплотнение рис. 3–12 в шпонке, под воздействием взвешивающего давления, был пробит "свищ". Вначале через "свищ" происходил интенсивный

вынос мелкозернистого песка из основания сооружения, общим объемом около 15 м^3 . Впоследствии вынос песка прекратился. Через "свищ" проходил фильтрационный расход до $6-7 \text{ л/с}$ [7]. Была произведена попытка ликвидировать "свищ" путем тампонирования при помощи трубы диаметром 37 мм. На конце трубы длиной 2,5 м был намотан тампон из пакли. Труба была пропущена в "свищ", затрубное пространство было уплотнено паклей и цементным раствором. В стены смотровой шахты были установлены металлические анкеры, а устье шпонки, выходящей в смотровую галерею, было прикрыто бетонной плитой [7]. В трубу была забита деревянная пробка, но вода начала выходить из-под бетонной плиты с прежней

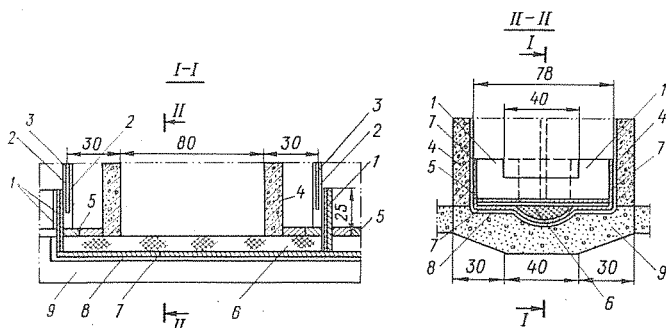


Рис. 6-33. Спряжения горизонтальных (донных) уплотнений с вертикальными асфальтовыми шпонками с вынесенными ограждениями (размеры в см)

- 1 - металлические листы (перегородки); 2 - технический войлок;
- 3 - металлическая ограждающая диафрагма толщиной 4 мм; 4 - железобетонные коробки; 5 - доски $20 \times 2,5 \text{ см}$; 6 - асфальтовая мастика;
- 7 - металлический лист корытообразный; 8 - битумматы толщиной 1 см;
- 9 - бетонная подготовка

интенсивностью ($6-7 \text{ л/с}$). Только после длительного разогрева (в течение 2,5 суток) шпонки при помощи электрокипятильника, опущенного в трубу паропрогрева, заполненную водой, произошло уплотнение мастики в шпонке и расход воды через "свищ" уменьшился до $0,5-0,3 \text{ л/с}$.

После предварительного электронагрева мастики в шпонках из смотровой шахты были обнаружены утечки мастики из нескольких шпонок здания Воткинской ГЭС. Места утечки были тщательно осмотрены, на основании чего было установлено, что шпонки дали

течь из-за плохой забивки шлаковой пустот между шандорами и железобетонными элементами шпонок.

Ремонт производился следующим образом: мастика, разогретая до жидкого состояния, удалялась буровой желонкой диаметром 40 см, объемом 0,5 м³. После освобождения шпонки от мастики демонтировалась система электронагрева и извлекались шандоры до места утечки. Места утечки были тщательно обследованы, на основании чего было установлено, что утечки мастики происходили из-за плохого качества забивки пазух между шандорами и коробами просмоленной паклей. После ликвидации дефектов и повторного заполнения шпонок асфальтовой мастикой был вновь произведен электронагрев этих шпонок. Утечки мастики больше не наблюдалось [77].

Ремонт вертикальных асфальтовых шпонок сечением 20х20 см Усть-Каменогорского гидроузла заключался в электронагреве мастики шпонки, доливке горячего битума и опрессовании шпонки сжатым воздухом под давлением 6 атм в течение 12-18 ч. Это дало резкое уменьшение фильтрационного расхода (0,1-0,2 л/с) [77].

Для разогрева шпонок был применен "щуп" [6], который продавливался в полость шпонки домкратом усилием до 10 т, но так как многие шпонки были сильно засорены строительным сором, то и такой метод оказался во многих случаях малоэффективным. Более чем на глубину 10 м "щуп" не удалось погрузить.

Ремонт асфальтовых шпонок сечением 15х15 см на плотине Днепровской ГЭС имени В. И. Ленина производился неоднократно. Причиной фильтрации воды через асфальтовые шпонки являлось отсутствие ограждающих элементов уплотнения и невозможность контроля полости шпонки перед ее заливкой асфальтовой мастикой. После восстановления гидростанции (1944-1946 гг.) для уменьшения фильтрации воды через температурные швы плотины они были зацементированы. Однако поступление воды через швы ликвидировать этим мероприятием не удалось. Попытки произвести разогрев мастики в шпонках горячим воздухом, пропуском по трубе электрического тока и опусканием в шпонку электроиглы не удалось. Тогда рядом со шпонками, на расстоянии 10-15 см от них, были пробурены скважины диаметром 110 мм, в которые опускались электроиглы. При этом шпонки удалось прогреть через бетон, но битум в них не оседал из-за наличия пробок. Наконец, было произведено бурение шпонки буром диаметром 74 мм с подачей керосина вместо воды. Таким образом шпонки были расчищены на глубину до 16 м, дальнейшее углубление оказалось невозможным, так как шпонки были заполнены водой, которая препятствовала растворению битума керосином.

На Днепровском шлюзе ремонт асфальтовых шпонок производился электронагревом от трансформатора 600/36 В путем включения в цепь трубы паропрогрева. Во многих шпонках отсутствовал контакт из-за разъединения в местах стыков труб. В некоторых случаях удавалось прогреть шпонки благодаря присоединению кабеля к нижнему концу труб паронагрева, для чего в стенке шлюза были пробиты отверстия [7].

В процессе эксплуатации здания Волжской ГЭС имени В. И. Ленина наблюдалась сильная фильтрация воды через асфальтовые шпонки. Для обеспечения надежности работы шпонок Ленинградским отделением Оргэнергостроя был разработан проект ремонта, предусматривающий выполнение следующих мероприятий: 1) очистка шпонок и участка полости шва между ними от мусора; 2) заделка швов между плитами-оболочками; 3) замена негодных шандорных плит новыми, заделка швов между шандорами конопаткой и тщательным уплотнением; 4) заделка шпонок асфальтовой мастикой; 5) цементация щелей между плитами-оболочками и бетоном. Для уменьшения поступления воды в шов со стороны верхнего бьефа, перед основной шпонкой, устраивались тампоны в шве путем бурения скважины и забивки ее комками просмоленной пакли.

Работа выполнялась медленно из-за трудности бурения скважины в швах, забитых мусором и кусками арматуры. В пределах очищенных и осушенных швов производилась цементация мест фильтрации и уплотнения шпонки со стороны нижнего бьефа. После этого наблюдалось некоторое уменьшение утечки асфальтовой мастики из одной шпонки. Дальнейшая работа по ремонту шпонок строительством была остановлена. Впоследствии напорная вода прорвала шпонку осадочного шва, а затем контурную шпонку в распределительном устройстве (РУ). Для ликвидации прорыва шпонки в пробуренной скважине устанавливалась труба диаметром 122 мм и засыпалась буровой дробью при незначительном подъеме трубы. Произведенные работы по засыпке дробы свидетельствовали о наличии утечки дробы в сторону нижнего бьефа на нижних отметках. Для создания завесы против утечки дробы со стороны верхнего бьефа были забурены две скважины и установлены две трубы диаметром 133 мм каждая до отметки 119,0 м.

Для последующей глинизации представилась необходимость забивки двух труб диаметром 76 мм до отметки 119,0 м с перфорированными концами длиной по 4 м. Производилась засыпка дробью скважины через обсадную трубу диаметром 122 мм по мере ее подъема. В случае прекращения фильтрации после засыпки дробы производилась глинизация. При недостаточном эффекте от глинизации для цементации производилась повторная забивка двух труб диамет-

ром 76 мм. На рис. 6-34 показана схема ремонта уплотнений осадочных швов здания Волжской ГЭС имени В. И. Ленина.

В процессе эксплуатации шлюза Новосибирской ГЭС обнаружилась сильная фильтрация воды через деформационно-осадочный шов между секциями камеры шлюза. После откачки воды из камеры оказалось, что уплотнение из каната, расположенного в 20 см от наружной стороны стены камеры, пропускает воду интенсивностью более 2 л/с; из шпонки вытекает мастика. Для устранения дефекта в камере производилось расширение шва между секциями камеры с наружной

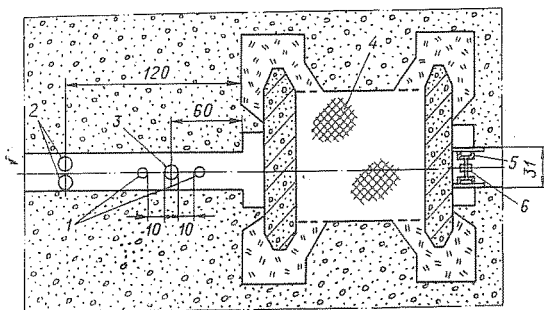


Рис. 6-34. Схема ремонта уплотнений осадочных швов здания Волжской ГЭС имени В. И. Ленина (размеры в см)

1 - труба ϕ 76 мм; 2 - трубы ϕ 133 мм; 3 - трубы ϕ 122 мм; 4 - первая асфальтовая шпонка; 5 - швеллер № 10; 6 - талреп

стороны до 26 и 15 см по глубине; этим самым ликвидировалось уплотнение, заполненное просмоленными войлочными пакетами. В этих расширениях устанавливались анкерные болты с наклейкой асфальтовых матов в два слоя и на них резиновая лента, которые затем прижимались болтами /6/.

Для ремонта осадочных швов также использовался оклеечный пластикат. Пластикат имеет меньший вес и удобен при монтаже. Работы по устройству уплотнения из пластиката велись в тепляке, так как при температуре ниже 20°C монтаж уплотнения затруднен. В уплотнение шва пластикат устанавливался в два слоя из-за малой толщины листа и низкой теплостойкости пластиката. Пластикат легко сваривается горячим воздухом, что дает возможность стыковать отдельные листы на рабочем месте и ремонтировать поврежденные участки уплотнения без демонтажа. Эксплуатация осадочных швов с уплотнением из эластичного пластиката показала его надежность.

6-6. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ УПЛОТНЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРОЙСТВА И РЕМОНТА

Уплотнения из резиновых профилированных лент и полимерных материалов

1. Следует шире применять уплотнения из профильных резиновых диафрагм и из полимерных материалов в сооружениях, расположенных на скальных и однородных сжимаемых основаниях: а) в температурных швах для напора до 100 м; б) в деформационно-осадочных швах при ширине шва до 5 см для напора до 70 м.

2. При конструировании диафрагм из резиновых профилей должны учитываться геологические и климатические условия, напор на сооружение; должна предусматриваться максимальная типизация и заменяемость резиновых диафрагм на случай их ремонта. Резиновые диафрагмы не должны ослабляться отверстиями, ухудшающими прочностные и противofильтрационные свойства уплотнения.

3. Удовлетворительная работа резиновых диафрагм для контурных уплотнений и их стойкость может быть обеспечена лишь в тех случаях, когда они устойчивы против агрессивной среды, защищены от солнечного света и не подвергаются резким колебаниям температур (зимой ниже минус 35°C , летом выше плюс 40°C) [7].

4. В контурные уплотнения профилированную резину необходимо устанавливать в холодное время года, когда температурные швы имеют наибольшие раскрытия, чтобы в дальнейшем она не работала на растяжение.

5. Срок службы изделий (потеря прочности на растяжение не более 20% первоначальной) должен составлять не менее 50 лет, согласно гарантии завода-изготовителя резины (ГОСТ 269-66).

6. Расстояние от внутренних поверхностей стен помещений до диафрагм (резины, ПВХ) контурного уплотнения деформационных швов в массивных элементах подводной части сооружений следует назначать: в неармированных элементах не менее 50 см и в армированных — не менее 20 см, за рабочей арматурой блока бетонирования.

7. Резиновую диафрагму волнообразного профиля (см. рис. 3-1,б) следует применять для уплотнения деформационно-осадочных швов в стенах камер шлюзов (с внутренней стороны) — в качестве контурных уплотнений; в водопроводных галереях шлюзов и в потерях плотин — в качестве внутренних уплотнений.

8. В пределах фундаментной плиты со сторон верхнего и нижнего бьефов, где ширина деформационно-осадочных швов сооружений коле-

блется в пределах 1,0–2,0 см, наружные контурные уплотнения следует выполнять из резиновых профилированных лент (рис. 3-1, а, в, г).

9. Для обеспечения надежного качества стыков резиновых и полимерных диафрагм между собой в продольных, поперечных и наклонных швах следует изготавливать в заводских условиях цельные

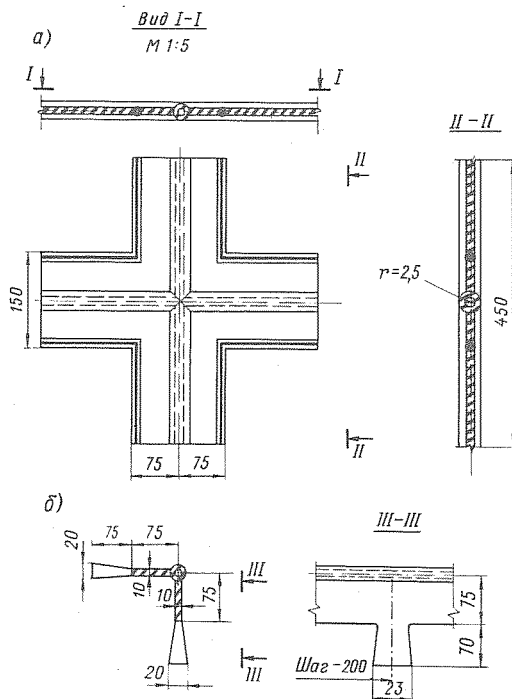


Рис. 6-35. Новая конструкция уплотнения из резины и полимерных диафрагм на пересечениях деформационных швов (размеры в мм): а - при пересечениях горизонтальной и вертикальной диафрагм; б - при оконтуривании вертикальной полости с горизонтальной

(сборные) комплекты резины, соответствующие размерам потерны, галереи, также крестовины, плоские угольники и другие виды деталей для установки в местах пересечений (рис. 6-35).

10. Наиболее рациональным стыкованием резиновых лент является склеивание концов лент с последующей горячей вулканизацией

склеенного стыка. При стыковании лент оба конца следует предварительно срезать по ломаной линии (уступами), как показано на рис. 5-10,а.

11. Стыкование пластмассовых диафрагм должно производиться сваркой при помощи горячего воздуха, нагретого до температуры 250-270°C, с установкой вспомогательного валика из пластмассы того же состава, что и свариваемые диафрагмы.

Принимаемая технология стыкования должна быть согласована с заводами-изготовителями резиновых и пластмассовых диафрагм.

12. Для уменьшения величин градиентов напора, а также для обеспечения большой надежности уплотнений диафрагм из резины, поливинилхлорида, металла и других материалов, в деформационных швах следует устанавливать не менее двух рядов диафрагм с расстоянием между ними 0,5-1,5 м. При высоте сооружения 100 м и более число рядов диафрагм должно быть не менее трех. Особое внимание должно быть обращено на получение высокой плотности и водонепроницаемости бетона, окружающего уплотнение.

13. Для сокращения сроков и повышения качества работ конструкция уплотнения швов может быть выполнена из сборных железобетонных спаренных плит с резиновыми, поливинилхлоридными или другими полимерными диафрагмами (см. рис. 5-14).

14. Для наружных контурных уплотнений деформационных швов низконапорных (до 15 м) сооружений следует применять оклеечный эластичный пластик (рис. 5-16).

15. Крепление резиновой профильной ленты и полимерных диафрагм во избежание их повреждения во время бетонирования должно осуществляться способом, показанным на рис. 5-9, или путем использования вставного клиновидного шаблона-опалубки (рис. 5-8) нашей конструкции; в этом случае резиновые и другие ленты между секциями опалубки устанавливаются без дополнительных креплений.

16. Закладные части для крепления резиновых и полимерных диафрагм следует выполнять из нержавеющей стали или из пластмассовых (фторопласта 4а) материалов.

Уплотнения из металлических диафрагм и их сопряжения

17. Применяемый листовой материал из стали и сплавов для уплотнения температурных швов должен обладать высокой деформативностью, с учетом многократных расхождений и схождений плоскости шва. Для этого листы должны быть изготовлены из специальных сталей (ГОСТ 5632-61) и прокатаны с образованием гофрированного

профиля с шагом 8-10 см. Для лучшего восприятия деформаций компенсаторные волны должны располагаться строго по вертикали листа. Применение гофрированных листов может способствовать и компенсации неравномерных осадок сооружения (см. рис. 3-4).

18. Металлические диафрагмы должны устанавливаться проектной формы и толщины; они должны изготавливаться на специализированных заводах. Изгибы листов следует выполнять при отношении радиуса закругления к толщине листа δ в пределах 1-1,5.

19. Стыкование двух листов диафрагмы из нержавеющей стали марок 1X18H9T, X18H12T (ГОСТ 5632-61) дает положительные результаты в том случае, когда сварка их производится электродами ЭА-УБ, ЭА-16а, ЭА-1М2 (ГОСТ 10052-62) или электродами с покрытием марки УОНИ-13/НЖ, ЦА-2.

При сварке листов латуни и чистой красной меди (до 3 мм) следует принимать оптимальное соотношение диаметра электрода d к толщине листа δ в пределах 0,7-1. Сварочный ток должен быть равен 70-90 А. Диафрагмы из листов латунных и красной меди следует выполнять по рис. 3-3,а,б.

20. Соединение двух металлических диафрагм - горизонтальной и вертикальной, работающих каждая как самостоятельное уплотняющее устройство, - следует осуществлять как показано на схеме рис. 5-11,а - под прямым углом, с помощью вспомогательного уголка; возможны также соединения вертикальных диафрагм, показанные на рис. 5-11,б - по радиусу и на рис. 5-11, в - путем перепуска на 10-15 см одного листа на другой со сваркой прерывистым швом. Изгибы листа при монтаже в блоках не допускаются. Лист должен быть очищен от грязи и окалины.

21. Защиту металлической диафрагмы с компенсатором от обетонирования следует производить покрытием полиэтиленом, с добавкой полиамина (СТУ 2529-62, 10 весовых частей) или аустона (ГОСТ 2768-60, 50 весовых частей).

Асфальтовые уплотнения и способы их разогрева

22. В связи с тем, что существующий метод устройства асфальтовых уплотнений является дорогим и трудоемким элементом гидросооружения (см. § 5-4), необходимо сократить область применения асфальтовых шпонок большого сечения. Следует для осадочного шва переходить к применению шпонок среднего (40х40 - 60х60 см) сечения и для температурного шва - шпонок малого (15х15 - 30х30 см) сечения.

23. Рациональными способами образования шахты асфальтовых шпонок являются: а) использование вставного клиновидного щита-

опалубки (рис. 5-8) и б) установка сборных железобетонных коробов с наружными ограждающими элементами (см. рис. 3-8).

24. Полость шва при бетонировании следует образовывать не путем установки опалубки из досок и плит-оболочек, а методом вставного клиновидного щита-опалубки (см. рис. 5-8), при котором ширина шва может достигать минимальных размеров (2,5 см) с образованием гладких поверхностей, а стоимость опалубочных работ уменьшается в несколько раз (см. § 5-4).

25. Наиболее надежной конструкцией ограждения асфальтовых шпонок следует считать ограждения из металлических диафрагм с компенсаторами, устанавливаемыми за пределами полости шпонки и жестко заделанными обоими отогнутыми концами в бетон блоков первой и второй очереди бетонирования.

Встречающиеся в практике ограждения шпонок в виде просмоленных канатов, металлических диафрагм с жестко заделанным одним концом, а также металлических диафрагм внутри полости шпонки не обеспечивают герметизации шпонки, а также значительно затрудняют условия производства работ. В связи с этим от указанных типов ограждений следует отказаться.

26. Следует отказаться от применения ограждающих металлических диафрагм внутри асфальтовых шпонок (Кременчугская ГЭС, ДнепроГЭС, Нижне-Свирская, Камская и другие гидроэлектростанции). Асфальтовые шпонки с внутренними ограждающими металлическими листами, устанавливаемыми с верхней или нижней стороны шва, не обеспечивают плотного прилегания листа к шву; при установке листа по середине шахты шпонки трудно обеспечить правильную форму и стыковку, а также установку корыт во вторую очередь бетонирования.

27. Полости и ограждения горизонтальных асфальтовых шпонок должны соединяться с полостями и ограждениями вертикальных асфальтовых шпонок. Сопряжение горизонтальных и вертикальных асфальтовых шпонок необходимо производить под прямым углом (рис. 6-32).

Такая увязка необходима в целях получения надежного сопряжения отдельных элементов уплотнений при их пересечении. Нельзя устраивать ограждения горизонтальных и вертикальных асфальтовых шпонок из разных материалов, имеющих неодинаковые физико-технические характеристики.

28. Для заполнения шпонок, вместо обычных горячих асфальтовых мастик, рекомендуется применять пластифицированные асфальтовые мастики повышенной морозостойкости, теплоустойчивости и эластичности. Заполнение асфальтовых шпонок горячей пластифицированной мастикой, изготовленной на основе битума БНД-90/130

(ГОСТ 11954-66), позволит уменьшить размеры поперечного сечения шпонок по сравнению с заполнением их мастикой (см. § 3-6) составов № 1 и № 2 в 1,35-1,6 раза /6/.

29. Чтобы избежать образования в асфальтовых шпонках цементной пробки на ранее залитой мастике, необходимо перед бетонированием стык между железобетонными коробами (корытами) в полости шпонки заклеить битумматами, рулонным полимерным материалом или армостеклотканью.

30. Вместо стационарного электронагрева асфальтовых шпонок, не оправдавшего себя в практике, целесообразно применять сборно-разборную установку электронагрева (см. рис. 3-23), легко переносимую краном в любой шпонке. В этом случае асфальтовые шпонки сдаются дирекции эксплуатируемого гидроузла поярусно заполненные мастикой без системы электронагрева. Если же по каким-либо причинам применение указанной установки невозможно, то при устройстве стационарного электронагрева необходимо выполнять следующие требования:

а) обращать особое внимание на соединение звеньев системы электронагрева между собой и на изоляцию их от держателей, крепящихся к закладным частям и связанных с арматурой;

б) заливку шпонки необходимо производить до бетонирования следующего по высоте блока.

31. При сопряжении горизонтальной асфальтовой шпонки с вертикальной электронагрев следует предусматривать только на вертикальном участке.

32. Разогрев материала, заполняющего шпонки, следует обязательно выполнять до затопления котлована. В этом случае на участках напорной грани, расположенных ниже минимального зимнего уровня воды верхнего бьефа, температура асфальтовой мастики будет оставаться всегда положительной, и ее нагрев в период эксплуатации не потребуется.

33. Групповое последовательное присоединение электродов нагрева шпонок к системе питания не следует применять, так как в подобных случаях нарушение электронагрева в одной шпонке влечет за собой отключение всей группы нагрева.

34. Наружные контурные уплотнения со стороны верховой и низовой граней сооружения в виде железобетонных, бетонных или деревянных брусев с гидроизоляционными прокладками не следует применять. Эти конструкции трудоемки в производстве. При температурных деформациях на грани контура шва сооружения неизбежно образуются щели, ведущие к фильтрации по контакту уплотнения с бетоном массива. При наличии противодавления брус не выполняет функции прижимного устройства. Для ограждения полости деформаци-

Таблица 6-2

Рекомендуемые конструкции уплотнений и области их применения (+)

Конструкция уплотнения	Напор, м				№ рис.	Сейсмичность района, балл	Тип плотин
	до 20	20-50	50-100	более 100			
Сооружения на скальном основании							
Комбинированная (вверху резина, внизу асфальт)	+	+	+	-	3-14	8	Г
Резиновые и полимерные диафрагмы *	+	+	+	-	3-1	8	Г
То же для внутренних контуров полостей	+	+	+	-	3-1, в, г, е, и	8	Г
Металлические гофрированные диафрагмы *	+	+	+	+	3-4	9	А, АГ, Г **
Металлические диафрагмы с компенсаторами *	+	+	+	+	3-3, а, б	9	А, АГ, Г и КФ ***
Широкий шов, заполненный пластичным бетоном	-	-	+	+	2-7, б, в	7	А, АГ
Железобетонный брус или плита, пластичный бетон	+	+	+	+	3-16, а	8 9	А КФ
Бетонная пробка и ее омоноличивание	-	-	+	+	Табл. 1-9	9	АГ
Сооружения на сжимаемом основании							
Асфальтовые шпонки, заполненные битумно-резиновой мастикой или полимергерметиком	+	+	+	-	3-7	7	КФ
Асфальтовая шпонка с эластичной водонепроницаемой камерой	+	+	-	-	3-15	9	А
Сборные плиты из пеноэласта или других герметиков	+	+	-	-	5-14	-	-
Безанкерные поверхностные уплотнения	+	-	-	-	5-16	-	-
Резиновые или полимерные диафрагмы для контурных уплотнений *	+	+	+	-	3-1, в, и, к, н	8	Г

* Количество рядов из резиновых, полимерных или других диафрагм назначается по § 6-6 п. 12.

** Сплошная цементация шва.

онного шва от попадания плавающих предметов рекомендуется применять конструкции, показанные на рис. 3-18.

36. В районах с тепловым и умеренным климатом в межсекционных температурных швах сооружений, расположенных на скальных основаниях, и в сейсмическом районе, для повышения сейсмостойкости массивных гравитационных плотин необходимо производить цементацию всей полости шва от верхового до низового уплотнения. В этом случае на участке, предназначенном для цементации, поверхность бетона первой и второй очередей бетонирования должна иметь штрабы (см. рис. 2-6); наличие таких штраб будет также увеличивать сейсмостойкость сооружения. Подлежащий цементации участок полости температурного шва не требует насечки. Наиболее надежные сейсмостойкие конструкции уплотнения приведены в табл. 6-2.

6-7. НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ

Цель и задача натурных наблюдений — контроль за состоянием гидротехнических сооружений в строительный и эксплуатационный периоды, методики расчета сооружений с целью снижения их стоимости, усовершенствование методов производства работ и др.

Наблюдения, проводимые на гидротехнических сооружениях, подразделяются на контрольные наблюдения и специальные исследования.

Контрольные наблюдения проводятся в обязательном порядке на всех гидросооружениях I — III классов капитальности с целью текущего строительства или эксплуатационного контроля за состоянием сооружения. К ним относятся наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями сооружений и их оснований, за фильтрацией и противодавлением, за образованием трещин в бетоне и его коррозией, за размывом русла, за уровнями бьефов и другими факторами, влияющими на прочность, надежность и нормальную эксплуатацию сооружений. Ценными являются те наблюдения, которые ведутся с начала строительства и продолжаются при эксплуатации сооружения.

Специальные исследования проводятся с целью разработки или уточнения теоретических вопросов расчета и методики моделирования, или с целью выбора наилучших методов производства работ и условий эксплуатации сооружения и др. К этим исследованиям относятся: выявление величин осадок и горизонтальных смещений, определение температур и напряжений в бетоне, давлений в грунте, усилий в арматуре, пульсации давления потока, вибрации сооружений и др.

Объемы контрольных наблюдений и специальных исследований определяются типом сооружения, характером основания, актуальностью проблемы и сложностью исследуемых вопросов.

Для выполнения указанных исследований составляется программа натурных наблюдений. В ней предусматриваются определение общих перемещений основных сооружений геодезическими методами (осадки, горизонтальные смещения, раскрытия деформационных швов и др.) и наблюдения за термо-напряженным и деформированным состоянием в отдельных точках плотины и скального основания при помощи приборов.

Проектирование размещения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) в гидротехнических сооружениях производится в две стадии.

В техническом проекте дается: общая ориентировочная схема размещения КИА: схема коммуникаций приборных кабелей и местоположение измерительных пультов; отдельные наиболее важные узлы крепления приборов, оформления пультов и др.; спецификация на приборы и кабель; смета на изготовление и приобретение приборов, их установку и обработку полученных результатов.

В рабочих чертежах даются: местоположение каждого прибора в блоке, его ориентация относительно осей блока (сооружения) и привязка в плане и по высоте; трассировка подводящих кабелей и способы их прокладки (лотки, стояки и т. д.); места и оборудование временных и постоянных пультов наблюдения; способы крепления закладных и съемных приборов; конструкция приборов и устройств, изготавливаемых на самом строительстве (пьезометры, марки, простейшие шелемеры и т. д.); другие детали, связанные с установкой приборов и устройств.

Одновременно с проектом размещения КИА составляется проект проведения наблюдений, привязанный к местным условиям, в котором дается методика наблюдений, форма документации и сроки проведения наблюдений [3].

Геодезические методы.

Наблюдения за общими деформациями сооружений

Наблюдения за вертикальными деформациями сооружений производятся путем периодического определения высотного положения реперов и контрольных марок. Для этого применяются различные методы: геометрическое нивелирование (I, II и III классов), гидростатическое нивелирование, тригонометрическое нивелирование, стереофотограмметрический способ и др. В районе сооружений создается опорная высотная сеть, состоящая из фундаментальных и рабочих реперов, а в сооружениях закладываются контрольные марки.

Суммарные осадки бетонного сооружения определяются нивелированием контрольных марок, заложенных на поверхности блоков или секций, а деформация основания — нивелированием глубинных марок, заложенных в основание у подошвы сооружения, или с помощью обратных отвесов. Одновременно с производством нивелирования фиксируются все факторы, влияющие на осадки сооружения, а именно: а) ход кладки бетона по блокам, столбам и наличие сосредоточенных нагрузок от оборудования, механизмов и производства работ; б) колебания уровня воды в бьефах, противодавление; в) изменения уровня горизонта воды в котловане; г) очередность цементации основания; д) температурный режим тела самого сооружения и окружающей среды; е) другие факторы, оказывающие влияние на осадки основания и самого сооружения.

Горизонтальные смещения могут возникнуть вследствие сдвига сооружений или их оснований, и прогиба под действием давления воды и сезонного колебания температуры внешней среды.

При исследовании могут быть выявлены абсолютные и относительные смещения. Абсолютные смещения характеризуются полной величиной горизонтального смещения по отношению к неподвижным геодезическим опорным знакам. Относительные смещения представляют собой разность перемещений одних частей сооружения (секций) относительно других. Полученные результаты относительных смещений позволяют более правильно проектировать уплотняющие устройства в осадочных швах сооружений, размещать силовое оборудование и др.

Как показывает опыт, наблюдения за общими деформациями крупных плотин (осадками, горизонтальными смещениями, прогибами, наклонами и др.) позволяют

достаточно точно и надежно оценить статическую работу сооружения совместно с основанием, как в период наполнения водохранилища, так и при последующей эксплуатации. Методов измерений горизонтальных смещений сооружений достаточно много. Наиболее известные и чаще других применяемые следующие: способ створов, триангуляции, прямых и обратных отвесов, комбинированный метод (сочетание триангуляционного метода с методом створов) и др.

Створный способ — наиболее распространен в практике наблюдений за смещениями на прямолинейных участках, где имеется возможность расположить наблюдаемые точки в один створ и примерно на одном уровне. В практике чаще всего створные наблюдения выполняют с помощью измерений малых параллактических углов или с использованием подвижной марки.

Способ триангуляции применяется в том случае, когда для создания створа нет условий, например для наблюдения контрольных марок, устанавливаемых на арочных плотинах со стороны низовой грани на разных ярусах.

Способ отвесов применяется за последние годы на строительстве крупных гидроузлов для определения смещений, прогибов и крена сооружений. Широкое применение находят отвесы различных видов, которые по конструктивным признакам могут быть разделены на две группы: прямые и обратные.

Прямые отвесы лучше приспособлены для наблюдений за поведением надподшвенной части плотины, особенно в процессе строительства; обратный отвес используется для определения смещений оснований сооружений. В необходимых случаях обратные отвесы, заложенные на конечных точках створа в галерее плотины на значительную глубину, где положение якоря отвеса практически не подвижно, можно использовать в качестве опорных пунктов для определения смещений контрольных точек, расположенных на бетонных блоках сооружения. В практике наблюдений смещений оснований крупных плотин используется обратный поплавокый отвес конструкции М. С. Муравьева [167].

Для определения прогибов и крена сооружения используются прямые отвесы, устанавливаемые, как правило, в опытных секциях и располагаемых от основания (подошва) до гребня. Кроме того, для определения крена может использоваться гидростатическое нивелирование, а также клинометры. Действие клинометра основано на использовании цилиндрического уровня или отвеса.

В прямолинейных потернах плотины, в которых резкие продольные и поперечные потоки воздуха исключены, горизонтальные смещения сооружения рекомендуется наблюдать по натянутой струне и определять отклонения контрольных марок от створа механическим (электроконтактным) или оптическим способом.

Из опыта работ установлено, что наибольший интерес вызывают перемещения основания плотины, так как они позволяют правильно судить о влиянии гидростатической нагрузки на сооружение. Поэтому наблюдения за горизонтальными смещениями следует производить по возможности ближе к основанию сооружения (рис. 6-36).

Ленгидропроектом на Красноярской ГЭС были отработаны оригинальные методы определения относительных смещений элементов (секций) бетонных сооружений с использованием натянутой струны и гидростатического нивелирования с помощью стационарных установок, которые давали весьма стройную картину "дыхания" плотины.

НИС Гидропроекта им. С. Я. Жука разработал методику дистанционного определения с большой точностью относительных смещений с помощью системы натянутых нитей и струнных тензодатчиков.

Опыт работы на Красноярском гидроузле показал, что протяженность натянутой струны, без снижения точности измерений, может быть доведена до 800 м. Причем струну можно натягивать участками по мере готовности потерны.

При применении способа натянутой струны в стене потерны каждой секции плотины на равной высоте от ее пола (до 2 м) по обеим сторонам осадочного шва закладываются контрольные пункты в виде консолей из швеллера, на которые устанавливается ванна с поплавком, наполненная жидкостью. На поплавках закреплена проволока (струна). Струна натягивается на одном опорном пункте грузом до 100 кг (при длине створа до 800 м), перекинутым через блок, а на другом конце — специальной лебедкой. Натянутая таким образом струна свободно плавает на поплавках. По отношению к этой струне определяются смещения контрольных пунктов, а концевые точки самой струны контролируются по обратным отвесам.

Измерение горизонтальных смещений контрольных марок производится либо с помощью электроконтактного устройства на микрометричном винте, либо, в случае

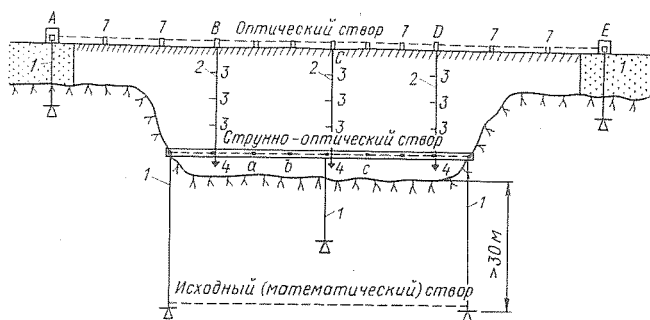


Рис. 6-30. Схема измерения плановых перемещений высокой бетонной гравитационной плотины на скальном основании

1 — обратный отвес; 2 — прямой отвес; 3 — “защепы” для фиксации перемещений промежуточных точек по прямому отвесу; 4 — отсчетное устройство прямого отвеса; 5 — AB, BC, CD, DE — частные створы на гребне плотины; 6 — a, b, c, ... — настенные створные знаки в галерее; 7 — трубчатые створные знаки на гребне плотины

расположения струны у потолка потерны, с помощью теодолита и шкал укрепленных на потолке потерны над струной.

Комбинированный способ применяют, когда опорные пункты створа подвержены смещениям или форма сооружения непрямолинейна. Комбинированный способ — триангуляция в сочетании со створным способом. При этом смещения на контрольных знаках сооружения должны быть определены с учетом происшедших перемещений, концевых знаков створа. На основании полученных данных строятся графики по времени нарастания нагрузок и осадок, перекосы (наклоны) секции сооружения (см. рис. 1-6 и 1-7).

Следует отметить, что в настоящее время в отечественной и зарубежной практике наблюдаются попытки разработать новые, более эффективные способы определения абсолютных перемещений сооружения. Заслуживает, например, внимания оптическое устройство, испытываемое на французской арочной плотине Абен и позволяющее одновременно измерить все 6 составляющих (3 линейных и 3 узловых) смещения контролируемой точки сооружения, что неосуществимо известными спосо-

бами. Устройство основано на свойстве прикрепленных к объекту 3 плоских зеркал отклонять при его смещении отраженные лучи света, падающие на специальный приемный экран. Источники света и приемный экран могут быть значительно удалены от контролируемого сооружения. При расстояниях порядка 100 м предлагаемый оптический способ позволяет фиксировать смещения с точностью ± 2 мм, что вполне достаточно для практических целей.

Второе предложение (Австрия) базируется на использовании системы телерокометров. Из подошвенной отверны бурятся 4 скважины (одна вертикальная и три наклонных) на глубину 1-1,5 м, в которые устанавливаются телерокометры. По измеренным ими изменениям длины в каждом направлении можно вычислить абсолютные смещения (плановые и высотные) выбранной опорной точки, к которой привязана вся наблюдательная система.

Следует также отметить применение в последнее время новых приборов и устройств: оптического отвеса на базе лазера (Чиркейская ГЭС), гидростатического нивелира, светодальномеров и др. [34]. Принципиальное отличие оптического отвеса от обычного (проволочного) в том, что вертикаль, относительно которой определяются горизонтальные смещения контролируемых точек сооружения, задается интенсивным и узким лучом монохроматического света, излучаемого лазером. Отклонение точки от луча фиксируется специальным дистанционным устройством.

Контрольно-измерительная аппаратура (КИА).

Наблюдения за температурным режимом, внутренними деформациями и противодавлением

Основные вопросы, решаемые в период возведения плотины, связаны с оперативным контролем термонапряженного состояния блоков и с выбором оптимальных сроков омоноличивания плотины.

Во время эксплуатации натурные наблюдения за напряжениями на низовой и напорной гранях плотины, за состоянием контактной зоны, межстолбчатых и межблочных горизонтальных швов, противодавлением, прогибами гребня позволяют судить о надежности работы сооружения.

Для определения температурного режима отдельных блоков и всей плотины используются закладные дистанционные термометры, причем для строительного контроля можно рекомендовать термисторы. Наиболее распространенный тип термометров — термометры сопротивления, хотя зарубежные фирмы отдают предпочтение термометрам струнного типа. Термометр устанавливается самостоятельно (для информации о температуре в данной точке) и при шелемерах и тензосметрах, если последние не измеряют температуру.

Деформации в бетоне и скале измеряются закладными тензосметрами. В отечественной практике используются струнные приборы типа ВНИИГ или БТ-300 (ИИС Гидропроект). Последние приборы положены в основу тензосметров ДЛДС (датчики линейных деформаций, струнные). Точность измерения $0,2 \cdot 10^{-5}$, пределы — $\pm 1,5 \cdot 10^{-3}$. В зависимости от расположения тензосметров (группа, состоящая из вертикальных и горизонтальных приборов, плоская или объемная розетки) можно определить деформации и напряжения в точке: главные, нормальные и касательные. Для учета свободных деформаций, вызванных различными явлениями (температура, усадка и пр.) в бетоне в процессе его твердения, при каждой рабочей группе приборов выделяется ненапряженный объем бетона, так называемый "конус", в который устанавливается тензосметр. По показаниям прибора в "конусе" можно также

вычислить величину коэффициента линейного расширения бетона. Для перехода от деформаций к напряжениям необходимо проведение специальных лабораторных испытаний для определения модуля упруго-мгновенных деформаций бетона и его ползучести.

Измерение взаимных перемещений соседних частей сооружения. Взаимное перемещение двух соседних частей сооружения (блоков, секций), разделенных швом, может происходить вследствие изменения температуры этих частей и неравномерной осадки основания, а также вследствие усадки, ползучести и упругих деформаций бетона. Эти деформации вызывают раскрытие и закрытие шва (или трещины). Для наблюдения за раскрытием межсекционных и блочных швов (трещин) используются шелемеры.

По конструкции шелемеры подразделяются: 1) на закладные (дистанционные); и накладные (поверхностные). Накладные шелемеры бывают одно-, двух- и трехосные. Они устанавливаются на швах или трещинах, выходящих на поверхность бетонного массива, доступную для постоянного осмотра (стенки потерны, низовая грань, гребень плотины и др.). Закладные дистанционные шелемеры изготавливаются струнного, реостатного типа, а также с использованием метода магнитной индукции. Используя определенную схему размещения шелемеров и плоскости швов, можно исследовать работу штрабных защеплений.

Пьезодинамометры и пьезометры. Для наблюдений за давлением воды в строительных швах внутри массива устанавливаются струнные пьезодинамометры. Для наблюдения за работой цементационной завесы и определения величины противодействия предусматривается установка в секции сооружения контактного и глубинного опускного пьезометра. Данные конструкции и характеристики КИА изложены в [3].

Принципы и примеры размещения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА)

Схема размещения КИА в плотинах зависит от целей наблюдения, типа и конструктивных особенностей сооружений. Для строительного контроля, когда решается задача борьбы с трещинообразованием в блоках, размещение термометров и тензометров должны обеспечить информацию о характере распределения температуры и деформаций для анализа термонапряженного состояния бетона. К строительному контролю относится также исследование эффективности производства цементационных работ, что достигается анализом результатов показаний шелемеров, установленных таким образом, чтобы иметь картину раскрытия швов по всем картам данной секции.

Для представления о поведении плотины во время эксплуатации обычно проводятся комплексные наблюдения, включающие в себя состояние контактных швов, прогибов гребня, фильтрации, распределения напряжений по граням и т. д.

О температурном режиме секции судят по изотермам, для построения которых необходимо разместить достаточное количество термометров. Деформации (напряжения) исследуются обычно по горизонтальным и вертикальным створам.

Горизонтальные створы располагаются в контактной зоне (скала-бетон) и в нижней части плотины, где сказывается влияние заделки основания (рис. 6-36).

В качестве вертикального створа выбирается напорная и низовая грань. Шаг между размещением групп тензометров назначается в зависимости от размеров плотины (не менее чем одна группа приборов в каждом столбе в горизонтальном створе и не менее 5-7 измерительных точек по высоте плотины).

Для наблюдений за прогибами гребня сооружения выбираются 2-4 секции, которые оборудуются прямыми и обратными отвесами, дающими возможность изме-

рять перемещения различных по высоте точек напорной грани относительно скального основания.

Работа высоких массивно-гравитационных плотин в районах сурового климата имеет определенную специфику, что должно учитываться при составлении схем размещения КИА. В частности, необходимо иметь в виду сезонные раскрытия горизонтальных строительных швов со стороны низовой грани плотины, оснащая эту область термометрами, тензометрами и шелемерами.

Размещение КИА в арочных плотинах должно учитывать особенности их работы и конструкции. Количество розеток тензометров определяется толщиной арки, но безусловно значительно меньше, чем в сечении массивной плотины. Здесь важнейшим условием является то, что при выборе местоположения приборов для конкретного сооружения необходимо принимать во внимание данные расчета и модельные испытания, размещая по возможности приборы в тех точках, для которых есть соответствующие данные. Схемы размещения КИА в некоторых типах сооружений показаны на рис. 6-37 и 6-38.

Рассмотрим примеры размещения КИА в итальянской практике. Пьезометры в арочных и арочно-гравитационных плотинах размещались в одном криволинейном створе, параллельном оси плотины [5]. В гравитационных, а иногда и арочно-гравитационных плотинах помимо такого криволинейного створа устраивались еще и несколько створов, перпендикулярных оси плотины, в каждом из которых располагалось от трех до восьми пьезометров, в зависимости от размеров плотины.

В плотинах типа Марчелло пьезометры располагались таким образом, чтобы проследить за изменением противодавления: а) на участке от напорной грани до полости и б) от оси контрфорса до полости.

Телетензометры размещались в элементе верховой и низовой грани и в центральной части контрфорса. Рядом устанавливались изолированные телетензометры. В гравитационных и арочно-гравитационных плотинах, в зонах, где заведомо ожидается сжимающие напряжения, устанавливались телединамометры обычно рядом с розеткой телетензометров так, чтобы был обеспечен взаимный контроль результатов измерений.

Закладные телетензометры устанавливались в трех-пяти горизонтальных створах. Нижний створ размещался на небольшом расстоянии от основания плотины. Размещение по высоте этих створов примерно равномерное. Число розеток в одном створе зависело от типа и размеров плотины.

В арочных плотинах устанавливались две розетки у верховой и низовой грани на расстоянии 0,30-0,5 м от поверхности. В массивных плотинах в створе устанавливались до пяти розеток равномерно по створу. Столько же розеток устанавливалось и в створах массивных плотин (например, в пробке плотины Вайонт). В тонких арочных плотинах ограничивались одной розеткой у напорной грани, а на низовой грани устанавливались гнезда для съемных деформаторов. Число телетензометров, устанавливавшихся в одной розетке, различно и определялось типом плотины.

Из опыта исследований и наблюдений за деформациями гидротехнических сооружений в периоды строительства и эксплуатации видно, что для измерения наклонов сооружения целесообразно использовать гидростатический нивелир. Как показал опыт наблюдения на Братской ГЭС, для измерения раскрытий межблочных и контактных швов у основания напорной грани можно использовать телетензометры, желательно длиннобазисные [37].

Схему измерений плановых перемещений высоких гравитационных плотин следует строить на основе применения обратных и прямых отвесов и геодезических створов, располагая начало отсчета под плотиной на максимальном удалении от ее подошвы (рис. 6-37).

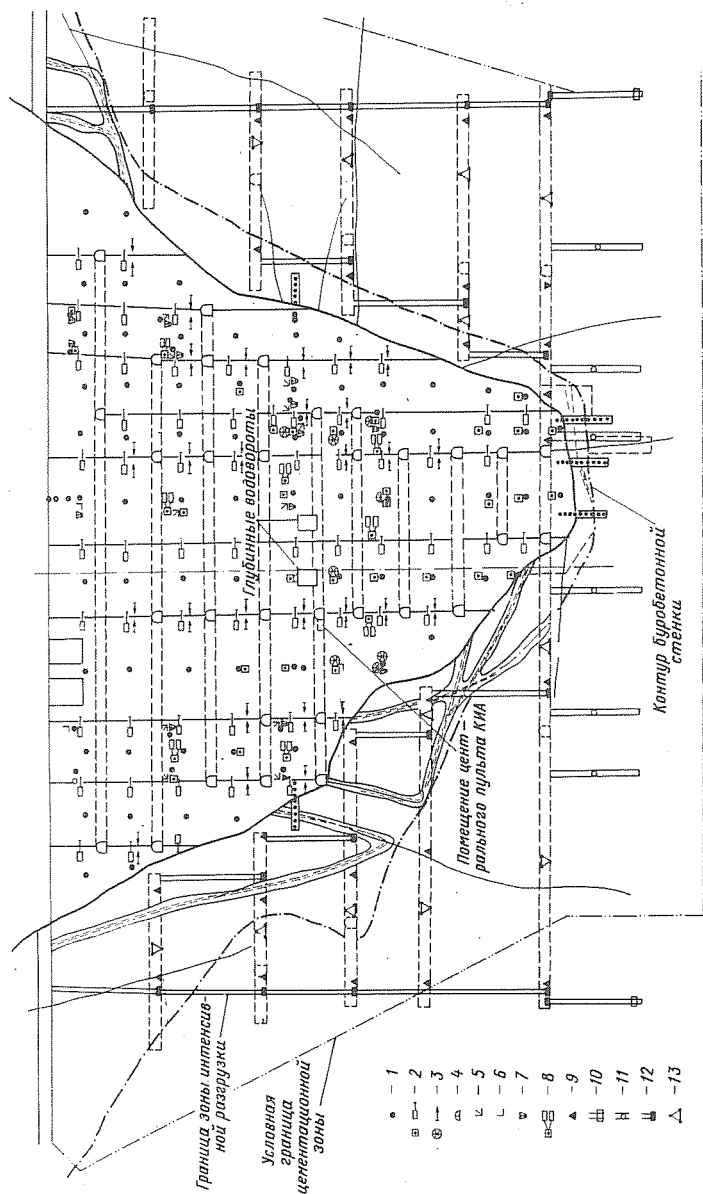


Рис. 6-37. Схема размещения КИА в гравитационной плотине Токтогульской ГЭС

1 — термометр; 2 — шелемер; 3 — ультразвуковой датчик; 4 — тензометрическая розетка из шести приборов; 5 — то же из трех приборов; 6 — то же из двух приборов; 7 — тензометр в конусе; 8 — установка для определения физико-математических характеристик в бетоне; 9 — геодезическая марка; 10 — слангомер; 11 — деформометр скальный; 12 — прямой отвес; 13 — куст из трех шелемеров

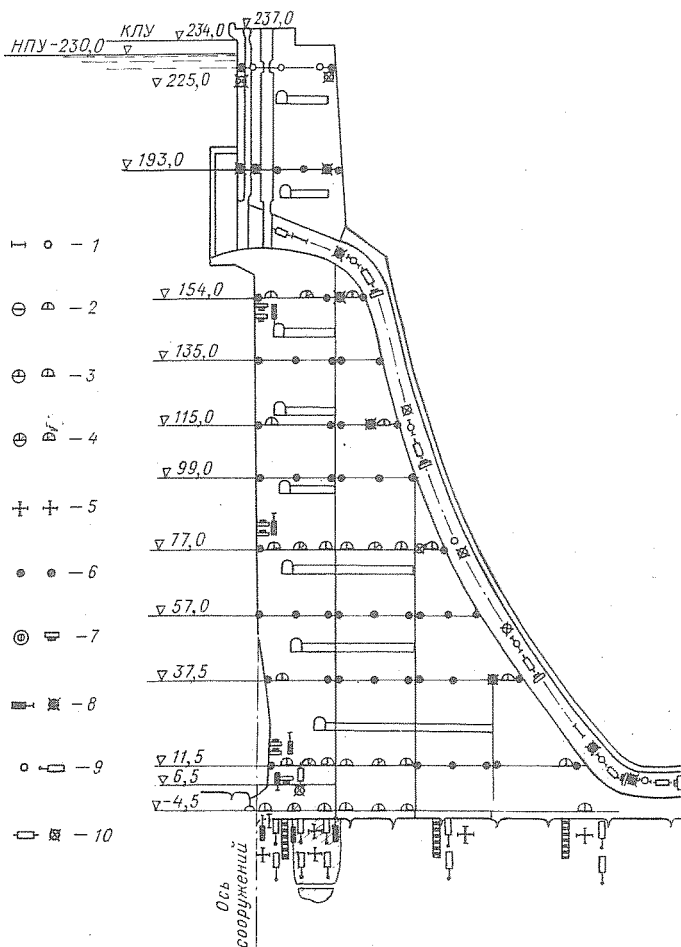


Рис. 6-38. Схема размещения КИА в арочно-гравитационной плотине

1 — тензометр; 2 — группа приборов из четырех тензометров и двух "конусов"; 3 — группа приборов из пяти тензометров и двух "конусов"; 4 — группа приборов из семи тензометров и двух "конусов"; 5 — измерительная точка из трех тензометров и одного "конуса"; 6 — термометр; 7 — пьезодинамометр; 8 — шелемер дистанционный; 9 — измеритель деформации скалы; 10 — арматурный динамометр

Для правильной оценки инженерно-геологических условий строящихся гидроузлов в сейсмоактивных районах и прогнозирования повышения сейсмоактивности за счет наполнения глубоких горных водохранилищ или возможности снижения расчетной сейсмической балльности районов необходимо вести специальные исследования, направленные на установление тектонической напряженности пород, характера и интенсивности тектонических движений, особенно в местах тектонических разрывов земной коры. Для этого сооружения и прилегающие районы оснащаются сейсмотрической аппаратурой в соответствии со специальной программой наблюдений, разрабатываемой специализированными организациями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргал Э. С., Ашихмен Д. А., Баранос Е. С. Омоноличивание бетонных плотин цементацией температурно-усадочных швов. М., "Информэнерго", 1971. 58 с. с ил.
2. Баршевский Б. Н. Сравнение результатов расчета осадок гидротехнических сооружений с данными натурных наблюдений. — В сб.: "Некоторые вопросы машиностроения и строительной механики", ч. Ш. Изд. ЛГУ, 1967, с. 33–38 с ил.
3. Блинков В. В. Методические рекомендации к составлению проекта размещения контрольно-измерительной аппаратуры в бетонных гидротехнических сооружениях. Л., "Энергия", 1972. 100 с. с ил.
4. Васильев П. И. К определению расстояния между температурными швами в бетонных плотинах. — "Известия ВНИИГ", т. 64, 1960, с. 45–49 с ил.
5. Гинзбург М. Б. Натурные исследования бетонных плотин в Италии. Л., "Энергия", 1969. 264 с. с ил.
6. Гаджиев А. Б. О работе уплотнений деформационных швов сооружений Новосибирской ГЭС. — "Гидротехническое строительство", 1966, № 3, с. 20–25 с ил.
7. Гаджиев А. Б. Деформационные швы гидросооружений. Л., "Энергия", 1969. 175 с. с ил.
8. Гаджиев А. Б., Филиппов А. И. К вопросу о теплофизическом расчете асфальтовых уплотнений деформационных швов гидросооружений. — "Гидротехническое строительство", 1972, № 4, с. 37–41 с ил.
9. Гаджиев А. Б., Сумченко Е. И. Влияние сейсмических воздействий на конструкцию уплотнений швов гидросооружений. — "Гидротехническое строительство", 1975, № 1, с. 21–25 с ил.
10. Гидроизоляция энергетических сооружений. Нормы проектирования ВСН-37–70. М., "Энергия", 1972. 85 с. с ил.
11. Горшенниа Г. И., Михайлов Н. В. Реологические исследования изоляционных битумов и битумно-полимерных материалов. Физико-химическая механика дисперсных структур. М., "Наука", 1966. 397 с. с ил.
12. Глебов П. Д., Попченко С. Н. Холодные асфальтовые штукатурки. М., Госэнергоиздат, 1955. 50 с. с ил.
13. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. М., Госэнергоиздат, 1962. 757 с. с ил.
14. Изоляционные полимерные материалы и мастика, применяемые в Англии. М., Госстрой СССР, 1966. 58 с. с ил.

15. Коган Б. А. Противофильтрационное устройство швов гидротехнических сооружений, бюллетень изобретений и товарных знаков. № 22, М., ЦНИИПИ, 1964, с. 95 с ил.
16. Кузнецов Г. И. Опыт производства геодезических измерений плановых перемещений плотины Братской ГЭС. - "Труды координационных совещаний по гидротехнике", вып. 91. Л., "Энергия", 1974, с. 20-23 с ил.
17. Куянджич В., Милованович Д. Влияние землетрясения на плотины Берзед. Пер. С. В. Соловьева. Л., ВНИИГ, 1969. 40 с с ил.
18. Мучник Г. Ф., Рубашов Н. Б. Методы теории теплообмена, ч. 1. Теплопроводность. М., "Высшая школа", 1970. 287 с. с ил.
19. Напетваридзе Ш. Г. Проектирование сейсмостойких гидротехнических, транспортных и специальных сооружений. Т. IV, раздел 1. М., Стройиздат, 1971. 280 с. с ил.
20. Непорожний П. С., Рутковский Б. И. Деформационные швы облицовок канала со шпонками из резины. - "Гидротехническое строительство", 1959, № 7, с. 38 с ил.
21. Нормы и технические условия проектирования бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях (СН 123-60). М., Госстройиздат, 1961. 172 с. с ил.
22. Натурные исследования деформаций гидротехнических сооружений. Главтехстройпроект, НИС Гидропроекта им. С. Я. Жука. 1970. 185 с. с ил.
23. Пересыпкин Э. Н. Методы расчета раскрытия швов и трещин в массивных бетонных конструкциях. Автореф. диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Л., ЛПИ, 1968. 78 с. с ил.
24. Попченко С. Н. Альбом проектов деформационных швов гидросооружений. М., Госэнергониздат, 1961. 108 с. с ил.
25. Попченко С. Н., Стабников Н. В. Поверхностные асфальтовые шпонки в швах гидросооружений. - "Гидротехническое строительство", 1973, № 7, с. 15-18 с ил.
26. Рубинштейн Л. И. Проблема Стефана. Рига, "Звайгзне", 1967. 135 с. с ил.
27. Стабников Н. В. Битумно-полимерные герметики для уплотнения швов. Л., "Энергия", 1968. 42 с. с ил.
28. Строительные нормы и правила, раздел 5, СНиП П.А.12-69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования". М., 1972. 11 с.
29. Строительные нормы и правила, ч. П, раздел И, глава 1. Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования, СНиП П.И.1-62. Госстройиздат, 1966, с. 5-15.
30. Слесарев В. А. Расчет и конструирование антисейсмических швов в конструкциях главного корпуса ТЭЦ. - "Труды Теплоэлектропроекта", вып. 2. М., 1971, с. 43-48 с ил.
31. Толкачев Л. А., Токарь М. И. Проектирование и исследование сейсмостойких плотин в Японии (по материалам IX конгресса по большим плотинам). - "Гидротехническое строительство", 1969, № 10, с. 38-45 с ил.
32. Усиление плотины ГЭС Койна. - "Экспресс-информация. Гидроэнергетика", ВНИИТИ, 1969, № 37, с. 8-11.
33. Сегаль М. С., Хасин Б. Ф. Компенсатор соединения уплотнений деформационного шва гидротехнического сооружения, бюллетень изобретений и товарных знаков № 32, М., ЦНИИПИ, 1970, с. 195 с ил.
34. Чалый Н. И. Натурные исследования статической работы крупных бетонных плотин в периоды их возведения и эксплуатации. - "Труды координационных совещаний по гидротехнике", вып. 91. Л., "Энергия", 1974. 12-20 с. с ил.
35. Шавелев Н. Ф. Уплотнения швов массивных гидросооружений. Л., "Энергия", 1970. 135 с. с ил.

36. Энергетика и энергетическое строительство в США (под ред. П. С. Непорожного). М., "Энергия", 1966. 128 с. с ил.
37. Эйдельман С. Я. Натурные исследования бетонной плотины Братской ГЭС. Л., "Энергия", 1975.
38. Alfredo M. Un Settinodi osservazioni alla diga di Pantano d'Avio. "Energia Elettrica", 1965, v. 42, № 5, p. 297-330.
39. Атанасов Т. П. Устройство на фуги и гидротехническое строительство. София, "Техника", 1965.
40. Gli impianti della Valmalenco e la diga di Alpe Gera, "Costruzioni", 1965, No 112, p. 565-591.
41. Luefsky K., Zopfel M. Grundregeln für Anordnung von Bauwerksdichtungen aus PVC SP. Teil II. Bauplanung - Bautechnik, 1957, No 12, Berlin, S. 533-538.
42. Loader L. M. Vinyl Resin Waterstops, "Water Power", 1958, vol. 10, No 5, p. 199-200.
43. The Ffestiniog Pumped-Storage Development - Stwlan dam. "Water Power", 1963, No 5, p. 185-191.
44. Ferrari C. La diga della Plastra - notizie sulla costruzione. "Rassegna techn. Enel", 1965, No 62, p. 37-46.
45. Grindrod. Now Milton-Hemphillpe, England, J. ELR. "Electric Htch and Power". 1963. No 3, p. 33.
46. Hobst L. Betonvetechni prehrady Skalka no Ohri, Vodni hospodarstvi, 1965, No 7, p. 321.
47. Douglas W. S., Warshaw R. Design of seismic joint for San-Francisco bay tunnel - Proceed. ASCE. I. of the str. Div". 1971. v. 97, N ST4, p.p. 1129-1141.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Деформационные швы бетонных гидротехнических сооружений	7
1-1. Назначение и классификация швов	7
1-2. Деформации сооружений и их влияние на ширину швов	9
1-3. Расстояния между деформационными швами	26
1-4. Схемы компоновки уплотнений в швах сооружений	32
1-5. Выбор конструкций уплотнений деформационных швов	37
1-6. Влияние сейсмических воздействий на конструкцию уплотнений	40
Глава вторая. Конструкция деформационных швов	53
2-1. Деформационные (температурные) швы	53
2-2. Деформационно-осадочные швы	57
2-3. Временные (строительные) швы	59
2-4. Цементация температурных и временных температурно-осадочных швов	64
Глава третья. Конструкции уплотнений деформационных швов	69
3-1. Резиновые и полимерные диафрагмы	69
3-2. Металлические диафрагмы	75
3-3. Асфальтовые уплотнения	80
3-4. Контурные уплотнения	87
3-5. Дренажные устройства	93
3-6. Заполнители асфальтовых шпонок и деформационных швов	94
3-7. Пополнение полости шпонок асфальтовой мастикой	101
3-8. Новый способ разогрева заполнителя асфальтовых шпонок	103
3-9. Теплофизические расчеты асфальтовых уплотнений	106
Глава четвертая. Материалы для уплотнений деформационных швов	114
4-1. Виды гидроизоляционных материалов и их характеристики	114
4-2. Новые полимерные гидроизоляционные материалы	120
Глава пятая. Производство работ по устройству деформационных швов и их уплотнений	129
5-1. Изготовление и транспортировка гидроизоляционных материалов	129
5-2. Способы образования и уплотнения деформационных швов	138
5-3. Техника безопасности при устройстве и эксплуатации деформационных швов и уплотнений	155
5-4. Стоимостные показатели деформационных швов и их уплотнений	165
	239

Глава шестая. Эксплуатация уплотнений деформационных швов	169
6-1. Уплотнения температурных швов в сооружениях на скальном основании	169
6-2. Уплотнение осадочных швов в сооружениях на сжимаемом основании	188
6-3. Уплотнения временных температурно-усадочных швов арочных плотин	198
6-4. Разогрев асфальтовых материалов в шпонках	202
6-5. Анализ и обобщение опыта ремонта уплотнений деформационных швов	208
6-6. Рекомендуемые конструкции уплотнений и деформационных швов и способы их устройства и ремонта	227
6-7. Натурные наблюдения за деформациями сооружений	227
Список литературы	236

Асаф Байрамович Гаджиев

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Редактор Б. И. Леонова
Художественный редактор Б. П. Кузнецов
Технический редактор В. И. Ботикова
Корректор О. С. Денисенко
Обложка Ю. Н. Давыдова

Сдано в набор 11/П 1975 г. Подписано к печати 19/У1 1975 г. М-24075. Формат 60х84/16.
Бумага офсетная № 2. Усл. печ. л. 13,95.
Уч.-изд. л. 15,35. Тираж 1000 экз. Заказ № 327
Цена 78 коп.

Ленинградское отделение издательства "Энергия". 192041,
Ленинград, Марсово поле, 1.

Типография Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 195220, Ленинград,
Гжатская, 21.