МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА РСФСР
ГЛАВСРЕДУРАЛСТРОЙ
Трест ОРГТЕХСТРОЙ

Утверждаю.
Зам. начальника Технического
управления Главсредуралстроя
А. ЛЕЙМАН
28 июля 1966 г.

ВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ЗАДЕЛКЕ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ СПОСОБОМ ИНЪЕКЦИИ

Свердловск 1967

gost.e-ecolog.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Общие положения 3
II. Оборудование и материалы для цементации 10
III. Подготовительные мероприятия и предварительные расчеты . . 26
IV. Технология цементации 37
V. Основные положения по смолизации железобетонных конструкций 41
Приложение I. Значения коэффициента K_1 45
Приложение II. Значения коэффициента K_2 46
Приложение III. Пример расчета параметров инъецирования 48
Приложение IV. Журнал производства работ по цементации 52

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В железобетонных конструкциях в процессе их изготовления, транспорта, монтажа и эксплуатации иногда появляются трещины.

Если вслед за появлением и развитием трещин в растянутом бетоне произойдет разрушение бетона в сжатой зоне, или в нем начнется развитие опасных, нелинейных деформаций ползучести, или, наконец, произойдет выдергивание растянутой арматуры, то можно считать, что для конструкции или ее сечения наступило первое предельное состояние, т. е. разрушение. Но само по себе появление или даже широкое раскрытие трещин в бетоне далеко не всегда означает наступление первого предельного состояния.

Тем не менее трещины ухудшают эксплуатационные качества конструкций, могут служить причиной коррозии арматуры, а в отдельных случаях способны привести к тому, что конструкция вообще перестает удовлетворять своему назначению. В таких случаях принято считать, что наступило третье предельное состояние конструкции (второе предельное состояние характеризуется, как известно, недопустимо большими деформациями).

Строительные нормы и правила (СНиП II-В.1-62) придают третьему предельному состоянию железобетонных конструкций серьезное значение, в них приведены подробные указания по выполнению специальных расчетов, имеющих целью обезопасить конструкции от появления или недопустимо широкого раскрытия трещин. Расчет на появление (лучше сказать — на непоявление) трещин принято называть расчетом на трещинообразование; расчет, преследующий цель ограничить ширину раскрытия трещин, — расчетом на раскрытие трещин.

В обычных железобетонных конструкциях, не имеющих предварительно напряженной арматуры, в зонах, испытывающих растягивающие напряжения, избежать появления хотя бы мелких, волосных трещин в большинстве случаев очень трудно. Известно, что предельная растяжимость бетона составляет 0,0001—

—0,00015. Таким деформациям соответствуют, по закону Гука, напряжения в арматуре всего около 200—300 кг/см². Использовать арматуру в железобетонных конструкциях со столь низкими напряжениями допустимо только там, где она ставится конструктивно.

Рабочим растягивающим напряжениям в арматуре из сталей применяемых классов соответствуют деформации 0,0008—0,0017, что во много раз больше предельной растяжимости бетона. Отсюда следует, что равенство полных абсолютных удлинений бетона и арматуры на каком-либо участке по длине растянутой зоны возможно лишь за счет образования в бетоне трещин. В противном случае пришлось бы допустить проскальзывание арматуры в бетоне, что в корне противоречит самой сущности железобетона.

В появлении и развитии трещин существенную роль играет усадка бетона, вызывающая в армированном бетоне появление начальных растягивающих напряжений. Иногда к вредному влиянию усадки присоединяется также деформация ползучести сжатого бетона.

Таким образом, растянутый бетон выключается из работы железобетонных элементов обычно при меньшей нагрузке, чем та, при которой напряжения в растянутой арматуре достигнут величин рабочих напряжений. Поэтому работа бетона на растяжение в расчетах по первому предельному состоянию во внимание не принимается и все растягивающие усилия передаются на арматуру. Что же касается трещин, то единственное требование норм проектирования сводится лишь к ограничению ширины их раскрытия в зависимости от назначения и условий эксплуатации конструкций или их элементов.

Согласно СНиП II-В.1-62, ширина раскрытия трещин (нормальных и наклонных к оси элемента) в железобетонных конструкциях должна быть не более:

а) для элементов, находящихся под давлением жидкости и работающих на центральное или внецентренное растяжение, если все сечение элемента растянуто (при отсутствии специальных защитных мероприятий), — 0,1 мм;

б) для элементов, находящихся под давлением жидкости и работающих на изгиб и на внецентренное сжатие, а также на внецентренное растяжение, если часть сечения элемента сжата, и для элементов, находящихся под давлением сыпучих материалов, — 0,2 мм;

в) в остальных случаях — 0,3 мм.

При специальных защитных мероприятиях, а также при наличии агрессивной среды предельная ширина раскрытия трещин может устанавливаться по указаниям специальных норм.

Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элементов, допускается не вычислять, если в качестве продольной рабочей арматуры применена горячекатаная сталь классов А-I или А-II.

В растянутых зонах предварительно напряженных железобетонных конструкций бетон, благодаря предварительному обжатию, приобретает значительный резерв прочности, во много раз превышающий его природный предел прочности на растяжение. Вследствие этого предварительно напряженные железобетонные конструкции можно проектировать с таким расчетом, чтобы при действии эксплуатационных нагрузок они полностью были гарантированы от появления трещин.

По степени трещиностойкости СНиП подразделяют предварительно напряженные железобетонные конструкции на три категории.

К 1-й категории относятся конструкции, к которым предъявляются требования непроницаемости (например, напорные трубы, резервуары). Такие конструкции требуется всегда рассчитывать на образование трещин под действием расчетных нагрузок.

Ко 2-й категории трещиностойкости относятся конструкции, к которым требования непроницаемости не предъявляются, но которые:

а) находятся под воздействием агрессивной среды;

б) находятся под действием многократно повторяющихся нагрузок и при этом подлежат специальному расчету на выносливость;

в) запроектированы с напрягаемой арматурой, имеющей нормативное сопротивление более 10 000 кг/см²;

г) находятся на открытом воздухе и работают на знакопеременные нагрузки.

Конструкции 2-й категории, как правило, рассчитываются на трещинообразование, причем по нормативным нагрузкам. В отдельных случаях, специально оговоренных нормами, расчет конструкций 2-й категории или их отдельных зон на трещинообразование можно не производить.

В 3-ю категорию входят остальные предварительно напряженные железобетонные конструкции, не вошедшие в первые две. Эти конструкции на трещинообразование не рассчитываются. В

отдельных случаях, при наличии соответствующих требований, они должны рассчитываться на раскрытие трещин, причем предельная ширина раскрытия трещин принята такая же, как и для обычных железобетонных конструкций.

Необходимо, однако, подчеркнуть, что при всем различии подходов к расчету на трещинообразование или на раскрытие трещин расчет предварительно напряженных железобетонных конструкций по первому предельному состоянию независимо от категорий трещиностойкости производится всегда без учета работы бетона на растяжение. В соответствии с этим основные положения по расчету и конструированию предварительно напряженных конструкций приняты исходя из того, что разрушение элементов может произойти не ранее, чем появятся трещины в растянутом бетоне.

Таким образом, если несущая способность конструкции (элемента, сечения) лимитируется прочностью растянутой зоны, то первое предельное состояние — разрушение — не может наступить раньше, чем будет достигнуто третье предельное состояние. В таких условиях находятся элементы, работающие на осевое и внецентренное растяжение, на изгиб и на внецентренное сжатие при больших эксцентрицитетах продольной силы.

В отдельных случаях первое предельное состояние может наступить одновременно с третьим или последовать за ним очень быстро. В таких случаях предотвратить разрушение элемента (сечения) очень трудно или даже невозможно. В зависимости от конкретных обстоятельств разрушенный элемент восстанавливают, усиливают либо, если это касается, например, элементов заводского массового производства, получивших те или иные повреждения в процессе изготовления, транспорта или монтажа, бракуют.

Во многих случаях повреждение конструкции ограничивается только появлением или раскрытием трещин. Конструкция имеет достаточную несущую способность, но из-за трещин она не может удовлетворять своему назначению. В таких случаях нет оснований браковать конструкцию, необходимо лишь возвратить ей утраченную монолитность.

При усилении конструкций заделке трещин придается второстепенная роль, поскольку трещины перекрываются железобетонными обоймами, накладками и т. п. На практике при усилении железобетонных конструкций, как правило, ограничиваются лишь расчисткой трещин и заделкой их вручную цементным раствором. Способ этот прост, но не совершенен: вследствие усад-

ки нового цементного раствора трещины могут раскрываться снова.

Если повреждение конструкции выражается только в появлении или раскрытии трещин и, следовательно, ремонтно-восстановительные работы сводятся исключительно к восстановлению монолитности конструкции, то качество заделки трещин приобретает первостепенное значение. Для таких случаев наиболее надежным и вместе с тем очень простым способом является инъекция в трещины связывающих веществ под давлением. В качестве таких веществ рекомендуются водоцементные смеси и полимерные смолы. При нагнетании в трещины водоцементных смесей (цементация) вода из них под давлением отфильтровывается, оставляя цементный гель. Гель, сцепляясь со стенками трещины и затвердевая, восстанавливает монолитность конструкции. При нагнетании полимерных смол (смолизация) восстановление монолитности конструкций происходит за счет отвердевания всего введенного в трещины вещества.

Перечислим основные причины появления трещин, которые с достаточной надежностью могут быть заделаны посредством инъецирования:

1) усадка бетона;

2) неправильная распалубка, сопровождающаяся ударами или перегрузкой;

3) не предусмотренная проектом статическая или динамическая перегрузка во время складирования, транспорта и подъема при монтаже;

4) растягивающие усилия у грани, противоположной напрягаемой арматуре во время отпуска натяжения;

5) случайная статическая или случайная кратковременная динамическая перегрузка конструкции в процессе эксплуатации;

6) недостатки проекта или производства работ, приведшие к появлению или широкому раскрытию трещин уже при нормативной статической нагрузке;

7) температурные воздействия;

8) неравномерные осадки опор (после их прекращения).

Инъецирование водоцементных смесей и цементно-песчаных растворов давно и широко применяется на практике в качестве способа укрепления фильтрующих бетонных и железобетонных гидротехнических и подземных сооружений, а также для уплотнения горных пород. В литературе встречаются также отдельные упоминания и указания о применении цементации в основном массивных каменных, бетонных и железобетонных конст-

рукций, используемых в других отраслях строительства. Однако эти указания более редки и относятся к частным случаям.

При этом цементация железобетонных конструкций рассматривается главным образом в сочетании с усилением в качестве одной из составных частей восстановления несущей способности конструкций, пришедших в первое предельное состояние. Как самостоятельный способ восстановления нарушенной монолитности конструкций, находящихся в третьем предельном состоянии, цементация не пользуется широким признанием, ее эффективность в этом отношении, по-видимому, недооценивается.

Более того, иногда высказывается мнение, что создавать инъекцией дополнительное давление внутри конструкции, находящейся под нагрузкой, недопустимо из опасений вызвать полное разрушение*, однако эти опасения преувеличены. Действительно, в самый момент подачи инъецируемой смеси напряжения в растянутой арматуре, пересеченной трещиной, повышаются. Но это повышение наблюдается лишь в течение короткого времени. Если даже допустить, что инъецирование производится при полной нормативной нагрузке, то и в этом случае некоторое повышение напряжений допустимо за счет использования коэффициента перегрузки. По прекращении нагнетания напряжение в арматуре снова падает. Как показали наши опыты, это падение составит приблизительно 80% от первоначального подъема. После отвердения нагнетенного раствора напряжение в арматуре тем более не будет представлять опасности, так как часть растягивающих усилий принимает на себя шов между прослойкой раствора и бетоном. Согласно опытам, прочность шва составляет 50—80% от прочности самого раствора.

Что касается заделки трещин в железобетонных конструкциях посредством инъекции склеивающих полимерных смол, то этот способ вообще новый и, по-видимому, очень перспективный. К настоящему времени нами проделаны лишь первые лабораторные и производственные опыты смолизации, которые еще не дают возможности привести здесь подробные указания по технологии этого способа. Но некоторые сведения, необходимые для освоения его на практике, приведены (см. гл. V).

Следует отметить, что одной инъекцией нельзя восстановить начальную монолитность тех конструкций, появление трещин в

---

* Технические указания по укреплению цементацией и силикатизацией бетонной кладки гидротехнических сооружений, находящихся в эксплуатации, а также дефектного бетона сооружений, вводимых в эксплуатацию (МСЭС-46-58). Госэнергоиздат, 1959, стр. 12.

которых связано с регулярным действием динамических усилий. В таких случаях рекомендуется поступать так же, как и при полном разрушении элементов, — сочетать инъекцию с усилением.

Необходимо отметить, что благодаря изолированности пор оказывается возможным производить инъекцию трещин в изделиях из легких и ячеистых бетонов, не опасаясь того, что цементационная смесь растечется по всему массиву изделия.

II. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЦЕМЕНТАЦИИ

Известны два способа цементации — нажимной и циркуляционный.

При нажимном способе (рис. 1, *а*) весь раствор из насоса поступает в скважину или трещину. Расход раствора определяет-

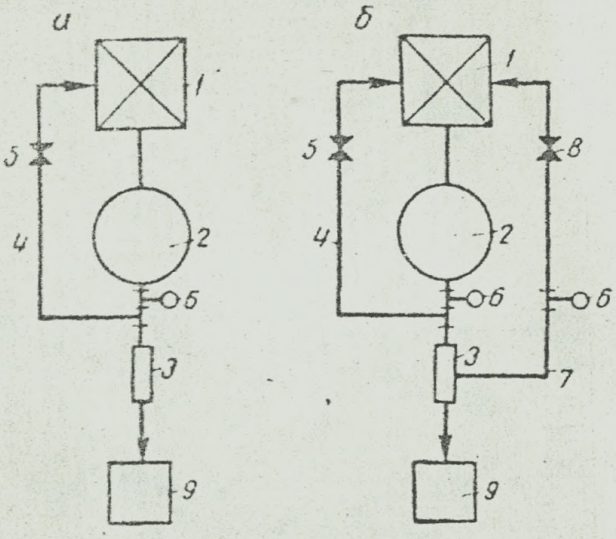


Рис. 1. Технологические схемы нагнетания:

а — нажимная; *б* — циркуляционная; *1* — мешалка; *2* — растворонасос; *3* — инъектор; *4* — возвратный шланг от растворонасоса; *5* — вентиль для регулирования производительности насоса; *6* — манометр; *7* — обратный шланг от инъектора; *8* — вентиль, регулирующий консистенцию раствора в шлангах; *9* — нагнетаемая конструкция.

ся скоростью фильтрации воды из трещины. Такой способ применим при цементации разветвленной сети широко раскрытых трещин, фильтрация воды из которых соизмерима с производительностью примененного насоса.

При цементации мелких или одиночных трещин скорость движения раствора в шлангах снижается до такой степени, что на-

чинается расслоение раствора. Для предотвращения этого явления применяют циркуляционный способ цементации (рис. 1, б), при котором часть раствора из инъектора возвращается по обратному шлангу в приемный бункер растворонасоса.

Оборудование для цементации

Для успешной цементации необходимо следующее оборудование: мешалки для приготовления инъекционного раствора, насосы, инъекторы и система шлангов с арматурой к ним.

Мешалки для приготовления инъекционных смесей. Приготовление инъекционного раствора должно про-

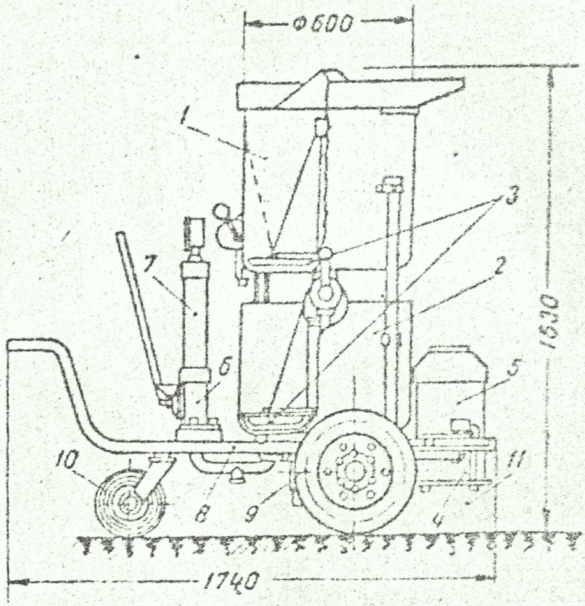


Рис. 2. Схема агрегата для приготовления и нагнетания инъекционного раствора:

1 — резервуар для приготовления раствора; 2 — резервуар для хранения раствора; 3 — лопасти для перемешивания; 4 — редуктор; 5 — электромотор; 6 — ручной насос; 7 — колпак ручного насоса; 8 — рама; 9 и 10 — колеса резиновые.

изводиться только в механических мешалках. Механическое перемешивание обеспечивает высокое качество раствора — снижает его расслаиваемость и вязкость, повышает прочность по сравнению с ручным перемешиванием. Для приготовления инъекци-

сного раствора могут применяться следующие механизмы: установка СоюздорНИИ (ИУ-100), растворомешалки — нагнетатели Мостоотрядов № 1, 2 и др.

Для приготовления и нагнетания инъекционного раствора целесообразно применять специальный агрегат, разработанный НИИЖБом* (рис. 2).

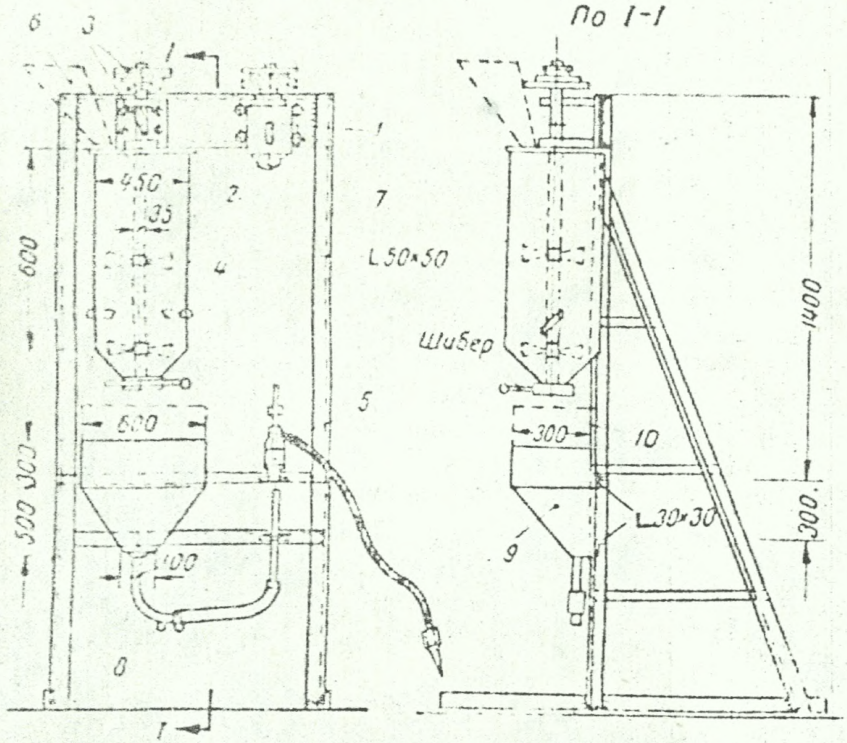


Рис. 3. Упрощенная механическая мешалка для приготовления инъекционного раствора:

1 — электродвигатель; *2* — бак для перемешивания раствора; *3* — шкивы и вал с рабочими лопастями; *4* — неподвижные лопасти; *5* — насос; *6* — воронка; *7* — рама; *8* — отверстие для спуска воды и раствора; *9* — бункер для раствора; *10* — сито для процеживания раствора.

Агрегат смонтирован из механической мешалки, резервуара для готового раствора и насоса.

При отсутствии специального агрегата для приготовления инъекционного раствора можно изготовить в мастерской завода

---

* Руководство по инъецированию каналов предварительно напряженных железобетонных конструкций, Госстройиздат, 1962.

или на полигоне более простую мешалку (рис. 3). В такой мешалке лопастям пропеллерного типа может быть придана скорость вращения до 1000—1500 об/мин, что улучшит перемешивание.

Насосы для нагнетания инъекционных смесей. В приведенных выше агрегатах для нагнетания применяются ручные насосы (табл. 1). Применение ручных растворонасосов

Таблица 1

Техническая характеристика ручных насосов для нагнетания растворов в арматурные каналы

Показатели	Тип насосов		
	С-420	ЦКБ Минстроя	Главмонтажспецстроя
Производительность, м³/час	0,18	0,05	0,05
Максимальное рабочее давление, ати	6	6	8—10
Габаритные размеры, мм:			
длина	1300	1000	1150
ширина	670	400	220
высота	940	765	500
Вес, кг	79	45	20

целесообразно лишь при небольших объемах работ. При необходимости провести большое количество инъекционных работ за короткое время целесообразнее применять механические растворонасосы (табл. 2).

Исследования показывают, что с целью предупреждения расслаивания раствора в шлангах наиболее целесообразно нагнетание растворов производить при помощи пневмонагнетателей (табл. 3), получающих сжатый воздух от передвижных компрессоров (табл. 4) и дающих возможность добиться установившегося режима движения раствора в шлангах, однако возможные прорывы воздуха в скважину снижают надежность цементации *.

Инъекторы и система шлангов. Все применяемые в настоящее время инъекторы можно подразделить, соответственно двум технологическим схемам цементации (см. рис. 1), на нажимные (рис. 4, *а*; 5, *а*, *в*) и циркуляционные (рис. 4, *б*; 5, *б*). Кроме того, инъекторы разделяются на трубчатые (глубинные) и

* Инструкция по транспортированию и нагнетанию строительных растворов по трубопроводам, Госстройиздат, 1962.

Техническая характерис

тика растворонасосов

Таблица 2

Показатели	Марка и тип													
	С-251*	МЖГС**	МСМ-1**	ТМШ-2**	ДН-1**	ЮжНИИ**	ВН-2*	С-263*	С-211А**	С-317*	С-211**	С-232*
	одноплунжерный противоточный	одноплунжерный прямоточный		одноплунжерный противоточный		вибрационный		одноплунжерный противоточный				
Создаваемое движение	Неустановившееся					Близко к установившемуся		Неустановившееся				
Производительность, м³/час	1	1,2—1,5	1,5	1—1,2	1,4	1,4—2	3	3	3	6	6	6
Допускаемое рабочее давление, атм	10	15	15	8	10	10	20	15	15	15	15	15
Типы клапанов	Шаровые		Пробковый	Шаровые		Плоские с резиновыми дисками		Шаровые				
Число клапанов, шт	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Диаметр плунжера, мм	80	116	80	74	—	—	—	80	110	110	110	110
Ход плунжера, мм	74	38	90	70	—	10	16	86	110	120	130	110
Число ходов плунжера в 1 мин.	90	86—120	60	105	160	1410	980	180	80	138	80	160
Тип диафрагмы	Плоская резиновая	Без диафрагмы		Плоская		Резиновая		Цилиндрическая резиновая		Плоская резиновая	Цилиндрическая резиновая	
Мощность электродвигателя, квт	1,7	2,2	4,2	2,2	2,8	1	1,7	2,2	3,5	7	6,5	5,8
Емкость бункера, л	—	80	100	80	45	150	—	—	120	—	120	120
Габаритные размеры, мм:												
длина	1180	1327	1400	1330	1164	850	470	1240	2000	1200	2015	2000
ширина	470	828	750	720	675	460	375	445	800	560	830	800
высота	760	1132	1050	1070	1044	590	640	760	1300	1000	1200	1300
Вес (без бункера), кг	198	270	400	280	260	60	95	198	750	450	800	750
Цена, руб.	200	—	—	—	—	—	—	330	—	690	—	—

* Серийно выпускаемые заводами.
** В настоящее время сняты с производства.

Таблица 3

Техническая характеристика пневматических растворонагнетателей и красконагнетателей

Показатели	Марки растворонагнетателей							Марки красконагнетательных бачков			
	Кр-НМ	НИИОМТП	установка для жестких растворов: Ростокинского завода	установка для жестких растворов: Дмитровского завода	С-573	установка для бетонной смеси Ростокинского завода с нагнетателем емкостью 400 л	установка для бетонной смеси Ростокинского завода с нагнетателем емкостью 800 л	С-383	О-15	О-20	О-25
Тип	Двухцилиндровый	Одноцилиндровый									
Производительность, м³/час	1,2—1,5	1,2—1,5	2	2	3	6	12	—	—	—	—
Допускаемое рабочее давление, атм	5—7	5—7	7	10	7	6	6	4	3	4	4
Емкость цилиндра, л	60	125	150	235	300	400	800	16	8	20	10
Мощность электродвигателя, квт	—	—	—	4,5	—	—	—	—	—	—	—
Габаритные размеры, мм:											
длина	1089	1275	2300	2500	1380	2120	1890	315	275	360	360
ширина	750	1050	1250	1200	1380	2453	2453	315	275	360	360
высота	1215	1860	1550	1000	1820	2175	2430	730	500	650	460
Вес, кг	220	273	1000	1000	550	1185	1344	19,8	10,0	26,5	23,0

Таблица 4

Техническая характеристика компрессоров

Марки	Производительность, л/мин	Конечное давление, атм	Габаритные размеры, мм	Вес, кг
О-38А	0,25	7	1200×490×900	110
О-38	0,5	6—7	1050×480×910	200
ВВ-90	0,5	5	2000×900×1300	500
К-75	1,25	7	1400×855×1470	810
ВВК-155*	2,0	6	2600×1445×1820	917
ЭК-16*	2,5	8	2000×960×1280	1665
КСЭ-3М*	3	7	1970×1000×1285	1110
ПКС-3М (станция)*	3	7	3580×1490×1235	1695
ПКС-5 (станция)*	5	7	4985×1870×2020	2860
КСЭ-6М*	6	7	2120×1095×1285	1500
О-21**	6	3	390×184×285	15,0
КПУ-10**	10	4		150
О-22**	15	4	1150×495×810	110
О-16А**	30	4	1060×482×1000	134

* Для группы растворонагнетателей.
** Для красконагнетателей.

поверхностные. Трубчатые инъекторы закрепляются в скважине при помощи резинового уплотнителя, а поверхностные требуют для крепления каких-либо приспособлений. Устройство трубчатого инъектора показано на рис. 4 *. После введения уплотнителя инъектора в скважину навинчивают гайку 7, которая через трубку 6 нажимает на уплотнитель 4. Укорачиваясь в осевом направлении и вследствие этого расширяясь в радиальном, уплотнитель прочно закрепляет инъектор в скважине.

Скважина в бетоне для трубчатого инъектора должна быть диаметром на 2—3 мм более наружного диаметра уплотнителя, глубиной не менее 2—3 диаметров.

Для устройства скважины можно использовать электросверлилки, электромолотки, пневматические молотки и перфораторы.

* Опытно-теоретические исследования железобетонных конструкций (сб. статей). Трансжелдориздат, 1940, стр. 124.

Технические данные электросверлилок, применяемых и в бетоне с малоабразивным

Показатели	Тип электро				
	С-469	С-437	С-480	С-479	С-455
Полезная мощность при номинальной нагрузке, вт	120	120	270	400	600
Напряжение, в	220	220	220	220	220
Частота, гц	50	50	50	50	50
Скорость вращения шпинделя при номинальной нагрузке, об/мин	3000	1380	650	518	560
Режим работы	Продол-жит.	Продол-жит.	ПВ=60%	Продол-жит.	Продол-жит.
Тип двигателя	К	К	К	К	Т
Конус Морзе шпинделя	Наружн. укороч. № 1а	Наружн. укороч. № 1в	Внутр. № 1	Наружн. укороч. № 2	Внутр. № 2
Максимальный диаметр сверления для стали, мм	6	8	15	23	32
Размеры, мм					
длина	226,5	239	401	360	374
ширина	63	68	190	148	353
высота	133,5	133,5	135	380	235
Вес, кг	1,26	1,4	2,7	4,2	9,8
Электроинструментальный завод-изготовитель	Ростовский			Выборгский	

Таблица 5

для сверления отверстий в кирпиче наполнителем (кирпич, известняк)

сверлилки							
С-363	С-531	С-478	И-38Б	И-28А	И-29А	И-74А	И-59
100	450	600	400	600	600	110	800
36	36	36	220	220	220	36	36
200	200	200	50	50	50	200	200
1200	680	495	710±10	300	310	3000	350
ПВ=60%	Продол-жит.	Продол-жит.	ПВ=60%	Продол-жит.	ПВ=40%	—	—
Т	Т	Т	К	К	Т	Т	Т
Наружн. № 2а	Внутр. № 1	Внутр. № 2	Внутр. № 1	Внутр. № 2	Внутр. № 2	Наружн. № 1а	Внутр. № 2
8	15	23	15	20	23	5	20
230	338	320	387	485	620	213	455
70	75	100	95	148	145	70	112
130	334	378	230	370	355	130	360
1,7	2,6	6,2	3,15	6,0	11,0	1,7	7,0
Даугавпилсский			Ростовский		Даугавпилсский		

Специальных электросверлилок для сверления отверстий в бетоне промышленность не выпускает, поэтому для указанной цели применяются подходящие по характеристике электросверлилки, предназначенные для сверления по металлу (табл. 5).

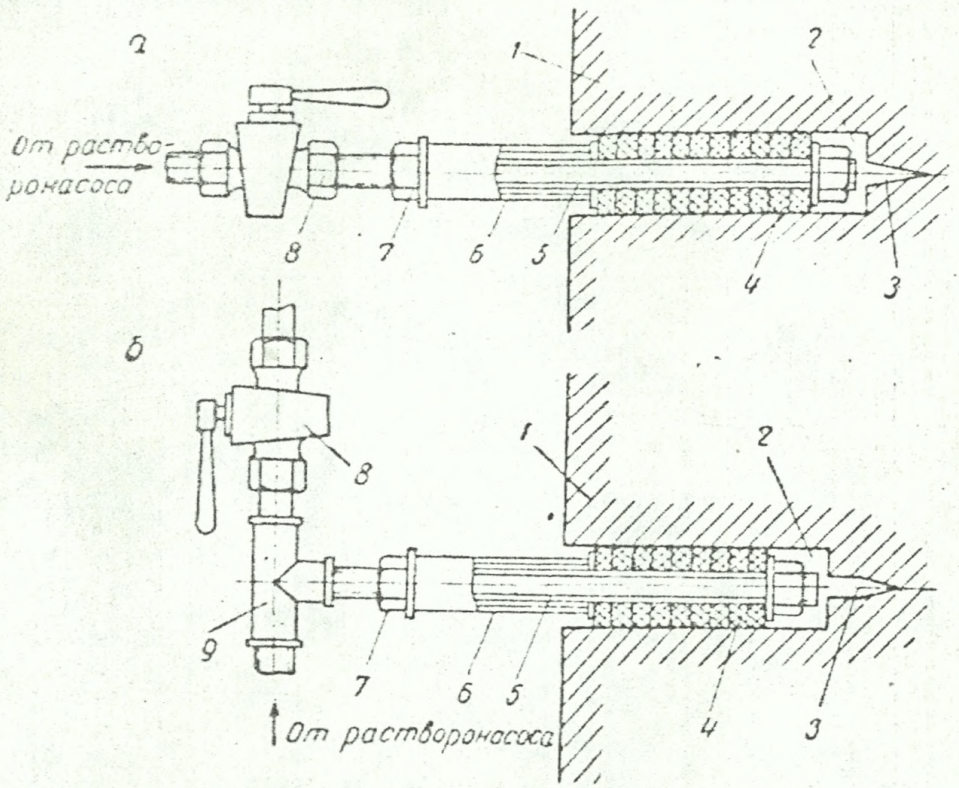


Рис. 4. Инъекторы глубинного типа:

а — нажимной; *б* — циркуляционный;
1 — восстанавливаемая конструкция; *2* — скважина в конструкции; *3* — трещина; *4* — резиновый уплотнитель; *5* — напорная (инъекционная) трубка; *6* — нажимная трубка; *7* — нажимная гайка; *8* — пробковый кран; *9* — тройник.

Электромолотки ударно-поворотного действия типа С-494 и С-494А (табл. 6) с трехфазным асинхронным двигателем 220 в промышленной частоты изготовляются Даугавпилсским заводом «Электроинструмент» (Латвийская ССР). В настоящее время разработан и изготовлен облегченный электромолоток ударно-поворотного действия типа С-610.

Для пробивки ударным методом бетона прочных марок с высокоабразивными наполнителями (гранит, песчаник) используют механизмы для металлообработки и механизмы, применяе-

мые в горном деле, — пневмомолотки ударно-поворотного действия (перфораторы) (табл. 7). Перфораторы изготовляются на Криворожском заводе «Коммунист» и могут применяться лишь при наличии на месте производства работ передвижной компрес-

Таблица 6

Технические данные электромеханических молотков

Технические данные	С-494	С-494А	С-616
Мощность двигателя, вт	500	350	120
Напряжение, в	220	220	220
Потребляемый ток, а	2,3	1,6	
Частота, гц	50	50	50
Тип двигателя	Асинхронный трехфазный	Асинхронный трехфазный АН-42-2	Коллекторный однофазный
Скорость вращения рабочего инструмента, об/мин	130	100	100
Число ударов в минуту	2600	2400	1600
Энергия удара, кгм	0,4	0,4	0,2
Режим работы	ПВ=60%	ПВ=60%	ПВ=50%
Наибольший диаметр пробиваемого отверстия по бетону, мм	30	30	12
Вес молотка (без кабеля и инструмента), кг	8	9	4

Таблица 7

Технические данные пневматических перфораторов РП-17 и ПР-18 (ГОСТ 8120-56)

Технические данные	РП-17	ПР-18
Вес, кг	16,5	18
Длина, мм	540	650
Внутренний диаметр воздушного шланга, мм	19	16
Размеры хвостовика шестигранной буровой штанги, мм	22×82	22×82
Технические данные при давлении сжатого воздуха 5 кг/см²:		
расход воздуха, м³/мин	1,8	2,0
крутящий момент, кгсм	35	50
энергия удара, кгм	—	2,5
число ударов в минуту	1780	1700
скорость вращения, об/мин	195	—

сорной установки (см. табл. 4). Во всех случаях рабочий инструмент должен иметь металлокерамические коронки.

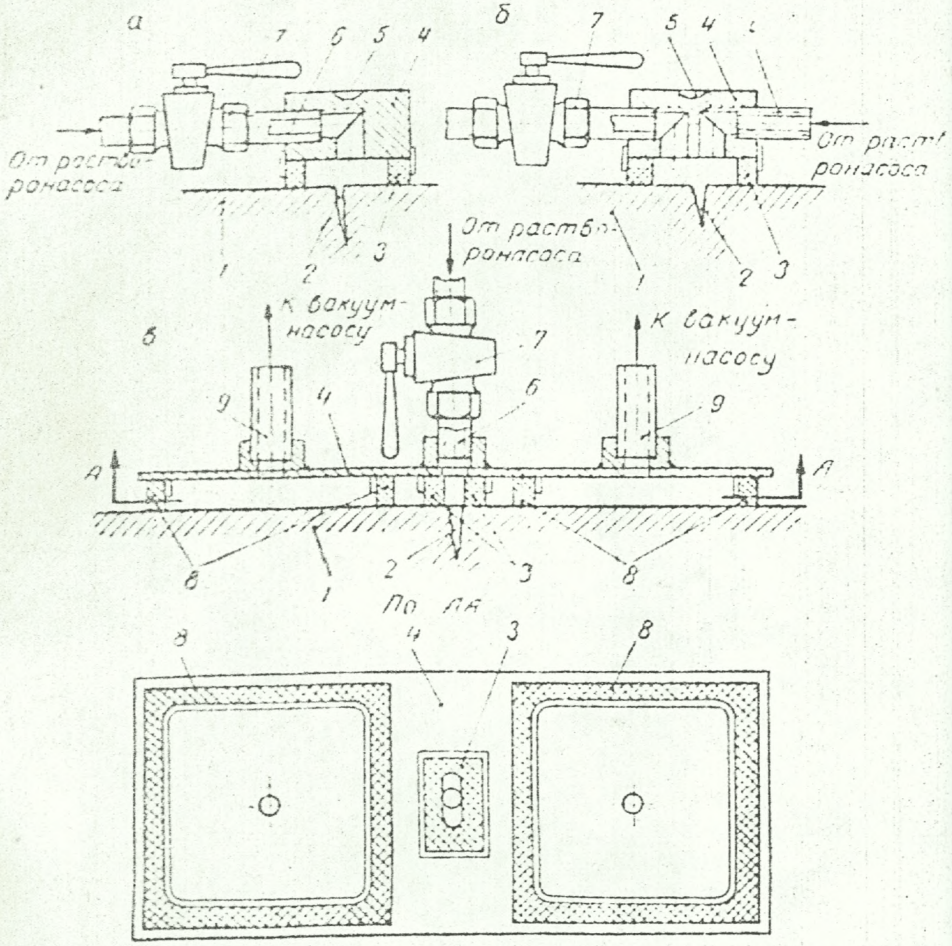


Рис. 5. Инъекторы поверхностного типа:

а — нажимной; *б* — циркуляционный; *в* — вакуумный нажимной; *1* — восстанавливаемая конструкция; *2* — трещина; *3* — резиновый уплотнитель напорной камеры; *4* — корпус инъектора; *5* — выемка для упора струбцины или домкрата; *6* — напорный патрубок; *7* — пробковый кран; *8* — резиновый уплотнитель вакуумной камеры; *9* — вакуумный патрубок.

Разновидности инъекторов поверхностного типа приведены на рис. 5. Поверхностные инъекторы прижимаются к конструкции при помощи струбцин, домкратов, вакуума и других приспособлений.

Применение вакуумного крепления (рис. 5, *а*) * намного облегчает и ускоряет процесс установки инъектора, но в отдельных случаях может потребовать предварительного выравнивания поверхности бетона. После включения устройства, создающего вакуум, инъектор следует поднести к конструкции и слегка прижать к ней, после чего инъектор плотно присасывается. Для создания вакуума можно использовать вакуумные насосы (табл. 8) или компрессоры небольшой производительности (см. табл. 4) с присоединением вакуумного шланга к всасывающему патрубку.

Таблица 9

Техническая характеристика вакуумных насосов

Показатели	Насосы вращательные				Насосы газобалластные	
	ВН-1	ВН-2	ВН-4	ВН-6	ВН-1Г	ВН-6Г
Производительность (л/сек) при давлении:						
760 мм рт. ст.	18,3	7,0	59,0	155,0	59,0	151
100 мм рт. ст.	17,0	6,5	47,0	127	47,0	127
Число оборотов шкива, об/мин	500	525	500	360	500	360
Остаточное давление, мк рт. ст.	3	3	5	10	5	10
Герметизация и смазка механизма	Масл.	Масл.	Масл.	Масл.	Масл.	Масл.
Марка масла	ВМ-4	ВМ-4	ВМ-4	ВМ-4	ВМ-4	ВМ-4
Количество масла на одну заправку, л	3,7—3,8	1,9—2,0	16	55	16	55
Система смазки	Принуд.	Принуд.	Принуд.	Принуд.	Принуд.	Принуд.
Охлаждение	Воздух самоохл.	Воздух самоохл.	Вода 2300 л/час	Вода 1000 л/час	Вода 2300 л/час	Вода 1000 л/час
Габариты, мм:						
длина	910	690	1635	1905	1635	1905
высота	625	560	1420	1975	1420	1975
ширина	605	490	875	900	875	900
Вес, кг	312	180	1050	2050	955	2050
Характеристика электродвигателя:						
мощность, квт	2,8	1,7	7,0	20,0	7,0	20,0
число оборотов, об/мин	1500	1500	1000	1000	1000	1000
напряжение, в	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380

* Разработано М. И. Бычковым, В. Н. Сердобольским и Б. Е. Огородновым.

Присоединение осуществляется через специально изготовленную переходную коробку, охватывающую заборный вакуумный фильтр компрессора. Фильтр следует оставить в коробке, так как возможно поступление цементной пыли из вакуумных камер инъектора.

При выборе глубинного или поверхностного инъектора необходимо учитывать следующее.

Глубинные инъекторы позволяют подавать смесь непосредственно в бетонный массив, развивать большие давления и цементировать при этом самые узкие трещины (раскрытие 0,1 мм и менее).

Поверхностные инъекторы не требуют бурения скважин, но должны комплектоваться оборудованием для их крепления на конструкции. Цементируют трещины более 0,2—0,3 мм.

К растворонасосу большой производительности (при большом объеме работ) можно присоединить несколько инъекторов, устраивая разветвление в нагнетательном шланге, однако во всех случаях от каждого циркуляционного инъектора должен идти самостоятельный обратный шланг для возможности контроля консистенции водоцементной смеси в каждом инъекторе.

Материалы для цементации

Марка цемента, применяемого для цементации бетонных и железобетонных конструкций, должна быть не ниже 400, а прочность цементационного раствора к моменту загрузки — на 20—25% выше марки бетона конструкции.

При выборе вида цемента для производства цементации необходимо руководствоваться следующими общими правилами.

а) Наивысшую прочность цементационного шва дает чистый портландский цемент. Все добавки только снижают прочность сцепления.

б) Расширяющиеся цементы дают сравнительно высокую прочность сцепления при твердении в стесненных условиях трещины, однако в среде с переменной влажностью прочность сцепления растворов на расширяющихся цементах со стенками трещины резко падает, поэтому расширяющиеся цементы можно применять только в условиях постоянной влажности.

в) При ремонте сооружений, в которых применены специальные виды цементов (сульфатостойкий, кислотоупорный, жароупорный), в первую очередь следует заботиться о стойкости инъецируемого вещества; в таких случаях необходимо применять для

цементации тот же вид цемента, обеспечивая достаточную прочность шва выбором соответствующей марки цемента.

г) Глиноземистый цемент уступает обычному портландцементу в отношении защиты арматуры от коррозии, поэтому для инъекционных растворов он не может быть рекомендован.

Как показали опыты ПИИЖБа, важное значение имеет нормальная густота цементного теста, определение которой проводится по стандартной методике испытания цементов. Для инъекционных растворов целесообразно применять цементы с нормальной густотой цементного теста в пределах 22—28%.

Для лучшего заполнения тонких трещин цемент полезно перед инъецированием просеивать через сито с 4900 отв/см². Еще лучших результатов можно добиться, если пользоваться цементами, домолотыми до удельной поверхности 5000—7000 см²/г.

В отдельных случаях в цементационные растворы полезно вводить пластифицирующие добавки (см. гл. IV).

III. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ

Осуществлению инъекции должно предшествовать выполнение подготовительных работ, объем и содержание которых зависят от назначения и сложности сооружения, его состояния, трудности выяснения причин повреждений и других конкретных условий. В общем случае в состав подготовительных работ входит:

а) обследование конструкции (сооружения, элемента);

б) поверочные расчеты;

в) изучение причин появления трещин;

г) выбор метода восстановления или усиления конструкции — одна инъекция или в сочетании с усилением; какая именно инъекция — цементация или смолизация; возможны и такие случаи, когда наилучшим оказывается вариант усиления без инъекции (такие случаи здесь не рассматриваются);

д) определение максимально допустимого давления при инъекции различных конструктивных элементов и их отдельных участков;

е) определение оптимальной нагрузки, под действием которой целесообразно производить инъекцию;

ж) в отдельных случаях полезна предварительная, пробная цементация или смолизация;

з) составление проекта производства инъекционных работ.

В задачу и объем обследования входят: тщательный осмотр конструкций (сооружения) с измерением ширины раскрытия и зарисовкой трещин и фиксацией других дефектов; освидетельствование тех мест, где по внешним признакам можно предполагать наличие опасных перенапряжений в бетоне на сжатие и на срез; подбор и изучение проектной и другой технической документации, характеризующей условия строительства и эксплуатации (журналы работ, акты на скрытые работы, материалы предыдущих обследований и экспертиз); опрос лиц, имевших отношение к возведению или изготовлению и монтажу конструкций, а также на-

блюдавших за их состоянием в процессе эксплуатации; сверка в необходимых случаях внешних размеров конструктивных элементов, а также сечений, классов (марок) и расположения арматуры с соответствующими проектными данными; выяснение проектной и фактической (к моменту обследования) прочности бетона. Наряду с этим полезно выяснить вид и активность цемента, а также состав бетона. Для предварительно напряженных конструкций необходимо узнать все обстоятельства, относящиеся к заготовке, натяжению и анкеровке напряженной арматуры, — величину контролируемого натяжения и конструкцию анкеров, если они имеются. Для предварительно напряженной арматуры в виде упрочненных стержней следует выяснить проектную и фактическую величину предварительной вытяжки, а также способ и точность контроля упрочнения.

На основании обследования конструкции составляется дефектная ведомость, в которую следует вносить эскизы или фотографии повреждений с указанием мест расположения трещин, ширины их раскрытия, если возможно — глубины распространения, а также особые отметки — например, о времени и обстоятельствах появления трещины, качестве бетона, состоянии арматуры и о находящихся поблизости от шва бетонирования стыках или обрывах арматуры (в монолитных и сборно-монолитных конструкциях).

Поверочный расчет производится с целью сопоставления несущей способности конструкции с фактическими нагрузками и выявления величины резерва прочности. Расчет целесообразно производить не по условным расчетным, а по фактическим показателям прочности бетона и арматуры, полученным при обследовании. Это дает возможность более правильно определить запасы прочности в отдельных элементах и, в частности, в пересеченной трещинами арматуре.

В тех случаях, когда появление и раскрытие трещин непосредственно связано с действием нормативной или расчетной эксплуатационной нагрузки, рекомендуется в дополнение к расчету прочности произвести расчет по третьему предельному состоянию — на трещиностойкость или на раскрытие трещин, в зависимости от категории трещиностойкости, к которой принадлежит конструкция.

При выполнении поверочных расчетов можно пользоваться исходными расчетами, хранящимися в архивах проектных институтов. При наличии широко раскрытых трещин, свидетельствующих о близком появлении или уже появившихся пластических шарнирах, при выполнении расчета статически неопределимых конструк-

ций следует учитывать перераспределение усилий, вызванное пластическими деформациями арматуры и бетона.

Нередко дефекты в конструкциях, особенно крупные, появляются вследствие не одной, а нескольких причин. Во избежание поспешных выводов и решений необходимо с должной обективностью установить всю совокупность причин повреждений и степень влияния каждой из них на состояние конструкции.

Для каждого элемента или участка конструкции прежде всего должен быть сделан принципиальный выбор одного из следующих вариантов:

а) инъецирование трещин;

б) усиление без инъецирования;

в) инъецирование с усилением в той или иной последовательности в зависимости от состояния конструкции и принятого способа усиления.

В случае, если признана необходимость усиления, то решается вопрос о способе и степени капитальности его, после чего составляется соответствующий проект. Как правило, усиление с одновременной инъекцией или без нее производится в тех случаях, когда:

а) наряду с трещинами в растянутом бетоне есть признаки опасных напряжений в сжатой зоне;

б) появление или развитие трещин вызывает или увеличивает вибрацию и отрицательно влияет на режим работы машин, установленных на поврежденной конструкции или перемещающихся по ней;

в) напряжения в растянутой арматуре, пересеченной трещинами, настолько высоки, что даже небольшое и кратковременное их увеличение вследствие давления инъецируемого вещества угрожает опасными последствиями, а снять с конструкции часть нагрузки на время инъецирования невозможно;

г) наряду с восстановлением конструкции требуется увеличение ее несущей способности в связи с предполагаемым увеличением нагрузки.

Наряду с принципиальным решением о целесообразности проведения инъекции, должны быть определены: вид вяжущего и его марка, способ инъекции и тип инъекторов, а также буровое, насосное и электросиловое оборудование. Решаются также другие принципиальные технические и организационные вопросы, которые могут возникнуть при составлении проекта производства работ.

При выборе вяжущего (цементация или смолизация) нужно руководствоваться следующими соображениями:

а) цементация доступнее и дешевле смолизации, кроме того, позволяет инъецировать трещины раскрытием примерно от 0,1 мм; сцепление цементационного камня с бетоном в общем ниже прочности самого бетона на растяжение и срез, но этот недостаток можно компенсировать повышенным давлением и производством работ под более высокой нагрузкой (см. стр. 36);

б) смолизация дороже цементации, что объясняется высокой стоимостью полимерных смол; наиболее качественные смолы и отвердители для них пока дефицитны; смолизация практически применялась при ширине раскрытия трещин от 0,2 мм, но есть основания полагать, что при соответствующем давлении смолизация возможна и для более мелких трещин; прочность сцепления отвердевшей смолы с бетоном, как правило, выше прочности самого бетона (табл. 9). Давление практически не влияет на прочность смолизационного шва, поэтому при небольших допустимых давлениях нагнетания предпочтительна смолизация.

Таблица 9

Свойства пластобетонов на различных полимерных вяжущих

Показатели	На эпоксидной смоле	На фурфуролацетоновом мономере	На полиэфирной смоле
Объемный вес 1 см³	1,9—2,0	2,0—2,1	1,25—2,31
Предел прочности, кг/см²:			
при сжатии	800—1000	100—500	1100—1200
при растяжении	120—150	61—75	120—140
при изгибе	550—400	150—220	350—400
Водопоглощение, %	0,55	0,01	0,10—0,50
Усадка, %	0,03	0,08	0,004
Модуль упругости, кг/см²×10⁵	1,2—1,5	3,0	3,10—3,50

Время, необходимое для отвердения смол, в общем случае меньше, чем для образования достаточно прочного цементного камня.

Эффективность инъекции определяется в конечном счете сопротивлением конструкции раскрытию заинъецированных трещин при последующей эксплуатации. Инъекция достигнет своей цели, если сопротивление разрыву швов окажется не меньшим, чем сопротивление трещинообразованию неповрежденных участков бетона между заделанными трещинами.

Кроме того, эффективность инъекции находится в прямой зависимости от величины внешней нагрузки, при которой ведется инъекция. Чем ближе эта нагрузка к полной эксплуатационной на-

грузке на конструкцию, тем меньше возможная последующая догрузка ее по окончании ремонта и тем, следовательно, меньше будут растягивающие усилия на швы. А это, в свою очередь, означает, что в целях надежности инъекции выгодно вести работы при действии на конструкцию возможно большей нагрузки. Если бы, например, по условию прочности конструкции или ее сечения представилось возможным производить инъекцию под нагрузкой, превышающей нормативную эксплуатационную, то при снижении нагрузки до нормативной в швах возникли бы сжимающие напряжения. Но такой случай может представиться сравнительно редко.

Создаваемое при инъекции давление вызывает дополнительное напряжение в пересеченной трещиной растянутой арматуре. В связи с этим конструкция или ее сечение во время инъекции в большей или меньшей степени (в зависимости от величины давления) приближается к первому предельному состоянию, которое, однако, допустить ни в каком случае нельзя.

Таким образом, стремление обеспечить наиболее надежную заделку трещин в конструкции, находящейся под внешней нагрузкой, вступает в противоречие с требованием безопасности против разрушения конструкции под давлением инъецируемой смеси. Оптимальным давлением будет такое, которое, не являясь опасным для прочности конструкции, обеспечивает в то же время достаточную трещиностойкость ее после инъекции.

Выше указывалось, что, как правило, конструкции обладают некоторым резервом прочности, который позволяет передавать на арматуру дополнительное давление. Этот резерв в общем случае складывается из трех компонентов:

а) запасы при подборе сечений арматуры по сортаменту;

б) несовпадение трещин с «опасным» по величине внешних усилий сечением;

в) допустимость на короткое время инъекции, при наличии технического надзора за состоянием конструкции, использовать коэффициент перегрузки, который по своей сущности учитывает реальную возможность превышения фактической (расчетной) нагрузки против нормативной.

В том случае, если конструкция или ее сечение достаточного резерва прочности не имеют, его необходимо создать путем снятия части нагрузки, выбора благоприятного времени, когда часть нагрузки отсутствует (например, летнее время для конструкций покрытий, когда отсутствует снеговая нагрузка), или же путем введения разгружающих конструкций (подпорок, подкосов и т. п.).

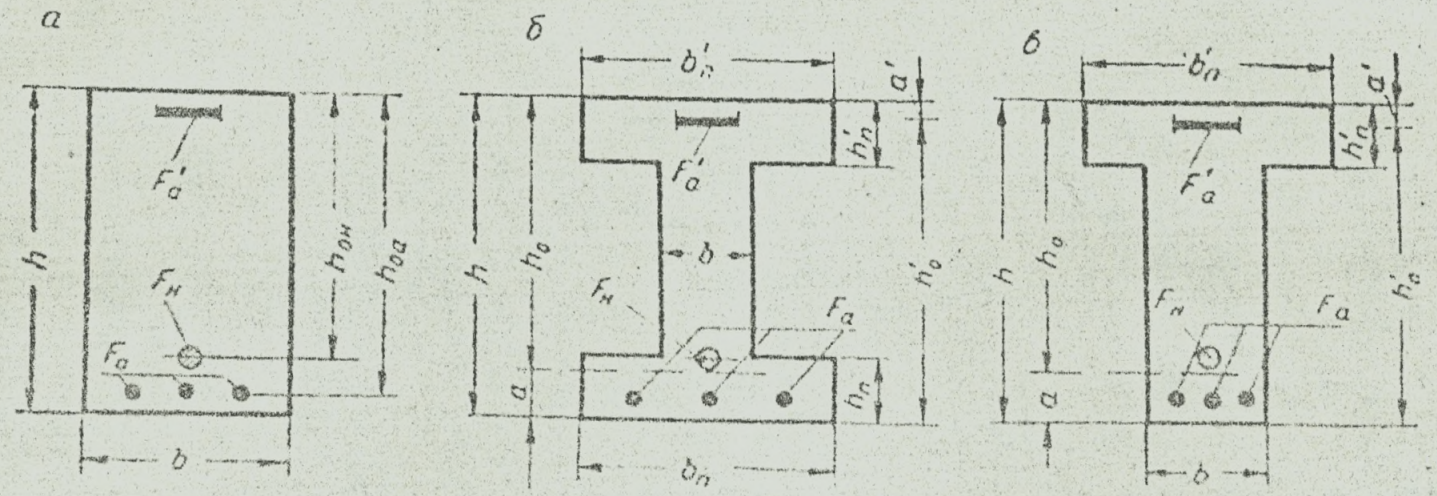


Рис. 6. Геометрические характеристики сечений:
а — прямоугольного; *б* — двутаврового; *в* — таврового.

Определим зависимости между основными параметрами, определяющими технологический режим инъекции.

Введем обозначения:

p — давление нагнетания в кг/см²;

$R_а$ и $R_н$ — расчетные сопротивления соответственно ненапрягаемой и напрягаемой арматуры в растянутой зоне сечения;

$\mu_а$ — коэффициент армирования, равный:

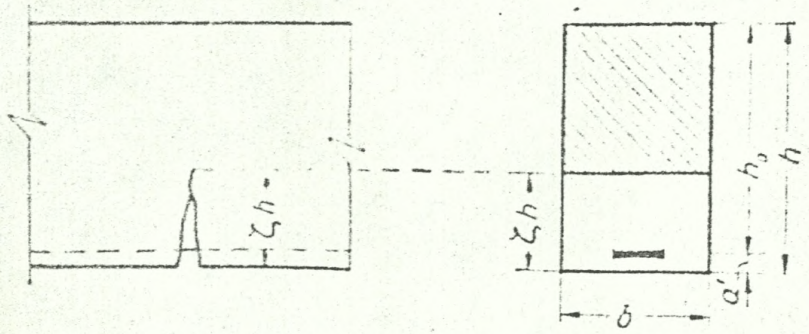


Рис. 7. Расчетная схема изгибаемой или внецентренно нагруженной конструкции.

а) для центрально растянутых элементов любой формы поперечного сечения — отношению площади всей ненапрягаемой арматуры $F_а$ ко всей площади сечения бетона F, т. е. $\mu_а = F_а/F$;

б) для изгибаемых и внецентренно растянутых элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений — отношению площади ненапрягаемой арматуры $F_а$ в растянутой зоне к площади bh_0 (рис. 6), т. е. $\mu_а = F_а/bh_0$;

$\mu_н$ — то же, что $\mu_а$, но для напрягаемой арматуры $F_н$;

i — коэффициент недоиспользования несущей способности сечения перед началом инъекции или коэффициент разгрузки, представляющий собой отношение фактического внешнего усилия (продольной силы при центральном растяжении, изгибающего момента при изгибе) к расчетному усилию. При внецентренном сжатии и внецентренном растяжении первого рода (большие эксцентрицитеты) за i допустимо принимать отношение моментов, при внецентренном растяжении второго рода (малые эксцентрицитеты) — отношение продольных сил;

ζh — высота распространения трещины перед инъецированием, измеряемая по нормали к оси элемента (рис. 7).

Остальные обозначения будут введены по ходу изложения.

Определим величину максимально допустимого давления для отдельных частных случаев.

Центрально растянутые элементы

Трещина при центральном растяжении будет сквозной. Равнодействующая сил давления в трещине pF не должна превосходить разности между несущей способностью и фактическим растягивающим усилием в сечении, действовавшим перед началом инъекции.

$$pF \leqslant (R_{\text{в}}F_{\text{в}} + R_{\text{а}}F_{\text{а}}) - N = (R_{\text{в}}F_{\text{в}} + R_{\text{а}}F_{\text{а}})(1 - i),$$

где $i = \dfrac{N}{R_{\text{в}}F_{\text{в}} + R_{\text{а}}F_{\text{а}}}$ — коэффициент разгрузки.

Сокращая на F, получим:

$$p \leqslant (R_{\text{в}}\mu_{\text{в}} + R_{\text{а}}\mu_{\text{а}})(1 - i). \qquad (1)$$

Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы прямоугольного и таврового (с полкой в сжатой зоне) сечений

Величина допускаемого давления зависит от высоты распространения трещины. Предполагая, что трещина мало отклоняется от нормали к оси сечения, пренебрегаем сопротивлением поперечной арматуры. Под влиянием давления инъецируемой смеси напряжения в растянутой арматуре в пределах трещины будут увеличиваться, а в сжатых бетоне и арматуре над трещиной уменьшаться. Работой сжатой арматуры $F'_{\text{а}}$ пренебрегаем. Эпюру напряжений в бетоне принимаем в виде прямоугольника. Считаем, что трещина доходит до нейтральной линии. Исходя из этих допущений составим уравнение прочности сечения с трещиной по моменту относительно центра тяжести сжатой зоны к концу инъецирования:

$$pb\zeta h\left(\frac{h - \zeta h}{2} + \frac{\zeta h}{2}\right) \leqslant \left[R_{\text{в}}F_{\text{в}}\left(h_{\text{оп}} - \frac{1 - \zeta}{2}h\right) + R_{\text{а}}F_{\text{а}}\left(h_{\text{оп}} - \frac{1 - \zeta}{2}h\right)\right](1 - i),$$

или, сокращая на bh^2_0 и допуская приближенно, что $h_{\text{оп}} = h_{\text{оз}} = h_0$ и $a = \delta h_0$, получим:

$$p \leqslant K_1(R_{\text{в}}\mu_{\text{в}} + R_{\text{а}}\mu_{\text{а}})(1 - i), \qquad (2)$$

где $$K_1 = 2\,\frac{(1 - \zeta)(1 - \delta)}{\zeta(1 + \delta)^2}.$$

Значения K_1 приведены в приложении I.

Если трещина заходит в полку тавровой балки, имеющую ширину $b'_{\text{п}}$, формула (2), строго говоря, будет неправильной, с по-

трещиностью не в запас прочности. Однако ввиду малости плеча сил давления в полке погрешность эта будет небольшой.

Изгибаемые, внецентренно сжатые и внецентренно растянутые элементы таврового (с полкой в растянутой зоне) и двутаврового сечений

Вводя те же допущения, что и в п. 2, имеем:

$$p\left[b\zeta h\left(\frac{1-\zeta}{2}h+\frac{\zeta h}{2}\right)+(b_п-b)\,h_п\left(h-\frac{1-\zeta}{2}h-\frac{h_п}{2}\right)\right]\leqslant$$
$$\leqslant(R_и F_и+R_а F_а)\left(h_0-\frac{1-\zeta h}{2}\right)(1-i).$$

После некоторых преобразований получим:

$$p\leqslant K_2(R_и\mu_и+R_а\mu_а)(1-i), \qquad (3)$$

где $K_2=\dfrac{2-(1-\zeta)(1+\delta)}{\zeta(1+\delta)^2+(\beta-1)\varphi[(1+\zeta)(1+\delta)-\varphi]}$.

Значения K_2 в зависимости от ζ, δ, $\beta=b_п/b$ и $\varphi=h_п/h_0$ приведены в приложении II.

При отсутствии в сечении предварительно напряженной арматуры $F_и$ или ненапряженной $F_а$ один из членов формул (1) — (3), содержащий $\mu_и$ или $\mu_а$, выпадает.

Последующая трещиностойкость сечений с трещиной

Инъецирование позволяет не только прочно заделать трещину, но и существенно повысить последующую трещиностойкость конструкции. Лабораторные исследования показали, что по окончании цементации в арматуре остается часть добавочных растягивающих напряжений, полученных ею во время цементации.

Так как наиболее интенсивный процесс обжатия прослойки цемента в трещине происходит в очень раннем возрасте (непосредственно по окончании цементации и снятии давления), то допустимо предположить, что остаточные напряжения распределяются по высоте трещины равномерно. Иными словами, для любого элемента остаточное обжатие бетона во всех точках по длине трещины постоянно и равно ψp_{max}, где ψ — коэффициент остаточного обжатия, меньший единицы. Чтобы заинъецированная трещина после твердения цементного слоя могла раскрыться вновь, необходимо к сечению конструкции приложить некоторое добавочное усилие. Оно должно снять предварительное обжатие шва и затем преодолеть силу сцепления цементационного камня со стенками трещины.

Обозначим расчетную величину напряжений сцепления $\lambda R_т$, где $R_т$ — расчетное сопротивление бетона появлению трещин, а λ — эмпирический коэффициент, обычно меньший единицы. Для центрально растянутого элемента дополнительное усилие составит:

$$\Delta N_т = \psi p_{max} F + \lambda R_т F + 300 \lambda F_а. \quad (4)$$

Третий член правой части этого выражения обозначает прирост напряжений в арматуре, соответствующий приращению напряжений в цементационном шве от 0 до $\lambda R_т$.

Если инъецирование конструкции вести под нагрузкой $N_н \geqslant N^н - \Delta N_т$, то при повторном загружении до нормативной нагрузки трещины уже не раскроются вновь. Таким образом, коэффициент разгрузки, гарантирующий от появления трещин в цементационном камне при нормативной нагрузке, запишется в виде

$$i_т = \frac{N_н}{N} = \frac{N^н - \Delta N_т}{N} = \frac{\frac{N}{n} - \Delta N_т}{N} = \frac{1}{n} - \frac{\Delta N_т}{N}.$$

Допускаем, что коэффициент разгрузки равен отношению внешних усилий, поэтому

$$N^н = f(q^н), \; N = f(q = q^н \cdot n),$$

отсюда $N^н = N/n$, где n — усредненный коэффициент перегрузки.

Используя выражение (4), получим:

$$i_т \geqslant \frac{1}{n} - \frac{\psi p_{max} + \lambda R_т}{\mu_а R_а} - \frac{300 \lambda}{R_а}. \quad (5)$$

Для изгибаемых и внецентренно нагруженных конструкций величину дополнительного момента $\Delta M_т$, способного вызвать раскрытие трещин вновь, подсчитаем из следующих предположений:

а) напряжения предварительного обжатия бетона ψp_{max} и напряжения сцепления цементационного камня со стенками трещины $\lambda R_т$ распределены в трещине равномерно;

б) эпюра напряжений по высоте сжатой зоны прямоугольная.

В этом случае для прямоугольного и таврового с полкой в сжатой зоне сечений

$$\Delta M_т = (\psi p_{max} + \lambda R_т) b \cdot \xi h \left(\frac{1 - \xi}{2} h + \frac{\xi}{2} h \right) + 300 \lambda F_а \left(h_0 - \frac{1 - \xi}{2} h \right).$$

Коэффициент разгрузки $i_т$, гарантирующий от образования трещин в шве между инъецируемым веществом и бетоном при нормативной нагрузке, запишется так:

$$i_т > \frac{M^н - \Delta M_т}{M} = \frac{1}{n} - \frac{\Delta M_т}{M} = \frac{1}{n} -$$

$$- \frac{(\psi p_{max} - \lambda R_т) b \zeta h \cdot \frac{h}{2}}{R_a F_a \left(h_0 - \frac{1-\zeta}{2} h\right)} - \frac{300 \lambda F_a \left(h_0 - \frac{1-\zeta}{2} h\right)}{R_a F_a \left(h_0 - \frac{1-\zeta}{2} h\right)};$$

$$i_т > \frac{1}{n} - \frac{\psi p_{max} - \lambda R_т}{\mu_a R_a \cdot K_1} - \frac{300 \lambda}{R_a}. \qquad (6)$$

Для элементов двутаврового и таврового с полкой в растянутой зоне сечений вместо K_1 следует подставлять K_2, причем, как и при расчете допустимых давлений, можно пользоваться данными приложений I и II.

Коэффициенты в формулах (5) — (6) равны: для цементации $\psi = 0{,}1 - 0{,}3$; $\lambda = 0{,}5 - 0{,}8$ (до уточнения можно принимать $\psi = 0{,}2$; $\lambda = 0{,}5$); для смолизации $\psi = 0$; $\lambda = 1{,}0$.

Из сказанного вытекает следующий порядок расчета параметров инъецирования — допустимого давления и требуемой разгрузки конструкции. Прежде всего необходимо сделать поперечный расчет конструкции, чтобы убедиться, имеется ли запас несущей способности в сечениях с трещинами. Если запас имеется, необходимо определить коэффициент разгрузки i, равный отношению усилия перед началом цементации к несущей способности сечения.

Далее, пользуясь формулами (1) — (3), определяют допустимые давления в каждой из трещин (позиций инъектора). Максимальное давление назначают исходя из вычисленного допустимого давления и возможностей наличного оборудования. Используя максимальное давление и задаваясь видом вяжущего, по формулам (5) или (6) можно определить коэффициент разгрузки $i_т$, гарантирующий от раскрытия трещин ранее нормативной нагрузки. Если не удается выполнить условие $i \geqslant i_т$, то инъецирование следует вести под большей нагрузкой и пересчитать параметры с новой величиной i.

Пример расчета параметров инъецирования (допустимого давления и требуемой разгрузки) приведен в приложении III.

IV. ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕМЕНТАЦИИ

Процесс цементации железобетонных конструкций подразделяется на следующие этапы.

1. Подготовка материалов и оборудования.
2. Подготовка конструкции.
3. Собственно цементация.

В подготовку материалов входит просеивание цемента, его лабораторный анализ, складирование поблизости от места работ, а также подача воды. Подготовка оборудования заключается в его комплектовании и контрольных испытаниях на давление, равное 1,25 максимального из применяемых при цементации.

В подготовку конструкции к цементации входит: а) удаление посторонних предметов; б) устройство подмостей и прочих приспособлений; в) обработка трещин, т. е. их конопатка, заклеивание полоской ткани или расчистка и зачеканка на небольшую глубину. Обработка трещин необходима для предотвращения вытекания раствора из них в непосредственной близости от инъекторов.

При использовании глубинных инъекторов трещина заделывается с поверхности на всю длину и на расстоянии около 30 мм от нее сверлятся скважины (рис. 8, *а*).

При использовании поверхностных инъекторов трещина заделывается участками с оставлением нетронутых промежутков *а*, для установки на них инъекторов. Размер *б*, соответствующий радиусу инъекции, назначается примерно в пределах 0,6—1,0 м при раскрытии трещин до 0,5 — 1,0 мм или 1,0 — 1,5 м — при раскрытии трещин 1—3 мм и корректируется в зависимости от качества цементации (рис. 8, *б*).

Собственно цементация заключается в установке и закреплении инъектора, промывке трещин чистой водой, нагнетании в трещины водоцементных смесей и опрессовки трещины после наступления отказа в поглощении раствора. Промывку трещины водой проводят под максимально допустимым для этой установки инъектора давлением до тех пор, пока вода, выходящая из соседних открытых участков трещины, не станет светлой.

Для цементации конструкций в виде плит, стен и т. п. скважины бурятся вдоль трещины с шагом 70—150 см в зависимости от ширины раскрытия трещин. Для цементации балок обычно на каждую трещину достаточно одной скважины.

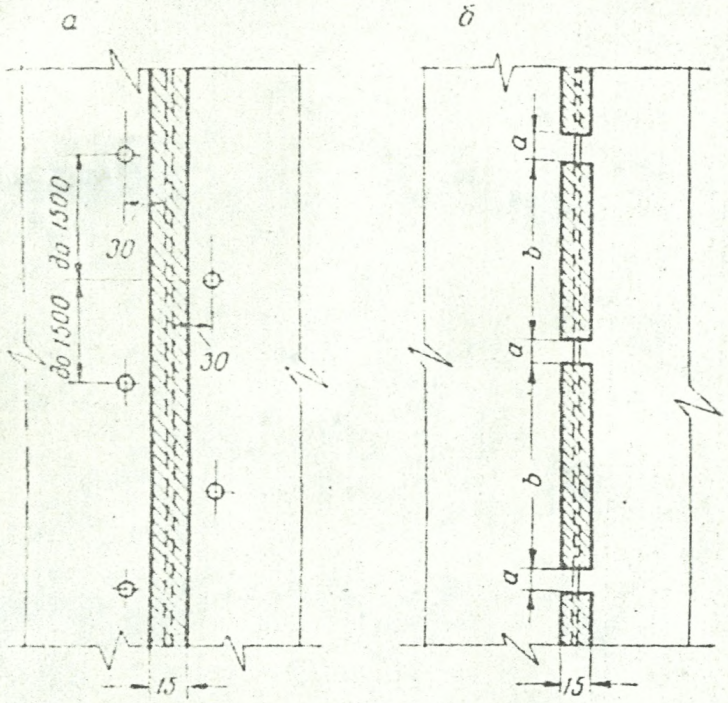


Рис. 8. Схема обработки трещин:
а — для глубинного инъектора; *б* — для поверхностного инъектора (обработанные участки трещины заштрихованы).

Если при сверлении отверстия инструмент попадет на арматуру (что немедленно ощущается по звуку его работы), следует начать сверлить новую скважину с таким расчетом, чтобы уже не попасть на арматуру.

Во время промывки проверяют исправность оборудования и отсутствие течи в водоподводящей системе. По окончании промывки в трещину подают цементационную смесь.

Для цементации железобетонных конструкций обычно применяют водоцементные смеси. В широко раскрытых трещинах или больших пустотах допускается добавлять тонкомолотый песок в

количестве до 150% от веса цемента. Цементационная смесь должна отвечать следующим требованиям:

а) обеспечивать заполнение тонких трещин;

б) создавать плотный и прочный камень;

в) осуществлять надежное сцепление со стенками трещины;

г) проникать на заданное расстояние.

В связи с такими требованиями начальное водоцементное отношение смеси следует назначать в зависимости от ширины раскрытия трещины:

Ширина раскрытия трещин, мм	$<0{,}5$	0,5—1,0	$>1{,}0$
В/Ц	4,0	2,0	1,5

Приготовляется раствор непосредственно перед употреблением в смесителях, совмещаемых иногда с приемным бункером растворонасоса.

В целях увеличения подвижности водоцементных смесей рекомендуется вводить в них пластифицирующую добавку. В качестве добавки может применяться сульфитно-спиртовая барда (ССБ), удовлетворяющая требованиям ГОСТ 8518—57. ССБ вводится в воду затворения в количестве, зависящем от В/Ц раствора:

В/Ц	0,6—2,0	2,0—4,0	$>4{,}0$
Количество ССБ по отношению к цементу, %	0,20	0,4	Не улучшает результатов

Приведенные концентрации ССБ относятся к портландцементам без заводской пластификации. Оптимальные концентрации ССБ для других цементов следует назначать после лабораторного исследования ее влияния одновременно на пластичность, расслаиваемость смеси и на прочность затвердевшего раствора. Необходим тщательный контроль за дозированием ССБ, так как превышение оптимальных рецептур приводит к быстрому расслаиванию смеси и снижению прочности раствора.

Давление в начале цементации рекомендуется назначать в пределах 1,5—2,0 атм, но не более 1/3 от максимально допустимого. Если скорость поглощения раствора скважиной очень высока, то увеличивают содержание цемента в смеси. Если скорость поглощения слишком мала, то увеличивают давление нагнетания. Давление увеличивают также по мере уплотнения цементного геля, доводя его на конечной стадии до заданного проектом для данной установки инъектора. После того, как поглощение трещиной водоцементной смеси при заданном предельном давлении станет

не более 0,01 л/мин, требуется выдержать достигнутое давление еще в течение 15—20 мин., затем его плавно снизить до нуля и снять инъектор.

Конструкцию можно полностью загружать после того, как цементационные швы приобретут прочность, предусмотренную проектом восстановления (см. гл. II).

Прочность швов на сжатие допускается определять приближенно путем испытания контрольных кубиков 7×7×7 см из водоцементной смеси пластичной консистенции. Кубики изготовляются в формах с пористым основанием, без трамбования, но хранятся в течение первого часа в формах, с пригрузкой, соответствующей максимальному давлению в инъекторе.

Цементация относится к разряду скрытых работ, так как ее результаты не поддаются непосредственному осмотру и контролю. Брак в этой работе почти неисправим, поэтому выполнение ее должно вестись под непосредственным наблюдением опытного лаборанта, в функции которого входит:

1) наблюдение за правильной приемкой и хранением материалов;

2) отбор проб и испытание поступающих для цементации материалов в соответствии с требованиями ГОСТ;

3) подбор состава смесей и определение их вязкости;

4) контроль за нормальной дозировкой материалов;

5) производство контрольных испытаний образцов;

6) ведение журнала производства работ по форме, приведенной в приложении IV.

Цементацию трещин рекомендуется производить при устойчивой температуре бетона в конструкции не ниже +5°.

V. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СМОЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В последнее время проведено много исследований, направленных на улучшение качества водоцементных смесей. Эти исследования показали, что, с одной стороны, исчерпаны почти все возможности усовершенствования смесей, а, с другой стороны, повышение их качества все более связывается с применением специального оборудования (вибромельницы цемента, специальные турбулентные мешалки, насосы-эмульсаторы) и увеличением времени, необходимого для приготовления и инъецирования смесей. Простого и надежного способа создания в бетонных и железобетонных конструкциях шва, равнопрочного основному материалу, при помощи водоцементной смеси пока не создано.

Возможность получения такого шва дает применение полимерных смол в качестве клеящего, связующего вещества. Синтетические клеи в течение многих лет применяются для склеивания металлов (например, в авиационной промышленности).

Широкому использованию синтетических клеев в строительстве до последнего времени препятствовала их высокая стоимость, в настоящее время во многих случаях при восстановлении и ремонте железобетонных конструкций применение клеев экономически оправдывается.

В качестве инъецируемого вещества для смолизации применяют различные смеси полимерных клеев холодного твердения и наполнителей. Наиболее употребительны в настоящее время эпоксидные, полиэфирные и бакелитовые клеи. Для снижения стоимости и улучшения некоторых качеств эпоксидных смол их стали применять в последнее время для клеев в различных модификациях или в смеси с другими, более дешевыми смолами. Ниже приведены рецептуры некоторых клеев.

Составы полимерных растворов (% по весу)

Эпоксидный раствор

Эпоксидная смола ЭД-6 или ЭДФ-3	15 — 16
Отвердитель (полиэтиленполиамин или кубовые остатки гексаметилендиамина)	4 — 5
Тонкомолотый наполнитель	25 — 30
Песок	50 — 55

Фурфуроловый раствор

Мономер ФА	12 — 20
Отвердитель (бензосульфокислота или контакт Петрова)	3 — 3,5
Фурфурол	0,9 — 1,1
Тонкомолотый наполнитель	25 — 30
Песок	50 — 60

Полиэфирный раствор

Полиэфирная смола марки ПН-1 или ПН-3	16 — 17
Отвердитель (гипериз)	0,6—0,7
Ускоритель твердения (нафтенат кобальта)	2 — 3
Тонкомолотый наполнитель	25 — 30
Песок	50 — 60

В смесях с эпоксидной смолой чаще всего применяют фенольные, полиэфирные смолы, тиоколы (полисульфиды). Так как по-

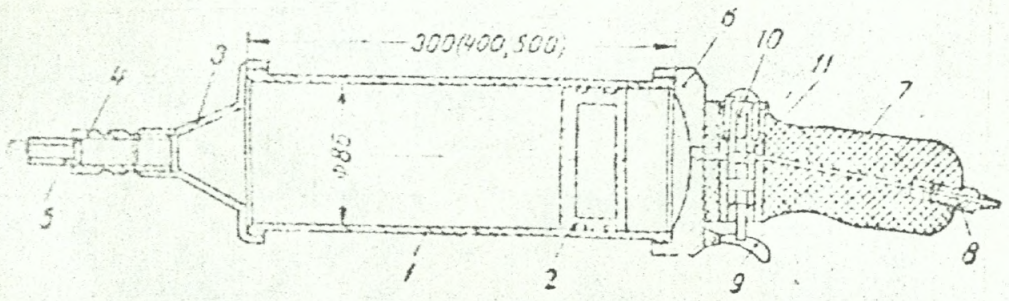


Рис. 9. Пневматический шприц для нагнетания тиоколовых мастик:

1 — цилиндр; *2* — поршень; *3* — муфта; *4* — наконечник; *5* — мундштук; *6* — крышка; *7* — ручка; *8* — штуцер, *9* — скоба; *10* — пружина; *11* — золотник.

димерные смеси почти не расслаиваются, то для смолизации применяют только нажимной способ нагнетания.

Оборудование для смолизаций должно позволять вести работы небольшими порциями (200—2000 см³ в зависимости от размеров трещины), иметь минимальную поверхность соприкосновения смолы с металлическими и резиновыми деталями, легко и быстро промываться по окончании работ. Этим требованиям отвечают, на-

пример, шприцы, применяемые для герметизации стыков в крупнопанельном домостроении (рис. 9 и 10). При малых объемах работ можно воспользоваться автомобильными шприцами (рис. 11).

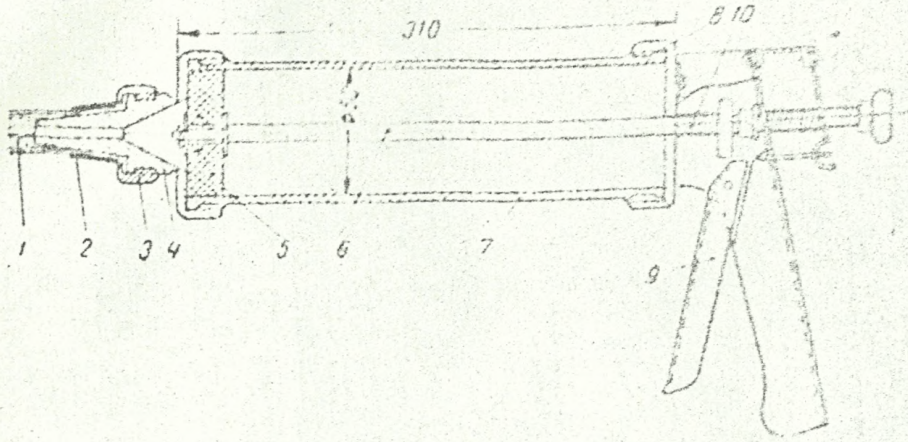


Рис. 10. Ручной шприц для нанесения тиоколовых мастик:
1 — лента ворсовая (кисть); *2* — мундштук; *3* — гайка; *4* — наконечник; *5* — поршень; *6* — стержень; *7* — цилиндр; *8* — крышка; *9* — курок ручки; *10* — пружина.

Шприцы присоединяются к конструкции через наконечники — инъекторы, устройство которых аналогично описанным в гл. II.

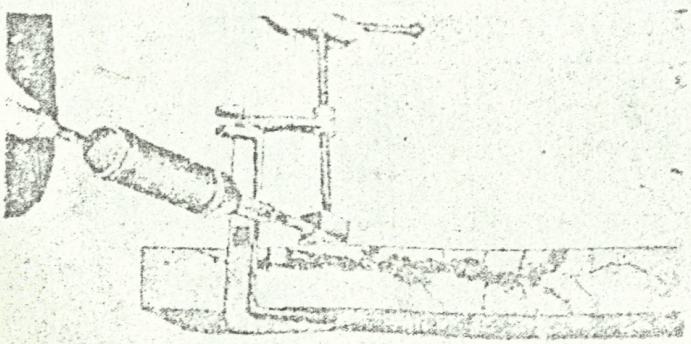


Рис. 11. Автомобильный шприц с поверхностным инъектором.

Параметры смолизации (допустимое давление и необходимая разгрузка) можно определять по формулам, приведенным в гл. III, но с подстановкой $\lambda = 1$ и $\varphi = 0$.

Все работы с эпоксидной смолой следует вести в резиновых перчатках, так как отвердители в ней токсичны. Приготовлять смолу следует небольшими порциями (2—3 заправки шприца) в стеклянной или эмалированной емкости с тщательным дозированием, так как срок жизнедеятельности клея (время с момента введения отвердителя до загустевания клея) зависит от количества отвердителя.

Перед смолизацией трещины заделывают снаружи тем же клеем с добавкой цемента для увеличения его вязкости. В самых верхних точках трещины следует оставлять отверстия для выхода воздуха из трещины. Смолизацию можно считать законченной, когда из этих отверстий покажется клей. За 10—15 мин. до окончания срока жизнедеятельности клея работы по смолизации следует прекратить и тщательно промыть все оборудование и емкости раствором технической соды, так как после отвердевания смолы почти не растворимы в практически применяемых растворителях.

Смолизацию, как и цементацию, рекомендуется производить при устойчивой положительной температуре не ниже +5°.

Необходимая выдержка конструкции после смолизации — 2—5 дней в зависимости от состава смолы и температуры бетона. Если смолизация производится при наличии полной нагрузки на конструкции, то вопрос о необходимой выдержке теряет свое практическое значение.

При выполнении смолизации рекомендуется вести журнал работ по типу журнала цементации (см. приложение IV).

Приложение 1

Значения коэффициента K_1 (высота трещины ζh)

ζ	Относительная толщина защитного слоя $\delta = \frac{a}{h_0}$					
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
0,2	5,29	4,64	4,08	3,61	3,20	2,85
0,3	3,85	3,40	3,02	2,69	2,40	2,15
0,4	3,13	2,78	2,49	2,22	2,00	1,81
0,5	2,69	2,40	2,16	1,94	1,76	1,60
0,6	2,40	2,16	1,95	1,76	1,60	1,46
0,7	2,19	1,97	1,79	1,62	1,48	1,36
0,8	2,04	1,85	1,67	1,53	1,40	1,29
0,9	1,92	1,74	1,58	1,45	1,33	1,23

Значения

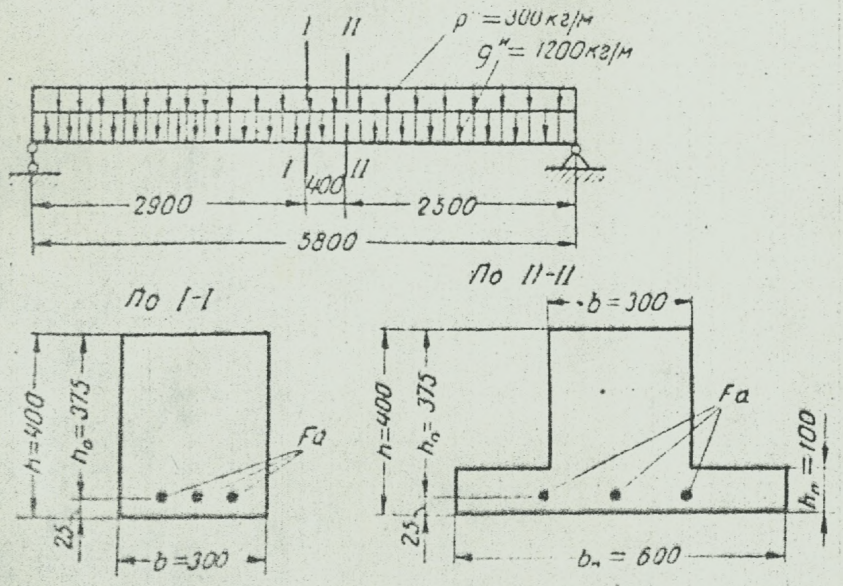
β	$\varphi=0{,}10$				$\varphi=$	
	$\zeta=0{,}3$	$\zeta=0{,}5$	$\zeta=0{,}7$	$\zeta=0{,}9$	$\zeta=0{,}3$	$\zeta=0{,}5$
						$\delta=$
2	2,84	2,16	1,83	1,63	2,21	1,17
4	1,81	1,51	1,34	1,23	1,17	1,04
6	1,33	1,15	1,06	0,99	0,80	0,73
8	1,06	0,94	0,87	0,81	0,62	0,57
10	0,87	0,79	0,74	0,71	0,49	0,46
12	0,74	0,68	0,65	0,62	0,40	0,39
14	0,61	0,60	0,57	0,55	0,35	0,34
16	0,57	0,56	0,51	0,50	0,30	0,30
18	0,51	0,48	0,46	0,45	0,27	0,26
20	0,46	0,44	0,42	0,41	0,25	0,24
						$\delta=$
2	2,53	1,93	1,61	1,48	2,02	1,84
4	1,68	1,39	1,24	1,14	1,11	0,98
6	1,26	1,09	0,99	0,93	0,77	0,71
8	1,00	0,89	0,83	0,85	0,59	0,55
10	0,83	0,76	0,72	0,68	0,48	0,44
12	0,72	0,66	0,62	0,60	0,40	0,38
14	0,62	0,58	0,55	0,53	0,34	0,33
16	0,56	0,52	0,50	0,48	0,30	0,29
18	0,50	0,47	0,45	0,44	0,27	0,26
20	0,46	0,43	0,41	0,40	0,24	0,24
						$\delta=$
2	2,31	1,77	1,51	1,34	1,88	1,51
4	1,58	1,31	1,16	1,09	1,07	0,94
6	1,21	1,03	0,94	0,88	0,75	0,68
8	0,97	0,86	0,79	0,75	0,58	0,54
10	0,81	0,73	0,68	0,67	0,47	0,44
12	0,70	0,63	0,60	0,58	0,40	0,37
14	0,61	0,57	0,53	0,51	0,34	0,33
16	0,55	0,51	0,49	0,47	0,30	0,29
18	0,49	0,46	0,44	0,43	0,27	0,26
20	0,45	0,42	0,41	0,40	0,24	0,23

коэффициента K_2

0,20		$\varphi=0{,}30$			
$\zeta=0{,}7$	$\zeta=0{,}9$	$\zeta=0{,}3$	$\zeta=0{,}5$	$\zeta=0{,}7$	$\zeta=0{,}9$
0,05					
1,54	1,41	1,81	1,51	1,31	1,23
0,96	0,90	0,87	0,79	0,74	0,71
0,69	0,66	0,57	0,54	0,51	0,50
0,54	0,52	0,42	0,41	0,39	0,38
0,44	0,43	0,34	0,33	0,32	0,31
0,38	0,37	0,28	0,27	0,27	0,26
0,33	0,32	0,24	0,23	0,23	0,23
0,29	0,28	0,21	0,20	0,20	0,20
0,26	0,25	0,19	0,18	0,18	0,18
0,23	0,23	0,17	0,16	0,16	0,16
0,10					
1,41	1,29	1,68	1,39	1,24	1,14
0,90	0,85	0,83	0,76	0,71	0,68
0,66	0,63	0,56	0,52	0,50	0,48
0,52	0,50	0,42	0,40	0,38	0,37
0,43	0,42	0,33	0,32	0,31	0,30
0,37	0,36	0,28	0,27	0,26	0,26
0,32	0,31	0,24	0,23	0,23	0,22
0,28	0,28	0,20	0,20	0,20	0,20
0,25	0,25	0,18	0,18	0,18	0,18
0,23	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16
0,15					
1,31	1,20	1,58	1,31	1,16	1,07
0,86	0,81	0,81	0,73	0,69	0,65
0,64	0,61	0,55	0,51	0,49	0,47
0,51	0,49	0,41	0,39	0,37	0,37
0,42	0,41	0,33	0,31	0,31	0,30
0,36	0,35	0,27	0,26	0,27	0,25
0,32	0,31	0,24	0,23	0,22	0,22
0,28	0,27	0,21	0,20	0,20	0,19
0,25	0,25	0,18	0,18	0,18	0,17
0,23	0,23	0,17	0,16	0,16	0,16

Пример расчета параметров инъецирования

В сечениях *I—I* и *II—II* (см. рисунок) железобетонной балки, находящейся под равномерно распределенной нормативной нагрузкой (постоянной $g^н = 1200$ кг/м и временной — от снега $p^н = 300$ кг/м), во время эксплуатации появились трещины, которые требуется зainъецировать.



Расчетная схема и сечения балки. (Бетон марки 300; $\mu_a = 0{,}0084$; $\mu_в = 0$; $\zeta = 0{,}80$).

Суммарная нормативная нагрузка $q^н = 1200 + 300 = 1500$ кг/м. Расчетная нагрузка при коэффициентах перегрузки соответственно для постоянной и временной нагрузок 1,1 и 1,4 равна:

$$q = 1200 \cdot 1{,}1 + 300 \cdot 1{,}4 = 1740 \text{ кг/м}.$$

Усредненный коэффициент перегрузки:

$$n = \frac{q}{q^{н}} = \frac{1740}{1500} = 1{,}16.$$

Условно предполагаем, что балка в сечении $I-I$ имеет прямоугольный профиль, а в сечении $II-II$ — тавровый. В обоих сечениях $\zeta = 0{,}80$.

Расчетный изгибающий момент в сечении $I-I$

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{1740 \cdot 5{,}8^2}{8} = 7290 \text{ кгм}.$$

Высота сжатой зоны в предельном состоянии

$$x = \frac{R_а F_а}{R_и b} = \frac{2700 \cdot 9{,}42}{160 \cdot 30} = 5{,}3 \text{ см}.$$

Несущая способность обоих сечений одинакова и равна:

$$M = R_а F_а \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = 2700 \cdot 9{,}42 \left(37{,}5 - \frac{5{,}3}{2}\right) = 8850 \text{ кгм} > 7290 \text{ кгм}.$$

Следовательно, балка имеет запас несущей способности.

а) Рассмотрим трещину в сечении $I-I$

Допустим, что к началу инъекции нагрузка на балку равна $q' = 1300$ кг/м; в этом случае изгибающий момент перед инъецированием в сечении $I-I$ составит:

$$M_{и1} = \frac{q' l^2}{8} = \frac{1300 \cdot 5{,}8^2}{8} = 5440 \text{ кгм}.$$

Коэффициент разгрузки

$$i_1 = \frac{M_{и1}}{M} = \frac{5440}{8850} = 0{,}615.$$

При $\delta = \frac{a}{h_0} = \frac{2{,}5}{37{,}5} = 0{,}067$ и $\zeta = 0{,}8$ по приложению 1 находим $K_1 = 1{,}97$.

Допустимое давление в трещине вычислим по формуле (2):

$$p \leq K_1 \mu_и (R_и + \mu_а R_а)(1 - i) = 1{,}97 \cdot 0{,}0084 \cdot 2700 \cdot (1 - 0{,}615) = 17{,}2 \text{ кг/см}^2.$$

Имеющееся в наличии оборудование (растворонасос С-251) позволяет развивать давление до 10 атм (см. табл. 2), поэтому для первой трещины принимаем $p_{max} = 10$ атм. В этом случае для це-

ментации коэффициент разгрузки, гарантирующий от раскрытия трещин при увеличении нагрузки до полной нормативной, может быть подсчитан по формуле (6):

$$i_{\text{т}} = \frac{1}{n} - \frac{\psi p_{\max}}{\mu_{\text{а}} R_{\text{а}} \cdot K_1} \cdot \frac{\lambda R_{\text{т}}}{300\,\lambda} = \frac{1}{R_{\text{а}}} = \frac{1}{1{,}16} - \frac{0{,}2 \cdot 10}{0{,}0084 \cdot 2700 \cdot 1{,}97} \cdot \frac{0{,}5 \cdot 14{,}5}{300 \cdot 1} =$$

$$= \frac{300 \cdot 0{,}5}{2700} = 0{,}600 < i_1 = 0{,}615.$$

Для смолизации соответственно имеем

$$i_{\text{т}} = \frac{1}{n} - \frac{R_{\text{т}}}{\mu_{\text{а}} R_{\text{а}} \cdot K_1} \cdot \frac{300}{R_{\text{а}}} = \frac{1}{1{,}16} - \frac{14{,}5}{0{,}0084 \cdot 2700 \cdot 1{,}97} \cdot \frac{300 \cdot 1}{2700} =$$

$$= 0{,}462 < i_1 = 0{,}615.$$

В обоих случаях трещиностойкость балки в сечении $I-I$ гарантирована.

б) Рассмотрим сечение $II-II$

Безразмерные параметры сечения:

$$\delta = \frac{a}{h_0} = \frac{2{,}5}{37{,}5} = 0{,}067, \quad \zeta = 0{,}80;$$

$$\beta = \frac{b_{\text{п}}}{b} = \frac{60}{30} = 2{,}0, \quad \varphi = \frac{h_{\text{п}}}{h_0} = \frac{10}{37{,}5} = 0{,}265.$$

По приложению II находим $K_2 = 1{,}30$.

Как и в п. «а», предполагаем, что перед инъецированием на балке имеется нагрузка $q' = 1300$ кг/м, в этом случае в сечении $II - II$ имеется момент:

$$M_{\text{н2}} = \frac{1300 \cdot 2{,}5}{2}(5{,}8 - 2{,}5) = 5370 \text{ кгм}.$$

Коэффициент разгрузки:

$$i_2 = \frac{M_{\text{н2}}}{\overline{M}} = \frac{5370}{8850} = 0{,}607.$$

Допустимое в трещине $II - II$ давление (см. рисунок):

$$p = K_2(\mu_{\text{п}} R_{\text{п}} + \mu_{\text{а}} R_{\text{а}})(1 - i) = 1{,}30 \cdot 0{,}0084 \cdot 2700\,(1 - 0{,}607) = 11{,}6 \text{ кг/см}^2.$$

Принимаем, как и для первой трещины, $p_{\max} = 10$ атм. В этом случае коэффициент разгрузки, гарантирующий трещиностой-

кость сечения при возможном увеличении нагрузки до нормативной, равен:

для цементации

$$i_\tau = \frac{1}{1{,}16}\,\frac{0{,}2 \cdot 10 + 0{,}5 \cdot 14{,}5}{0{,}0084 \cdot 2700 \cdot 1{,}30} - \frac{300 \cdot 0{,}5}{2700} = 0{,}493 < i_s = 0{,}607;$$

для смолизации

$$i_\tau = \frac{1}{1{,}16}\,\frac{14{,}5}{0{,}0084 \cdot 2700 \cdot 1{,}3} - \frac{300}{2700} = 0{,}260 < i_s = 0{,}607.$$

Итак, трещиностойкость сечения *II — II* также гарантирована.

Приложение IV

Журнал производства работ по цементации

(подробное наименование конструкции)

Коэффициент разгрузки i = _____

Вид и марка цемента _____ Дата _____

Температура воздуха _____

В/Ц/П раствора	Давление		Время нагнетания	Остаток раствора	Расход раствора	Примечание*
	начальное	конечное				
4 : 1 : 0						
2 : 1 : 0						
1,5:1:0,1						
1:1:0,2						

* В графе отмечаются задержки в нагнетании и их причины, выход раствора в соседние открытые участки и т. д.

Данные о контрольных образцах

Размеры образцов см	Площадь сечения см²	Возраст дни	Разрушающая нагрузка кг	Предел прочности кг/см²	Примечание

Указания составлены на основании практического опыта инъецирования железобетонных конструкций и экспериментально-теоретических исследований, проведенных на кафедре строительных конструкций Уральского политехнического института им. С. М. Кирова. Целью Указаний является ознакомление широких кругов строителей с одним из дешевых и эффективных способов восстановления монолитности железобетонных конструкций, получивших по тем или иным причинам недопустимо широкие трещины, но еще не утративших несущие способности.

Приведены общие положения относительно области применения инъекции водоцементных растворов (цементации) и полимерных смол (смолизации), указания по выполнению предварительных расчетов, а также практические сведения и рекомендации по технологии производства работ, выбору материалов и оборудования.

Гл. I и III Указаний написаны проф. М. И. Бычковым; гл. II, IV, V, приложения, а также упоминаемые лабораторные исследования — инж. Б. Е. Огородновым.

Замечания и пожелания по содержанию Указаний просим направлять по адресу: г. Свердловск, 2, Уральский политехнический институт, кафедра строительных конструкций.

Редактор М. И. Бычков

ИЗДАНИЕ ТРЕСТА ОРГТЕХСТРОЙ ГЛАВСРЕДУРАЛСТРОЯ

НС 26222 4/VIII-66 г. Объем 3,25 п. л.
Тираж 1300 Цена 20 коп Заказ 453

Цех № 1 производственного объединения «Полиграфист»,
Свердловск, ул. М.-Сибиряка, 145

УДК 691.32 : 620.191.33

gost.e-ecolog.ru