НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
ГОССТРОЯ СССР

РУКОВОДСТВО
ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва — 1972

УДК 693.564—422

Руководство содержит основные положения по технологии предварительного напряжения стержневой арматуры железобетонных конструкций. Приведены рекомендации по заготовке и закреплению стержневой арматуры; подготовке форм, поддонов и стендов; необходимые данные по технологии натяжения стержневой арматуры механическим и электротермическим способами; рекомендации по контролю натяжения арматуры и технике безопасности.

Руководство предназначено для инженерно-технических работников заводов железобетонных изделий, проектных и строительных организаций.

3-2-4

План II—III кв. 1971 г., п. 43

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
1. Назначение и область применения	5
2. Арматурные стали	6
3. Заготовка и закрепление арматуры	7
4. Подготовка форм, поддонов и стендов	17
5. Натяжение арматуры механическим способом	23
6. Натяжение арматуры электротермическим способом	29
7. Контроль натяжения арматуры	43
8. Отпуск натяжения арматуры	46
9. Техника безопасности	47
Приложение 1. Рекомендации по приварке коротышей к арматуре классов Ат-IV—Ат-VI	50
Приложение 2. Оборудование для электротермического натяжения арматуры	51
Приложение 3. Примеры расчетов	56

НИИЖБ Госстроя СССР

Руководство
по технологии предварительного напряжения
стержневой арматуры железобетонных конструкций

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Редактор издательства Иф тинка Г. А.
Технические редакторы Французова Г. Б., Кузнецова Т. В.
Корректор Атавина Л. П.

Сдано в набор 15.XI. 1971 г. Подписано к печати 28.II. 1972 г.
Т-00884 Бумага 84×108¹/₃₂ — 1 бум. л.
3,36 усл. печ. л. (уч.-изд. 3,6 л.)
Тираж 15000 экз. Изд. № XII—3230 Зак. № 500 Цена 18 коп.

Подольская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25.

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Руководство по технологии предварительного напряжения стержневой арматуры железобетонных конструкций» разработано на основании исследований физико-механических свойств, технологических приемов по натяжению и анкеровки новых видов стержневой арматуры, в том числе термически упрочненной, проведенных НИИЖБ, ВНИИЖелезобетоном, Уралниистройпроектом, ЦНИИСК им. Кучеренко, ЦНИИС Минтрансстроя, Донецким политехническим институтом, предприятиями Главмоспромстройматериал, Днепроэнергостройиндустрия треста «Железобетон» (г. Рязань) и другими организациями, а также на основании широкой практики производства предварительно напряженных железобетонных конструкций с новыми видами стержневой арматуры.

При составлении Руководства были учтены рекомендации «Инструкции по технологии натяжения стержневой, проволочной и прядевой арматуры электротермическим и электротермомеханическим способами»[1], «Временной инструкции по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций»[2], «Указаний по применению в железобетонных конструкциях стержневой арматуры» (СН 390-69) и ряда других документов.

Руководство содержит: общие рекомендации по технологии натяжения стержневой арматуры; основные данные по новым видам высокопрочной стержневой арматуры; рекомендации по заготовке и закреплению стержневой арматуры; подготовке форм, поддонов и стендов; необходимые данные по технологии натяжения

[1] М., Госстройиздат, 1962.
[2] М., Госстройиздат, 1959.

стержневой арматуры механическим и электротермическим способами; рекомендации по контролю натяжения арматуры, отпуску натяжения и технике безопасности.

В разработке Руководства принимали участие: от НИИЖБ Госстроя СССР д-р техн. наук проф. К. В. Михайлов, кандидаты техн. наук Н. М. Мулин и С. А. Мадатян, инж. А. А. Фоломеев, канд. техн. наук Б. Л. Скляр, инженеры И. Г. Хаит, В. Т. Дьяченко; от ВНИИЖелезобетона МПСМ СССР канд. техн. наук П. К. Балатьев, инженеры Е. З. Ерманок, М. Ф. Дымшиц, Г. Л. Горелик и Г. Л. Тимофеев и от Уралниистройпроекта МПСМ СССР канд. техн. наук Б. Я. Рискинд, инженеры В. Н. Масленников и В. А. Чудновский.

В подготовке материалов приложений участвовали инженеры В. А. Ли (Гипростроммаш) и А. Л. Зайцев (завод ЖБИ № 5 Главмоспромстройматериалов).

Все замечания просим направлять по адресу: Москва, 109389, 2-я Институтская, 6, НИИЖБ Госстроя СССР.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Настоящим Руководством надлежит пользоваться при выборе технологических приемов и операций по натяжению высокопрочной стержневой горячекатаной и термически упрочненной арматуры классов А-IV, А-V, Ат-IV, Ат-V и Ат-VI электротермическим или механическим способом.

При применении арматурных сталей других классов (А-IIIв, Вр-I и т. п.) необходимо руководствоваться «Инструкцией по технологии натяжения стержневой, проволочной и прядевой арматуры электротермическим и электротермомеханическим способами» и «Временной инструкцией по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций».

1.2. Руководство распространяется на изготовление предварительно напряженных конструкций (плиты покрытий, перекрытий и стен, дорожные и аэродромные плиты, фермы и балки, опоры ЛЭП и др.) в заводских условиях или на полигонах по поточно-агрегатной, конвейерной или стендовой схеме производства с передачей усилий натяжения на упоры форм, поддонов или коротких стендов длиной не более 30 *м*.

1.3. Натяжение стержневой арматуры всех классов, перечисленных в п. 1.1, допускается осуществлять механическим или электротермическим способом.

При применении термически упрочненной арматуры класса Ат-VI следует преимущественно применять механический способ натяжения.

1.4. Допускается использовать электротермический способ для натяжения стержневой термически упрочненной арматурной стали класса Ат-VI при условии соблюдения требований пп. 2.3 и 2.4 настоящего Руководства и при величине предварительного напряжения не более 7000 *кГ/см*^{2}.

1.5. При проектировании предварительно напряженных железобетонных конструкций, армированных стержневой арматурой, при их расчете отклонение предварительного напряжения арматуры от заданного учитывается только величиной коэффициента точности натяжения $m_т$, который определяется в соответствии с положениями пп. 3.3 и 3.5 «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций» (Стройиздат, 1968).

2. АРМАТУРНЫЕ СТАЛИ

2.1. В качестве напрягаемой стержневой арматуры предварительно напряженных железобетонных изделий рекомендуется применять следующие виды арматурной стали:

горячекатаную класса А-IV, марок 80С и 20ХГ2Ц (ГОСТ 5781—61* и ГОСТ 5058—65*);

горячекатаную класса А-V, марки 23Х2Г2Т (ЧМТУ 1-177-67);

термически упрочненную классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI (ГОСТ 10884—64*).

2.2. Расчетные и нормативные сопротивления стержневой напрягаемой арматурной стали перечисленных в п. 2.1 марок и классов, а также условия их применения в железобетонных конструкциях следует принимать согласно главе СНиП II-В.1-62 «Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования» и Указаний (СН 390-69).

Основные характеристики механических свойств стержневой напрягаемой арматуры приведены в табл. 1.

2.3. Высокопрочную напрягаемую стержневую арматуру всех классов и марок следует применять в железобетонных конструкциях преимущественно в виде стержней мерных длин, а термически упрочненную классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI — только в виде стержней мерных длин.

2.4. Приемка поступающей арматурной стали производится путем сопоставления результатов внешнего осмотра и замера, а также данных, приведенных в сертификатах, и результатов контрольных испытаний с требованиями Государственных стандартов и технических условий, перечисленных в п. 2.1 настоящего Руководства.

Таблица 1

Механические свойства стержневой арматуры

Арматурная сталь		Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ в кГ/см²	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$ в кГ/см²	Угол загиба в холодном состоянии при диаметре оправки, равном 5 d, в *град*	Начальный модуль упругости $E_а^н$ в кГ/см²	Диаметр стержней в *мм*
класс	марка	не менее				
А-IV	80С	6000	9000	45	$2 \cdot 10^6$	10—18
	20ХГ2Ц	6000	9000	45	$1{,}9 \cdot 10^6$	10—32
Ат-IV	20ГС, 20ГС2	6000	9000	45	$1{,}9 \cdot 10^6$	10—25
А-V	23Х2Г2Т	8000	10500	45	$1{,}9 \cdot 10^6$	10—22
Ат-V	20ГС, 20ГС2	8000	10000	45	$1{,}9 \cdot 10^6$	10—25
Ат-VI	20ГС, 20ГС2	10000	12000	45	$1{,}9 \cdot 10^6$	10—25

Примечание. В соответствии с положениями СН 390-69 за нормативное сопротивление стержневой арматурной стали принимается величина браковочного минимума ее предела текучести.

Каждая партия арматуры должна подвергаться потребителем обязательным контрольным испытаниям: на растяжение (по ГОСТ 12004—66) и загиб в холодном состоянии.

2.5. Для испытания арматурной стали каждого вида на растяжение и загиб в холодном состоянии отбирают по три образца от трех различных стержней из одной партии.

2.6. В случае несоответствия результатов какого-либо испытания требованиям Государственных стандартов и технических условий надлежит производить повторное испытание на двойном количестве образцов, взятых от других стержней этой же партии арматуры. При неудовлетворительных результатах повторного испытания хотя бы по одному образцу вся партия арматурной стали бракуется.

2.7. Каждую партию арматуры следует хранить на стеллажах в закрытом сухом помещении раздельно.

3. ЗАГОТОВКА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ АРМАТУРЫ

3.1. Заготовка напрягаемой стержневой арматуры заключается в образовании на концах стержней временных концевых анкеров или установке инвентарных зажимов, а в необходимых случаях также в отрезке стержней заданной длины и их соединении.

3.2. Временные концевые анкеры и инвентарные зажимы служат для закрепления натянутой арматуры на упорах форм, поддонов и стендов до приобретения бетоном изделия прочности, достаточной для восприятия усилия натяжения арматуры.

3.3. Резку стержней арматуры классов А-IV, А-V, Ат-IV, Ат-V и Ат-VI следует производить в холодном состоянии с помощью ножниц или пил трения. Допускается газокислородная резка стержней классов А-IV и А-V. Резка стержней электрической дугой не допускается.

3.4. Напрягаемая стержневая горячекатаная арматурная сталь классов А-IV и А-V, марок 20ХГ2Ц и 20Х2Г2Т, а также в отдельных случаях и марки 80С может стыковаться сваркой. Виды сварных соединений этих сталей принимаются согласно СН 390-69. Подготовка к сварке, технология и режимы сварки стержневой арматуры должны осуществляться в соответствии с требованиями «Указаний по сварке соединений арматуры и закладных деталей железобетонных конструкций» (СН 393-69).

Сварку стержневой горячекатаной арматурной стали класса А-V, марки 23Х2Г2Т следует производить в соответствии с требованиями СН 393-69, предъявляемыми к сварке арматуры класса А-IV, марки 20ХГ2Ц.

3.5. Соединять сваркой стержни термически упрочненной арматуры классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI не допускается.

Примечание. В случае наличия отходов этой арматуры в виде стержней немерных длин их можно использовать в виде вязаных или сварных элементов, но только как сталь класса А-II, в соответствии с разъяснениями Госстроя СССР от 29 декабря 1969 г. «Об использовании в железобетонных конструкциях термически упрочненной арматурной стали немерных длин» или производить стыкование методом «обжатая обойма» в соответствии с «Указаниями по расчету и изготовлению анкеров и стыковых соединений типа «обжатая обойма» на стержневой арматуре периодического профиля» У-27-66 (МПСМ СССР) и использовать так же, как и стержни мерной длины.

3.6. Для закрепления стержневой напрягаемой арматуры следует применять следующие виды временных концевых анкеров:

а) стальные опрессованные в холодном состоянии шайбы (рис. 1,*а*) для арматуры всех классов диаметром до 22 *мм* включительно;

б) высаженные головки (рис. 1, *б*), образуемые на концах стержней высадкой в горячем состоянии, — для арматуры классов А-IV, Ат-IV и А-V, диаметром до 32 *мм* включительно;

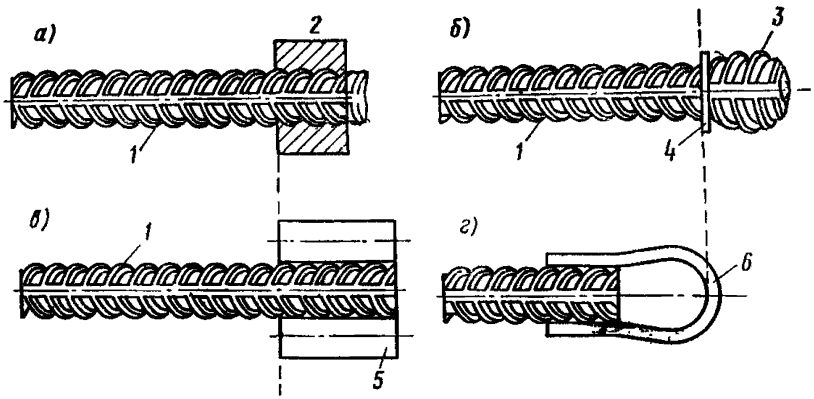

Рис. 1. Анкеры одноразового использования

а — опрессованная шайба; *б* — высаженная головка; *в* — приваренные коротыши; *г* — приваренная петля; *1* — стержень; *2* — опрессованная шайба; *3* — высаженная головка; *4* — опорная шайба; *5* — коротыши; *6* — петли

в) приваренные коротыши (рис. 1, *в*) или петли (рис. 1, *г*) — для арматуры классов А-IV, А-V, диаметром до 32 *мм* включительно;

г) отрезки стержней с резьбой и гайкой на конце, приваренные к напрягаемой арматуре сваркой, трением или контактной стыковой сваркой для арматуры классов А-IV, Ат-IV, А-V и Ат-V, диаметром от 18 до 32 *мм* включительно;

д) инвентарные зажимы НИИЖБ по МРТУ 7-17-67 «Зажимы полуавтоматические для захвата арматуры при ее натяжении» (рис. 2), клиновые зажимы и захваты других конструкций для арматуры всех классов диаметром до 32 *мм* включительно.

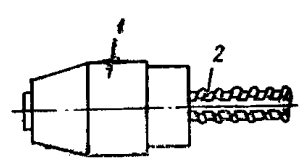

Рис. 2. Зажимы НИИЖБ по МРТУ 7-17-67

1 — корпус; *2* — арматура

Допускается применять высаженные головки или приваренные дуговой сваркой коротыши для закрепления арматуры классов Ат-V и Ат-VI. Приварка дуговой сваркой коротышей для закрепления термически упрочненной арматуры классов Ат-IV—Ат-VI производит-

ся в соответствии с рекомендациями, приведенными в приложении 1 настоящего Руководства.

3.7. Устройство временных концевых анкеров в виде опрессованных обойм должно осуществляться на специальных обжимных машинах МО конструкции ВНИИЖелезобетона по технологии, рекомендуемой У 27-66 (МПСМ СССР). Допускается использовать для опрессовки шайб на арматуре диаметром до 22 *мм* станки типа С-445 для резки арматуры или другое кузнечно-прессовое оборудование, обеспечивающее надежную степень опрессовки.

3.8. Обоймы (рис. 3) для временных концевых анкеров штампуются из листовой или полосовой стали марок Ст.1, Ст.2 и Ст.3 (ГОСТ 380—60*, ГОСТ 5681—57*, ГОСТ 82—57* и ГОСТ 103—57*) или изготавливаются

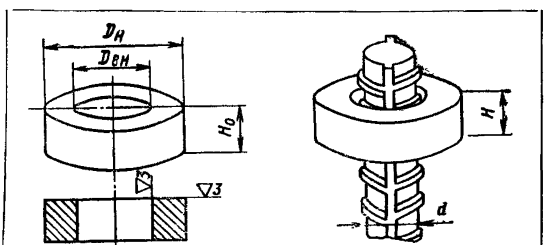

Рис. 3. Обойма для временных концевых анкеров

из круглой и шестигранной стали тех же марок (ГОСТ 2590—57*, ГОСТ 2879—69) или из толстостенных труб, отвечающих требованиям ГОСТ 8732—70 и ГОСТ 8734—58**. Размеры обойм приведены в табл. 2. Технология изготовления обойм должна соответствовать У 27-66 (МПСМ СССР).

3.9. Высадку головок в горячем состоянии можно производить одновременно на обоих концах стержня или поочередно на каждом конце на машинах 6596С/1, 6594/1М, 6974/2, а также на стыкосварочных машинах МСР-100, МСР-75 и других с соблюдением соответствующих режимов нагрева и высадки (см. СН 393-69).

3.10. Высаженные головки рекомендуется снабжать опорными шайбами или втулками с конусными отверстиями (рис. 4) для обеспечения равномерной передачи

Таблица 2

Размеры обойм для опрессовки

Диаметр в *мм*			Высота обоймы в *мм*					
	шайбы		до опрессовки H_0			после опрессовки H_0		
			Класс арматуры					
арматуры d	внутренний $D_{вн}$	наружный $D_н$	Ат-IV, А-IV	Ат-V, А-V	Ат-VI	А-IV, Ат-IV	Ат-V, А-V	Ат-VI
10	13	30	8	10	11	11	13	16
12	15	32	8	11	14	13	15	18
14	17	32	10	13	17	14	17	21
16	20	36	11	15	19	16	19	23
18	22	36	13	17	21	17	21	25
20	24	40	14	19	23	19	23	28
22	26	42	16	21	25	20	26	30

усилия от натянутого стержня на упоры форм или поддонов. В качестве опорных шайб рекомендуется использовать черные шайбы болтовых соединений.

3.11. Резку стержней при подготовке к высадке головок следует производить с точностью по длине ± 5 *мм*, при этом торцы стержня должны быть перпендикулярны его оси. Допускается перекос торцовой поверхности по отношению к оси стержня не более следующих размеров (рис. 5, *а*):

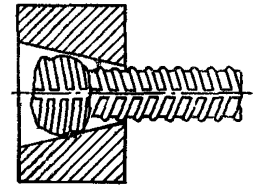

Рис. 4. Втулка с конусным отверстием для высаженной головки на конце стержня

для диаметра стержня	12 *мм*	. . . . .	2 *мм*
» » »	14—16 »	. . . . .	3 »
» » »	18—22 »	. . . . .	4 »
» » »	25—32 »	. . . . .	5 »

3.12. При изготовлении высаженных головок на арматурной стали классов А-IV, Ат-IV, А-V и Ат-V рекомендуется:

а) расстояние между наружными гранями неподвижных контактов зажимов машин для высадки головок или наружной гранью неподвижного контактного зажима машины и упором на стеллаже устанавливать с помощью шаблона;

б) укладывать стержни для высадки головок таким

образом, чтобы их концы выступали за торцы неподвижных контактных зажимов или матриц на величину $2{,}5d$, где d — номинальный диаметр стержня (рис. 5,*б*);

в) производить нагрев конца стержня перед высадкой головки при температуре 950—1100°С — для горячекатаной арматуры классов А-IV и А-V и 850—950°С — для термически упрочненной арматуры классов Ат-IV и Ат-V;

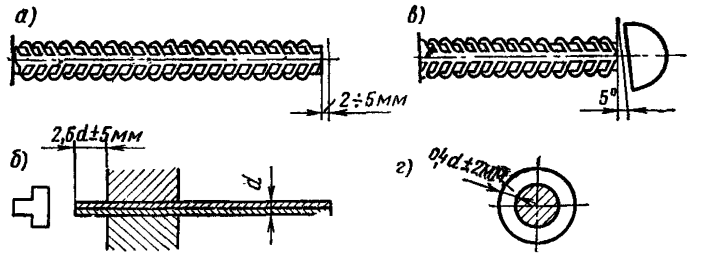

Рис. 5. Схемы высаженных головок на концах стержней и их основные размеры

а — перекос торцовой поверхности при отрезке стержней; *б* — длина конца стержня для высадки головки; *в* — перекос опорной поверхности головки; *г* — ширина опорной поверхности головки

г) перед высадкой головок оплавить торец стержня во избежание искривления концов стержней при высадке. Для этого высадочный электрод при включенном токе поджать к торцу стержня с небольшим усилием, которое затем плавно увеличивать;

д) высадку головки при сжатии стержня производить при выключенном токе или путем импульсного нагрева при максимальном усилии обжатия;

е) обеспечивать медленное остывание головок на стержнях горячекатаной стали классов А-IV и А-V путем складирования стержней с высаженными головками в закрытые короба и т. п. или осуществлять повторный нагрев концов стержней с головками до температуры 750—800°С;

ж) предохранять неостывшие головки от резкого охлаждения и соприкосновения с водой;

з) избегать поджогов в контактах машин, для чего при необходимости следует зачищать концы стержней и периодически не реже чем 3 раза в смену чистить элект-

роды. Форму поверхности контактов следует принимать в соответствии с рекомендациями СН 393-69.

3.13. Готовые временные концевые анкеры в виде высаженных головок должны отвечать следующим требованиям:

а) диаметр отверстия шайб может отличаться от наружного диаметра стержня не более чем на 2 *мм;*

б) опорная поверхность шайб или втулок должна быть перпендикулярной оси стержня (рис. 5, *в*);

в) опорная поверхность высаженной головки должна быть симметрична относительно оси стержня. Ширина выступа должна быть равна $0{,}4d \pm 2$ *мм* (рис. 5, *г*);

3.14. Временные концевые анкеры в виде приваренных коротышей образуются приваркой на концах арматурных стержней коротких, длиной 5—6*d*, отрезков арматуры из круглой или периодического профиля стали. Для этой цели применяют электродуговую сварку в соответствии с СН 393-69.

Для коротышей рекомендуется использовать отходы арматурной стали классов А-I, А-II и А-III, а также класса А-IV, марки 20ХГ2Ц и класса А-V, марки 23ХГ2ГТ; могут быть использованы также прутки стали прямоугольного или квадратного поперечного сечения.

3.15. Для равномерной передачи усилий от натянутых стержней с приваренными коротышами на упоры форм или поддонов необходимо при заготовке коротышей обеспечить перпендикулярность торцов к их продольной оси, что может быть достигнуто при отрезке коротышей дисковыми пилами или резцом на токарном станке.

Перекос опорной поверхности концевого анкера в виде приваренных коротышей по отношению к оси стержня не должен превышать 0,5 *мм*.

3.16. Для обеспечения правильного положения коротышей при их приварке к стержню и требуемой точности расстояния между их опорными плоскостями по длине стержня рекомендуется пользоваться специальными кондукторами.

В кондукторе необходимо предусматривать устройства для фиксирования положения стержня и прижима коротышей к упорам во время приварки.

3.17. Для образования временного анкера в виде петли к концам стержней привариваются петли из полосовой стали марки Ст.3 или Ст.5.

Длина и сечение приваренных петель, а также раз-

меры сварного шва рассчитываются на усилие, равное браковочному минимуму прочности арматурной стали на растяжение (см. табл. 1).

3.18. Для обеспечения надежной работы временного концевого анкера в виде петли необходимо, чтобы петля имела симметричную форму относительно продольной оси стержня (см. рис. 1,*г*), соответствующую сечению штыря.

Изготовление петель может производиться различными способами: на ручном арматурно-гибочном станке, в оправке с использованием пресса и др.

Для обеспечения требуемой точности расстояния между опорными поверхностями петель по длине стержня их приварку рекомендуется производить в жестком кондукторе со штырями, расстояние между внешними гранями которых устанавливается по шаблону.

3.19. Качество сварных анкеров должно соответствовать требованиям ГОСТ 10922—64, а также СН 393-69.

3.20. При натяжении арматуры электротермическим способом для обеспечения требуемого расстояния между опорными поверхностями временных концевых анкеров арматуры предельные отклонения расстояния между опорными поверхностями кондукторов и концевых анкеров на стержнях арматуры должны приниматься по табл. 3 при разнице температуры воздуха не более 20°С в местах, где производится подготовка арматурных стержней и находятся формы, в упоры которых их укладывают.

При большой разнице температур должен быть произведен перерасчет длины заготовки арматуры и изменены соответствующие размеры в устройствах, применяемых для образования концевых анкеров.

3.21. При заготовке стержней арматуры, натягиваемых группами с помощью механических устройств, рекомендуется обеспечивать расстояние между опорными поверхностями анкерных устройств с предельным отклонением $\pm 0{,}03\ \Delta l$, где Δl — величина упругого удлинения стержня при его натяжении до заданного усилия, рассчитанная исходя из модуля упругости стали (см. табл. 1).

3.22. Установка инвентарных зажимов на стержни при электротермическом натяжении должна производиться в кондукторе с жесткими ограничителями. Расстояние между наружными гранями ограничителей упо-

Таблица 3

Предельные отклонения расстояния между упорами кондукторов и неподвижных контактных зажимов установок для образования концевых анкеров и опорными поверхностями анкеров на концах арматуры

Расстояние между упорными поверхностями анкеров в *м*	Предельное отклонение расстояния (в *мм*) между			
	упорами кондукторов и неподвижных контактных зажимов		опорными поверхностями анкеров на концах арматурных стержней	
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее
5	0	—2	+2	0
6,5	0	—2	+2	0
9,5	0	—3	+3	0
13	0	—4	+4	0
16	0	—4	+4	0
19	0	—5	+5	0
25 и более	0	—5	+5	0

Примечание. Верхним предельным отклонением данной величины называется разность между наибольшим допустимым и заданным значениями, а нижним предельным отклонением — разность между наименьшим допустимым и заданным значениями.

ров и между опорными поверхностями анкеров необходимо контролировать по шаблону.

В случае электротермического натяжения арматуры с нагревом вне формы зажимы на арматуру устанавливают до ее нагрева. Для этого в нагревательной установке предусматривают жесткие ограничители, расстояние между которыми контролируют с помощью шаблона в соответствии с данными, приведенными в табл. 3.

3.23. Для обеспечения требуемой точности предварительного натяжения арматуры при работе с инвентарными зажимами НИИЖБ необходимо учитывать смещение губок зажимов относительно корпуса, величины которого в зависимости от диаметров напрягаемой арматуры для стали всех классов и марок, перечисленных в п. 2.1 настоящего Руководства, приведены в табл. 4.

3.24. При механическом натяжении арматуры с одновременным нарастанием нагрузки на тяговое устройство и фиксируемый на упоре зажим смещение губок не оказывает влияния на степень натяжения. При передаче нагрузки от тягового устройства свободному зажиму, расположенному на упоре формы или стенда, либо при натяжении арматуры с перехватом следует учитывать, что смещение губок зажима может вызывать сущест-

Таблица 4

Смещение губок зажимов НИИЖБ относительно корпуса

Диаметр арматуры в *мм*	Величина смещения губок зажимов S в *мм*	
	при $\sigma_0=0{,}4\ R_a^н$	при $\sigma_0=0{,}9\ R_a^н$
10—12	2,3	3,3
14	2,6	3,8
16	3,0	4,3
18	3,3	4,8
20	3,6	5,4
22	4,0	5,8
25	4,4	6,6
28	4,9	7,4
32	5,4	8,2

Примечание. При $\sigma_0 = 0{,}4 - 0{,}9\ R_a^н$ значение S определяют по линейной интерполяции.

венное изменение величины натяжения. Уменьшение величины предварительного напряжения, связанное со смещением губок зажима, приведено на рис. 6.

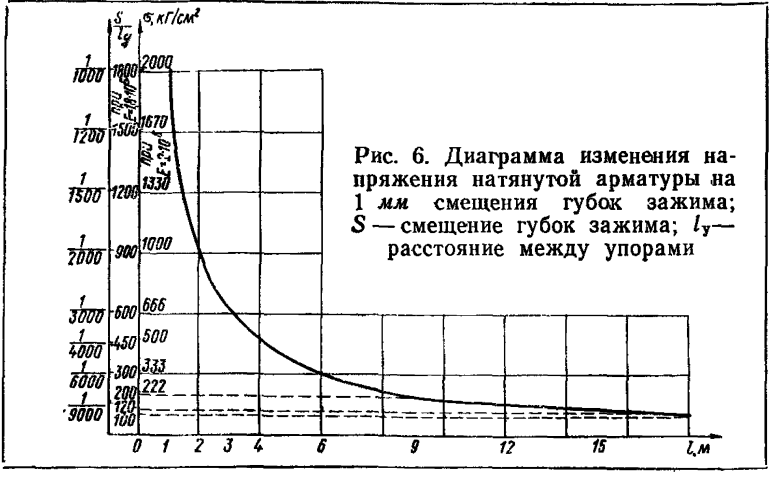

Рис. 6. Диаграмма изменения напряжения натянутой арматуры на 1 *мм* смещения губок зажима; S — смещение губок зажима; $l_у$ — расстояние между упорами

3.25. Для компенсации потерь из-за смещения губок зажима при натяжении арматуры с перехватом ее следует натягивать до усилия, несколько большего расчетного. Дополнительное упругое удлинение арматуры при этом должно быть равным величине смещения губок в одном зажиме.

3.26. Для компенсации потерь напряжения при электротермическом натяжении арматуры из-за проскальзы-

вания губок в двух зажимах расстояние между опорными поверхностями зажимов, установленных на арматуру до ее нагрева, должно быть меньше на величину $2S$ (см. п. 3.23), чем вычисленное для жестких анкеров.

3.27. Контроль расстояния между наружными гранями упоров кондукторов и неподвижных контактных зажимов установок для образования временных концевых анкеров на арматурных стержнях производится один раз в смену.

3.28. Контроль качества заготовки арматуры заключается в проверке расстояния между опорными плоскостями временных концевых анкеров и их прочности. Контроль расстояния между опорными поверхностями временных концевых анкеров производится выборочно каждую смену с помощью контрольного шаблона.

3.29. Контроль прочности временных концевых анкеров в виде высаженных головок, приваренных коротышей, петель и стержней с резьбой осуществляется путем их испытания на разрыв. В случае применения инвентарных зажимов и опрессованных обойм испытания производятся на выдергивание стержней из анкеров. Все испытания производятся по методике, отвечающей требованиям ГОСТ 10922—64. Прочность временного концевого анкера на отрыв или выдергивание должна быть не менее усилия, соответствующего $0{,}9\sigma_в$ исходной стали (см. табл. 1).

Отклонение от этой величины допускается до значения не менее $1{,}2\ (\sigma_0+P)$ при $R_a^н<1{,}2\,(\sigma_0+P)$ и не менее $R_a^н$ при $R_a^н>1{,}2\,(\sigma_0+P)$ для временных анкеров в виде высаженных головок и приваренных коротышей на стержнях термически упрочненной арматуры классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI, а также для временных концевых анкеров в виде опрессованных обойм на стержнях арматуры классов А-IV и А-V, Ат-IV, Ат-V и Ат-VI; P — предельно допустимое отклонение величины σ_0 (см. табл. 9).

4. ПОДГОТОВКА ФОРМ, ПОДДОНОВ И СТЕНДОВ

4.1. Для изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций с натяжением арматуры до укладки бетона формы, поддоны и инвентарные стенды снабжаются на торцах упорами, предназначенными для

фиксации положения арматуры и восприятия силы ее натяжения до момента передачи на бетон.

4.2. Формы, поддоны и инвентарные стенды должны обладать достаточной жесткостью и отвечать соответствующим техническим условиям и требованиям раздела II главы 3 «Временной инструкции по технологии изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций». При расчете форм на жесткость усилия от натяжения арматуры принимаются максимальными из возможных для всей номенклатуры изделий, изготовляемых на данном комплекте форм, поддонов и инвентарных стендов.

Рекомендуется проектировать формы и поддоны так, чтобы равнодействующая усилий напрягаемой арматуры располагалась по центру тяжести их сечения. В этом случае достигается существенное уменьшение веса формы.

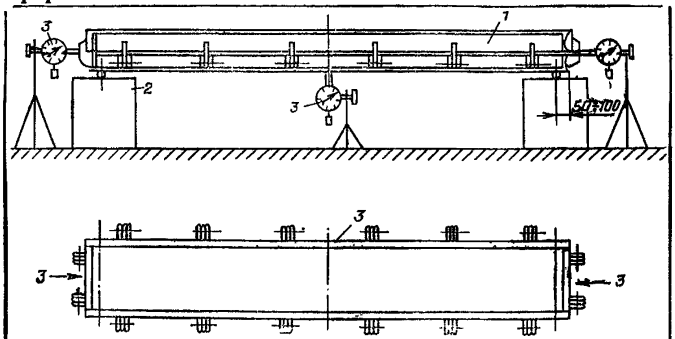

Рис. 7. Схема контроля жесткости форм и поддонов
1 — форма с арматурой и бетоном; *2* — опоры; *3* — прогибомеры

4.3. Контроль жесткости форм и поддонов (рис. 7), предназначенных для изготовления предварительно напряженных конструкций, осуществляется путем измерения их прогиба после натяжения арматуры и укладки бетона.

Прогиб измеряется посередине пролета в двух точках (по обеим сторонам) при опирании формы или поддона на две опоры, расположенные на расстоянии 0,05—0,1 *м* от торцов. Измерение производится с точностью до 0,2 *мм* с помощью прогибомеров, индикаторов или других приборов.

Величину прогиба, если к жесткости форм или поддонов не предъявляется особых требований, рекомендуется принимать не более 0,001 расстояния между упорами.

4.4. Продольную деформацию (сближение упоров) форм, поддонов и инвентарных стендов по оси натягиваемой арматуры после натяжения последней рекомендуется допускать не более 0,0004 расстояния между упорами.

4.5. Формы, поддоны и инвентарные стенды, не отвечающие требованиям жесткости и продольной деформативности, подлежат усилению в соответствии с «Руководством по расчету и проектированию стальных форм» (Стройиздат, 1970).

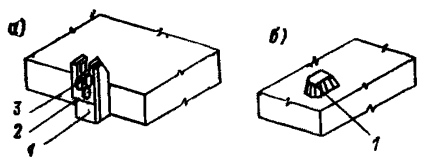

Рис. 8. Упоры форм для закрепления натянутой арматуры
а — вилочный; *б* — в виде штыря; *1* — упор; *2* — съемная пластина; *3* — винты

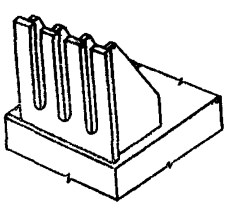

Рис. 9. Вилочный упор для группы стержней

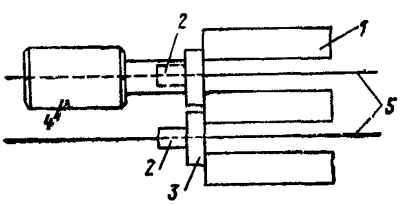

Рис. 10. Вилочные упоры с анкерными плитами
1 — упоры; *2* — зажимы; *3* — анкерные плиты; *4* — гидродомкрат; *5* — стержни

4.6. Для закрепления стержневой арматуры с концевыми анкерами в виде высаженных головок, приваренных коротышей и петель, натягиваемой электротермическим способом, на форме рекомендуется применять вилочные упоры (рис. 8,*а*) и упоры в виде штыря (рис. 8,*б*). При применении инвентарных зажимов также могут быть использованы вилочные упоры для всех способов натяжения арматуры. Для закрепления на форме концентрированно нескольких стержней может быть рекомендован упор, показанный на рис. 9.

4.7. Для закрепления стержневой арматуры со всеми видами концевых анкеров, натягиваемой механическим способом на упоры стендов, рекомендуется применять:

а) для натяжения отдельных стержней — вилочные упоры с анкерными плитами (рис. 10);

б) для одновременного натяжения группы стержней — захваты на несколько стержней, количество которых определяется тяговым усилием гидродомкрата.

4.8. Вилочные упоры рекомендуется изготовлять из стали марок Ст.3 и Ст.5 и снабжать с торца съемными пластинами из высокопрочной стали. Съемные пластины, предназначаемые для предохранения упоров от быстрого износа, следует изготовлять из инструментальной стали марок У 7 и У 8 толщиной 5 *мм* с закалкой до твердости R_c=45—50. Крепление пластинки к упорам необходимо осуществлять винтами с потайной головкой.

Возможно применение на упорах форм-накладок для укладки головок, высаженных на концах стержней.

4.9. Размеры прорези в упорах должны выбираться из условия обеспечения проектного расположения арматуры для всей номенклатуры изделий, намечаемых к изготовлению на данных формах, поддонах и инвентарных стендах.

В упорах глубину прорези рекомендуется делать больше высоты размещаемой в ней арматуры на величину, равную наружному диаметру стержня, а ширину прорези — на 2—4 *мм* больше того же диаметра.

4.10. Ширина упора должна приниматься конструктивно в зависимости от проектного расположения арматуры для всей номенклатуры изделий, намечаемых к изготовлению на данных формах, поддонах, инвентарных стендах, но не менее трех диаметров арматурного стержня.

При применении инвентарных зажимов размеры упоров по ширине и высоте должны выбираться такими, чтобы площадь опирания на упоры всегда была не менее 75% площади торца зажима. Толщина упоров определяется из расчета на прочность и жесткость под действием максимальных возможных усилий от натяжения арматуры.

4.11. Упоры и съемные пластины изготовляются с предельным отклонением ±1 *мм* по ширине и высоте. Толщина упоров и пластин, а также размеры прорези выдерживаются с предельным отклонением ±0,1 *мм*.

Все грани упоров и пластин и прорези в них обрабатываются по четвертому классу чистоты поверхности.

Упоры, как правило, должны располагаться вне габаритов изделий, однако при достаточном экспериментальном обосновании для изготовления пустотных плит настилов и ряда других изделий допускается расположение упоров в габаритах изделий.

Установка упоров на формах, поддонах и инвентарных стендах для электротермического натяжения арматуры должна производиться с таким расчетом, чтобы места защемления арматуры в токоподводящих контактах нагревательных установок располагались относительно габаритов (торцов) изделия в соответствии с рекомендациями, изложенными в пп. 6.18 и 6.19 настоящего Руководства.

4.12. Номинальное расстояние между наружными плоскостями упоров

$$l_у = l_и + 2l_{уп}, \qquad (1)$$

где $l_и$ — длина напрягаемой арматуры в пределах изделия;

$l_{уп}$ — длина упора, измеряемая от места выхода за пределы изделия напрягаемой арматуры до опорной плоскости упора.

Величина $l_{уп}$, устанавливается конструктивно из условий прочности упора, удобства укладки и перерезки стержней, размещения торцовых бортов формы и т. д.

4.13. Упоры должны устанавливаться на формы, поддоны и стенды с применением шаблонов, охватывающих упоры снаружи.

При расстоянии между упорами более 12 *м* рекомендуется устанавливать упоры с замерами расстояний между ними стальной рулеткой, исключая провисание ленты по ее длине с помощью подкладок и обеспечивая постоянное усилие натяжения ленты при замерах. Замеры расстояний между упорами и подобные замеры на установках для образования временных концевых анкеров на арматурных заготовках следует производить при помощи одной и той же части ленты.

4.14. Допустимые предельные отклонения расстояния между упорами при электротермическом натяжении арматуры принимаются по табл. 5.

Таблица 5

Допустимые предельные отклонения расстояния между упорами форм

Расстояние между упорами $l_у$ в *м*	Предельное отклонение величины $l_у$ в *мм*	
	верхнее	нижнее
5	0	—2
6,5	0	—2
9,5	0	—3
13	0	—3
16	0	—4
19	0	—4
25 и более	0	—5

4.15. Перед началом эксплуатации формы или всей партии форм на данное изделие должна быть проведена нормализация расстояний между упорами в соответствии с заданными допусками. Для этого сначала производится контрольная проверка расстояний между упорами на уровнях расположения всей напрягаемой арматуры. Замеры производятся на форме сначала без арматуры, а затем со всей натянутой арматурой, чтобы выявить сближение упоров при натяжении.

Измеренные отклонения расстояний между упорами должны быть в пределах, указанных в табл. 5. Если это отклонение выходит из заданных пределов, то производится нормализация расстояний. Для этого устанавливается новый, общий для всех случаев, номинальный размер (обычно это наибольший размер), и в тех местах, где отклонение от этого размера превышает заданное, производится приварка к упорам пластинок соответствующей толщины.

4.16. Периодически, после изготовления каждых 25 изделий, необходимо проверять правильность расстояния между наружными гранями упоров. Проверку следует производить с соблюдением рекомендаций, приведенных в пп. 4.13—4.15 настоящего Руководства, с помощью шаблонов, а при $l_у$ более 12 *м* — с помощью стальной рулетки. В случае нарушения этого расстояния необходимо восстанавливать его путем соответствующих ремонтных работ.

4.17. Торцовые борта форм с упорами, расположенными вне габаритов изделий, должны иметь прорези для

пропуска натянутой арматуры с минимальным зазором во избежание вытекания вибрируемого бетона.

Торцовые борта могут быть откидными на шарнирах или вставными. В обоих случаях они должны точно фиксироваться и закрепляться на форме во избежание их выпучивания при укладке бетона.

4.18. Формы, поддоны и инвентарные стенды должны иметь предохранительные козырьки для защиты рабочих в случае обрыва натягиваемой арматуры или устройства для ее закрепления в упорах. Козырьки могут быть индивидуальными для каждого упора или групповыми, съемными или стационарными.

5. НАТЯЖЕНИЕ АРМАТУРЫ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

5.1. Натяжение стержневой арматуры механическим способом может осуществляться:

гидравлическими или винтовыми домкратами;

грузовыми устройствами с системой блоков и рычагов;

лебедками с полиспастами и динамометрами.

Наибольшее распространение получили тидравлические домкраты.

5.2. Натяжение стержневой арматуры на упоры форм и стендов может производиться как по одному стержню, так и одновременно нескольких стержней (группой).

5.3. В случае невозможности обеспечения требований п. 3.22 рекомендуется до группового натяжения производить предварительную подтяжку каждого стержня усилием, не превышающим 10% проектного.

5.4. Натяжение стержневой арматуры на стендах или силовых формах рекомендуется производить в два этапа.

На первом этапе арматуру натягивают усилием, равным 40—50% заданной величины. После этого тщательно проверяют правильность расположения напрягаемой арматуры, устанавливают закладные детали, каркасы и сетки и окончательно собирают формы. На втором этапе арматура натягивается до проектной величины усилия с перетяжкой на 10%, выдерживается в течение 2—5 *мин*, после чего усилие натяжения уменьшается до проектной величины.

5.5. Величина контролируемого натяжения принимается по проекту, а допуск на эту величину $\pm 5\%$. При контроле величины предварительного напряжения арматуры по удлинению допуск должен приниматься равным $\pm 10\%\ \sigma_0$.

5.6. Приварка каких-либо металлических деталей к натянутой стержневой арматуре не допускается.

5.7. В процессе изготовления конструкций не допускается передавать постоянную или временную нагрузку непосредственно на натянутую арматуру (от элементов опалубки, бункеров и др.).

5.8. Время натяжения стержневой арматуры определяется скоростью деформирования напрягаемой стали, которая должна быть не более 10 *см/мин.*

5.9. Необходимую величину усилия натяжения арматуры устанавливают в зависимости от количества натягиваемых стержней, их диаметров, заданного в проекте предварительного напряжения и потерь натяжения, не учтенных при расчете конструкций.

К числу таких потерь могут быть отнесены: уменьшение напряжения арматуры при неодновременном ее натяжении на форму за счет деформации формы и потери на трение в гидравлических домкратах.

5.10. Фактическую величину натяжения последовательно натягиваемых отдельных стержней или групп стержней, расположенных в один ряд по горизонтальной плоскости формы, с учетом потерь из-за ее деформации можно вычислить, пользуясь уравнениями:

в первом натягиваемом элементе

$$Q_1 = Q\left[1 - \left(\frac{K}{n+K} + \frac{K}{n+2K} + \ldots + \frac{K}{n+(n-1)K}\right)\right]; \quad (2)$$

во втором элементе

$$Q_2 = Q\left[1 - \left(\frac{K}{n+2K} + \frac{K}{n+3K} + \ldots + \frac{K}{n+(n-1)K}\right)\right]; \quad (3)$$

в третьем элементе

$$Q_3 = Q\left[1 - \left(\frac{K}{n+3K} + \frac{K}{n+4K} + \ldots + \frac{K}{n+(n-1)K}\right)\right]; \quad (4)$$

в $(n-1)$ *элементе*

$$Q_{n-1} = Q\left(1 - \frac{K}{n + (n-1)K}\right); \qquad (5)$$

в n элементе

$$Q_n = Q, \qquad (6)$$

где Q — проектное усилие натяжения одного или группы одновременно натягиваемых стержней;

n — число отдельно натягиваемых стержней или групп стержней;

K — величина, равная

$$K = mp\left(1 + \frac{l^2}{r^2}\right); \qquad (7)$$

m — отношение модулей упругости напрягаемой арматуры и материала несущей части формы;

p — отношение площади сечения натягиваемого стержня или группы стержней к площади сечения формы;

l — расстояние от центра приложения усилия натяжения стержня или равнодействующей группы стержней до центра тяжести поперечного сечения формы;

r — радиус инерции сечения формы.

Вычислив величину фактического усилия натяжения каждого стержня или группы одновременно натягиваемых стержней, определяют потери натяжения из-за деформации форм, которые равны: для первого натягиваемого стержня $(Q-Q_1)=\Delta_1 Q$, для второго $(Q-Q_2)=$ $=\Delta_2 Q$ и т. д. Увеличивая заданное проектное усилие натяжения на величину ΔQ для каждого стержня, компенсируют указанные потери.

5.11. В случае, если отдельные стержни или группы одновременно натягиваемых стержней закреплены на одном упоре формы, расположенном в вертикальной плоскости, необходимо вначале определить фактическое суммарное усилие на один упор, пользуясь формулой

$$Q_{1c} = nQ - \Delta_{2-1}Q + \Delta_{3-2}Q + \ldots + \Delta_{n-(n-1)}Q, \qquad (8)$$

где $\Delta_{n-(n-1)}Q = \frac{r^2 + l_n^2}{A + r^2 + l_{n\pm k}}$;

l_n — плечо приложения усилия натяжения данного стержня от центра тяжести формы;

$l_{n\pm k}$ — плечо приложения усилия натяжения стержня, потери натяжения для которого определяются по формуле

$$A = \frac{r_2 n F E_к}{f E_а}, \qquad (9)$$

F — площадь сечения формы;

f — площадь сечения натягиваемого стержня или группы стержней;

$E_к$ — модуль упругости материала несущей части формы;

$E_а$ — модуль упругости напрягаемой арматуры.

Вычислив фактическое усилие, приложенное к упору, определяют суммарную потерю натяжения арматуры на данном упоре $nR—R'_с = \Delta lp$.

Потери натяжения из-за деформации форм можно компенсировать увеличением проектной величины натяжения на Δlp путем подтягивания одного или нескольких стержней при условии, что напряжение в арматуре не будет превышать $R^н_а$ для данного класса или марки стали.

5.12. В случае, если в конструкции предусмотрена напрягаемая стержневая арматура, расположенная в вертикальной и горизонтальной плоскости, вначале необходимо по п. 5.11 определить расчетным путем величину усилия, которое необходимо компенсировать для получения натяжения, равного nQ на каждом штыре или упоре. Затем, руководствуясь п. 5.10, определить натяжение в напрягаемых элементах, рассматривая их в горизонтальной плоскости, а также осуществить компенсацию путем увеличения усилия натяжения.

5.13. При одновременном натяжении всей арматуры изделия потери из-за деформации форм не учитываются.

5.14. Для исключения потерь натяжения арматуры из-за трения гидравлические домкраты до применения должны быть протарированы. Тарирование гидравлических домкратов должно производиться не реже одного раза в три месяца.

5.15. Тарирование домкратов следует производить, как правило, на испытательных машинах. При их отсутствии допускается тарировать домкраты с помощью динамометров.

5.16. Тарирование домкратов рекомендуется производить следующим образом:

а) домкрат следует тарировать с тем манометром и насосной станцией, которые будут эксплуатироваться в производственных условиях; до тарирования необходимо 3—5 раз опрессовать насосную станцию, манометр и домкрат по давлениям, превышающим на 10% максимальное, указанное в паспорте домкрата и насосной станции.

Опрессовочное давление следует выдерживать каждый раз не менее 5 *мин.* Допускаемое при этом падение давления должно составлять не более 2—8% опрессовочного. В случае больших величин потерь давления следует тарировку приостановить, выявить их причины и устранить;

б) у домкрата, установленного для тарирования, поршень должен быть смещен от крайнего положения на $^1/_5$ своего хода;

в) подъем давления в цилиндре домкрата рекомендуется осуществлять ступенями величиной около 0,1 от номинального давления, указанного в паспорте домкрата;

г) окончательные результаты тарирования оформляют в виде таблиц и графиков как среднее арифметическое из трех показаний следующих друг за другом нагружений. Эти таблицы и графики должны содержать соотношения между величиной давления по показаниям манометра и усилиями натяжения по динамометру.

5.17. Определение основных параметров домкрата для натяжения арматуры рекомендуется производить по следующим формулам:

тяговое усилие домкрата

$$Q_д = \frac{K b P}{\eta}, \qquad (10)$$

где η — коэффициент полезного действия гидродомкрата, принимаемый равным 0,94—0,96;

b — число одновременно натягиваемых стержней или групп стержней;

P — проектное усилие натяжения стержня или группы стержней;

K — коэффициент, учитывающий возможную технологическую перетяжку, равный 1,1;

ход поршня

$$S_п = (0{,}007 - 0{,}01)\, l_a, \qquad (11)$$

где l_a — длина натягиваемой арматуры между опорными поверхностями временных концевых анкеров.

5.18. Для механического натяжения арматуры могут применяться гидравлические домкраты (табл. 6), выпускаемые машиностроительными заводами.

Таблица 6

Технические характеристики гидродомкратов

Тип гидродомкрата	Тяговое усилие в *т*	Ход поршня в *мм*	Размеры в *мм*			Вес в *кг*
			длина	ширина	высота	
ДГС-31,5-200	31,5	200	750	157	210	35
ДГС-63-315	60	315	1090	210	260	30
СМ-513Б	60	800	3080	1670	1320	2850
6280СА	100	150	1000	340	340	765
7427*	80/160	1200	1930	450	450	725

* Размеры и вес приведены для гидродомкрата без насосной станции.

Кроме перечисленных в табл. 6 специальных гидродомкратов для натяжения арматуры могут применяться грузовые гидродомкраты, приспособленные для этих целей.

5.19. Для натяжения отдельных стержней арматуры, закрепляемой с помощью инвентарных зажимов, домкраты ДГС-31,5-200 и ДГС-63-315 должны быть дооборудованы, как это показано на рис. 11.

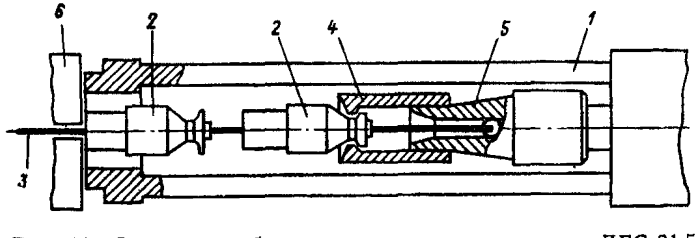

Рис. 11. Схема переоборудования гидродомкратов ДГС-31,5-200 и ДГС-63-315 для натяжения стержневой арматуры, закрепляемой инвентарными зажимами

1 — гидродомкрат; *2* — защимы НИИЖБ; *3* — стержень; *4* — муфта; *5* — втулка; *6* — упор формы или стенда

5.20. При использовании гидравлических домкратов для натяжения арматуры цена деления шкалы манометра не должна превышать $^1/_{20}$ величины измеряемого давления. Максимальное давление, на которое рассчитан манометр, не должно превышать измеряемое давление более чем в 2 раза.

Выбор манометров для гидравлических домкратов рекомендуется производить по табл. 7.

Таблица 7

Технические характеристики манометров для гидродомкратов

Цена деления шкалы в *кГ/см²* для приборов класса			Верхний предел измерения манометра в *кГ/см²*	Минимальное измеряемое давление (в *кГ/см²*) для приборов класса		
1	1,5	2,5		1	1,5	2,5
0,2	0,5	0,5	25	5	7,5	12,5
0,5	1	1	40	8	12	20
0,5	1	1	60	12	18	20
1	2	2	100	20	30	50
2	5	5	160	32	48	80
2	5	5	250	50	75	125
5	10	10	400	80	120	200
5	10	10	600	120	180	300

5.21. При натяжении арматурного элемента домкрат должен быть расположен так, чтобы его ось совпадала с осью арматуры или захвата с ней. Несовпадение оси домкрата может вызвать перенапряжение стали и искажение величины натяжения, а иногда и обрыв ее.

6. НАТЯЖЕНИЕ АРМАТУРЫ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

6.1. Сущность электротермического способа натяжения арматуры заключается в том, что арматурные заготовки, нагретые электрическим током до требуемого удлинения, фиксируются в таком состоянии в жестких упорах, которые препятствуют укорочению стержней при остывании. Благодаря этому в арматуре возникают заданные напряжения.

Нагрев арматурных заготовок производится электрическим током большой плотности. Арматурные заготовки, предназначенные для натяжения их на упоры форм, поддонов или коротких инвентарных стендов, снабжаются по концам временными анкерами, расстояние между опорными плоскостями которых на заданную величину меньше расстояния между наружными гранями упоров. Удлинение заготовок при электронагреве должно

обеспечивать свободную укладку их в нагретом состоянии в упоры (рис. 12).

6.2. Натяжение стержневой арматуры электротермическим способом может производиться на формах, поддонах и т. п., а ее нагрев — вне или на месте натяжения. В обоих случаях нагрев арматуры должен осуществляться с помощью специальных установок в соответствии с положениями «Инструкции по технологии натяжения стержневой, проволочной и прядевой арматуры железобетонных конструкций электротермическим и электротермомеханическим способами», а также настоящего Руководства.

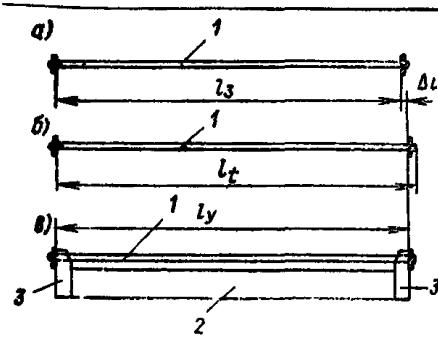

Рис. 12. Схема последовательности электротермического натяжения арматуры

а — стержень до нагрева; *б* — нагретый стержень; *в* — стержень в упорах формы после остывания; *1* — арматурный стержень; *2* — форма; *3* — упор

6.3. При электротермическом способе натяжения арматуры во избежание снижения условного предела текучести и временного сопротивления напрягаемой стержневой арматуры температура нагрева не должна превышать величин, указанных в табл. 8.

Таблица 8

Рекомендуемые и максимально допустимые температуры нагрева арматурной стали

Арматурная сталь		Температура нагрева в °С	
класс	марка	рекомендуемая	максимально допустимая
A-IV	80С	400	600
	20ХГ2Ц	400	500
A-V	23Х2Г2Т	400	500
Ат-IV	20ГС, 20ГС2	400	450
Ат-V	20ГС, 20ГС2	400	450
Ат-VI	20ГС, 20ГС2	—	400

Примечание. В случаях, когда используется термически упрочненная арматура, изготовляемая самими заводами железобетонных конструкций на установках типа ЭТУ, максимально допустимая температура электронагрева не должна превышать температуры отпуска. Если отпуск не производится, значения допускаемых температур электронагрева принимаются в каждом случае на основании экспериментальных данных.

Время нагрева в пределах 0,5—10 *мин* не оказывает существенного влияния на свойства как горячекатаной, так и термически упрочненной стали. Однако с целью повышения производительности труда и уменьшения расхода электроэнергии время нагрева рекомендуется принимать в пределах 1—3 *мин*.

Температура нагрева должна контролироваться по удлинению стали.

6.4. При натяжении стержневой арматуры электротермическим способом величина σ_0+P не должна приниматься более $R_a^н$ (где $R_a^н$ — нормативное сопротивление; P — допустимое предельное отклонение величины σ_0, значения которого для изделий различной длины указаны в табл. 9). На рабочих чертежах изделий необходимо указывать величины σ_0 и P.

Таблица 9

Допустимые предельные отклонения предварительного напряжения от заданного

Длина изделия $l_и$ в *м*	Верхнее и нижнее предельные отклонения $\pm P$ в *кГ/см²* заданного предварительного напряжения арматуры σ_0
5	±1000
6,5	±800
9,5	±700
13	±600
16	±550
19	±500
25 и более	±450

Примечания: 1. При изготовлении нескольких изделий, расположенных в линию с арматурой, проходящей через все эти изделия, длина $l_и$ принимается равной сумме длин изделий на линии.

2. При промежуточных значениях $l_и$ величина P определяется по линейной интерполяции.

6.5. Величина предварительного напряжения при электротермическом способе натяжения достигается путем обеспечения заданного удлинения арматуры Δl_0, величина которого определяется по формуле

$$\Delta l_0 = \left[\frac{\kappa\sigma_0 + P}{E_a^н}\right] l_у, \qquad (12)$$

где $E_a^н$ — принимается согласно табл. 1 в *кГ/мм²*;

$l_у$ — расстояние между наружными гранями упоров на форме, поддоне или стенде в *мм*;

$к$ — коэффициент, определяемый согласно данным табл. 10;

σ_0 и P — принимаются в *кГ/мм²*.

Таблица 10

Значения коэффициента $к$

σ_0 в *кГ/мм²*	Значения коэффициента $к$* для арматуры класса					
	A-IV марки		A-V	Ат-IV	Ат-V	Ат-VI
	80С	20ХГ2Ц				
30	1	1	1	1	1	1
40	1	1,05	1	1,05	1	1
50	1,05	1,1	1,05	1,1	1,05	1
60	1,15	1,2	1,1	1,2	1,1	1,05
70	—	—	1,15	—	1,15	1,1

* Промежуточные значения $к$ определяются по линейной интерполяции.

6.6. Величина полного удлинения арматуры при ее электронагреве определяется по формуле

$$\Delta l_п = \Delta l_0 + \Delta l_с + \Delta l_ф + C_t, \qquad (13)$$

где $\Delta l_с$ — величина смещения губок инвентарных зажимов относительно корпуса, деформации шайб под высаженными головками, смятия высаженных головок, опрессованных шайб, упоров и т. п. в *мм*;

$\Delta l_ф$ — продольная деформация формы поддона или стенда в *мм*;

C_t — дополнительное удлинение, обеспечивающее свободную укладку арматурного стержня в упоры с учетом остывания при переносе, принимаемое не менее 0,5 *мм* на 1 *м* длины стержня арматуры.

Величина $\Delta l_с$ при предварительных расчетах для изделий длиной 6 *м* суммарно на оба анкера принимается равной

$$\Delta l_с = 2 m \sigma_0, \qquad (14)$$

где $m=2{,}0\cdot10^{-2}$ *мм*^{3}/*кг* — для анкеров типа «обжатая обойма»;

$m=3{,}0\cdot10^{-2}$ *мм*^{3}/*кг* — для анкеров типа «высаженная головка»,

σ_0 — величина предварительного напряжения в *кГ*/*мм*^{2}.

При применении временных концевых анкеров в виде инвентарных зажимов НИИЖБ значение Δl_c определяется в соответствии с данными табл. 4 по формуле

$$\Delta l_c = 2S, \tag{15}$$

где S — смещение губок одного зажима относительно его корпуса в *мм*.

Сближение упоров формы $\Delta l_ф$ на уровне центра тяжести напрягаемой арматуры после натяжения всей арматуры должно указываться в рабочих чертежах формы. Если в чертежах величина $\Delta l_ф$ не указана, она измеряется при натяжении арматуры.

Для приближенных расчетов при длине изделий 6—12 *м* для формы с жесткими упорами $\Delta l_ф=1$—2 *мм*; для формы с поворотными упорами $\Delta l_ф=3$—4 *мм*.

6.7. Для обеспечения свободной укладки напрягаемой арматуры в упоры форм, поддонов или стендов величина полного удлинения арматуры Δl_n должна приниматься равной или меньше удлинения арматуры в результате нагрева ее до заданной температуры Δl_t, которая вычисляется по формуле

$$\Delta l_t = (t_р - t_о)\, l_к\, \alpha, \tag{16}$$

где $t_р$ — заданная температура нагрева в °С, которую следует, как правило, принимать равной величине рекомендуемой температуры нагрева (табл. 8). Не допускается принимать величину $t_р$ больше значения максимально допустимой температуры нагрева, указанной в табл. 8;

$t_о$ — температура окружающей среды в °С;

$l_к$ — расстояние между токопроводящими контактами (длина нагреваемого участка арматуры) в *мм*;

α — коэффициент линейного расширения стали, принимаемый по табл. 11.

Таблица 11

Коэффициенты линейного расширения стержневой арматурной стали

Температурный интервал в °С	Коэффициенты линейного расширения арматурной стали $\alpha\ 10^{-6}$ в °С	
	горячекатаной классов А-IV и А-V	термически упрочненной классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI
От 20 до 300	13,2	12,5
» 350	13,5	13,0
» 400	13,8	13,5
» 450	14,2	14,0
» 500	14,5	—

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ АРМАТУРНОЙ ЗАГОТОВКИ

6.8. Требуемая длина отрезаемого стержня арматурной стали определяется по формуле

$$l_0 = l_з + 2a, \qquad (17)$$

где $l_з$ — длина арматурной заготовки, равная расстоянию между опорными поверхностями временных концевых анкеров, в *мм*;

a — длина конца стержня, используемая для установки или образования временного концевого анкера, в *мм*.

Для «обжатых обойм» $a \geqslant H+5$ *мм*, где H — высота обоймы после опрессовки (см. табл. 2).

Для высаженных головок $a=2{,}5d+5$ *мм*, где d — диаметр арматуры.

Для приваренных коротышей и петель a определяется длиной коротышей (см. п. 3.16) или размерами петли (см. п. 3.17).

6.9. Длина арматурной заготовки определяется по формуле

$$l_з = l_у - \Delta l_о - \Delta l_ф - \Delta l_с, \qquad (18)$$

где $l_у$ — расстояние между наружными гранями упоров на формах, поддонах и инвентарных стендах в *мм*;

$\Delta l_о$, $\Delta l_ф$ и $\Delta l_с$ — принимаются согласно пп. 6.5, 6.6 настоящего Руководства в *мм*.

6.10. Для обеспечения требуемой точности предварительного напряжения арматуры необходимо, чтобы пре-

дельные отклонения фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного не превышали значений, приведенных в табл. 12.

Таблица 12

Допустимые предельные отклонения фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного ($Д^*$)

Расстояние между упорами $l_у$ в *мм*	Предельное отклонение величины Δl_0 в *мм*	
	верхнее	нижнее
5	0	—4
6,5	0	—4
9,5	0	—6
13	0	—7
16	0	—8
19	0	—9
25 и более	0	—10

Примечание. При промежуточных значениях $l_у$ величина нижнего предельного отклонения определяется по линейной интерполяции.

Эти отклонения могут быть выдержаны, если установка упоров на формах, поддонах или стендах, а также установка или образование на концах арматурных заготовок временных концевых анкеров осуществляется с применением жестких шаблонов.

6.11. Нижнее предельное отклонение фактического удлинения натянутой арматуры от расчетного равно допуску $Д^*$, который равен сумме $д_у$ и $д_з$

$$Д^* = д_у + д_з, \qquad (19)$$

где $д_у$ — допуск, равный нижнему предельному отклонению $l_у$, поскольку упоры устанавливаются по охватывающим шаблонам (табл. 5);

$д_з$ — допуск, равный верхнему предельному отклонению $l_з$, поскольку установка или образование временных концевых анкеров на арматуре производится по охватываемым шаблонам или кондукторам. Каждый из этих допусков уменьшает величину Δl_0 (табл. 3).

Рекомендуется принимать $д_у \approx д_з$. При соответствующем обосновании разрешается принимать соотношение между $д_у$ и $д_з$, отличное от указанного при условии, что

* Допуском данной величины называется разность между ее наибольшим и наименьшим допустимыми значениями.

сумма их абсолютных величин не должна превышать значений, указанных в табл. 12.

6.12. В начальный период освоения производства изделия по принятой величине Δl_0 производят подготовку и натяжение серии стержней с проверкой величины предварительного напряжения в них после остывания.

Измерения предварительных напряжений рекомендуется производить на нескольких, желательно всех, формах на возможно большем числе стержней.

По результатам измерений корректируют величину $Д^*$ таким образом, чтобы фактические величины предварительных напряжений не выходили за пределы отклонений, указанных в табл. 9.

В дальнейшем систематический заводской контроль величины натяжения арматуры заключается в контроле соблюдения окончательно принятых размеров $l_у$; $l_з$; $\Delta l_ф$; $\Delta l_с$.

НАГРЕВ И НАТЯЖЕНИЕ АРМАТУРЫ

6.13. Нагрев стержней арматуры, снабженных временными концевыми анкерами, а в случае необходимости и промежуточными анкерами, производится на специальных установках с целью увеличения их длины на заданную величину, которая позволяет уложить их свободно в упоры форм, поддонов или стендов.

6.14. Установки для нагрева стержневой арматуры рассчитываются в зависимости от размеров стержней (диаметра и длины) и вида стали на одновременный нагрев одного или нескольких стержней. При изготовлении изделий пролетом около 6 *м* с напрягаемой арматурой диаметром 10—16 *мм*, как правило, следует принимать число одновременно нагреваемых стержней, равное их количеству в одном изделии, т. е. 3—5 штук.

При изготовлении изделий пролетом 12 *м* и более с напрягаемой арматурой диаметром свыше 16 *мм* обычно нагревают 1 или 2 стержня.

6.15. Установки для нагрева стержневой арматуры приведены на рис. 13, 14, 15, 16, 17 и в приложении 2. Они располагаются, как правило, вне формы или поддона и состоят из двух контактных, двух или большего числа промежуточных опор для предохранения арматуры от провисания и преобразователей тока. Одна из контактных опор должна быть подвижной и обеспечивать сво-

бодное удлинение нагреваемых стержней без перемещения их в контактах. Контроль теплового удлинения должен осуществляться с погрешностью не более ±1 *мм*.

6.16. Нагревательные установки должны обеспечивать плотность прижима токопроводящих контактов к арма-

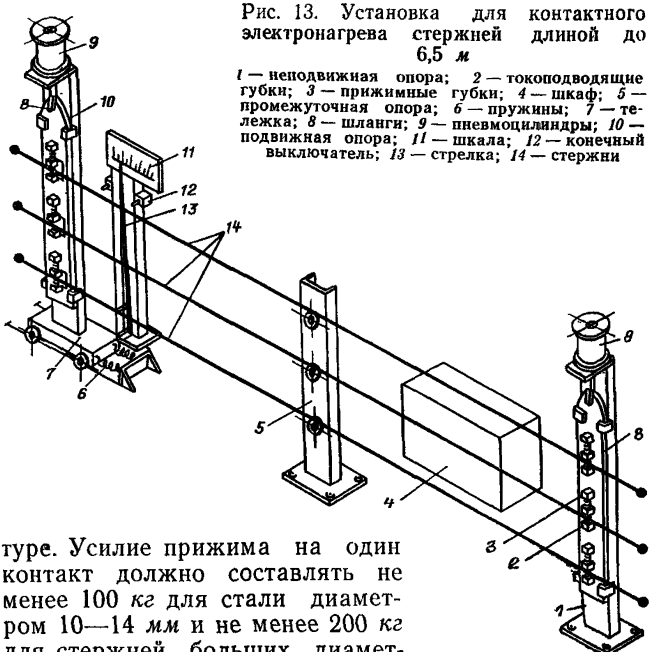

Рис. 13. Установка для контактного электронагрева стержней длиной до 6,5 *м*

1 — неподвижная опора; *2* — токоподводящие губки; *3* — прижимные губки; *4* — шкаф; *5* — промежуточная опора; *6* — пружины; *7* — тележка; *8* — шланги; *9* — пневмоцилиндры; *10* — подвижная опора; *11* — шкала; *12* — конечный выключатель; *13* — стрелка; *14* — стержни

туре. Усилие прижима на один контакт должно составлять не менее 100 *кг* для стали диаметром 10—14 *мм* и не менее 200 *кг* для стержней больших диаметров. Недостаточно плотный прижим контакта к арматуре может привести к местному перегреву, вредно отражающемуся на ее прочности.

Плотность прижима контакта к арматуре должна обеспечиваться принудительно пневматическими или электромагнитными устройствами, эксцентриками или грузами.

Контакты должны быть раздвижными и состоять из двух губок — токопроводящей и прижимной.

Ширина губок принимается в зависимости от конструкции нагревательной установки, но не менее двух диаметров нагреваемого стержня. Применение контактов

без принудительного прижима нагреваемых стержней не допускается.

6.17. Температура нагрева арматуры из стали различных марок и классов принимается в соответствии с п. 6.3 настоящего Руководства.

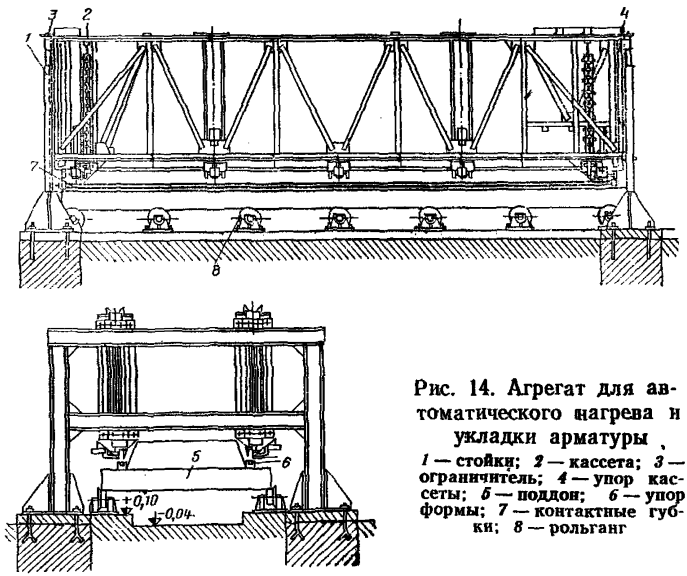

Рис. 14. Агрегат для автоматического нагрева и укладки арматуры

1 — стойки; *2* — кассета; *3* — ограничитель; *4* — упор кассеты; *5* — поддон; *6* — упор формы; *7* — контактные губки; *8* — рольганг

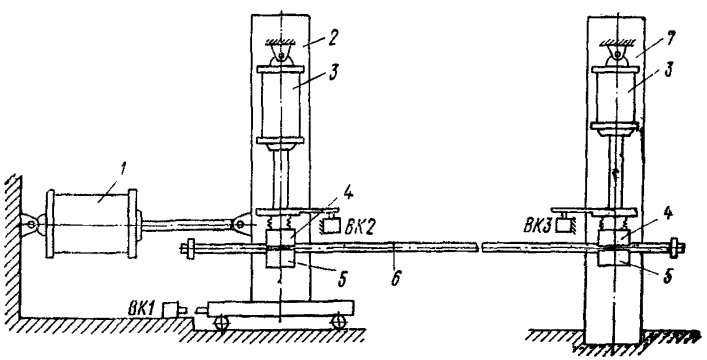

Рис. 15. Схема установки для нагрева стержней с оттяжкой подвижной опоры

1 — пневмоцилиндр; *2* — подвижная опора; *3* — пневмоцилиндр губок; *4* — верхние губки; *5* — нижние губки; *6* — стержень; *7* — неподвижная опора

Во избежание перегрева арматуры контроль температуры и ее ограничение являются обязательными. Контроль и ограничение температуры нагрева арматуры рекомендуется осуществлять по ее удлинению. Не допускается одновременный нагрев нескольких стержней разного диаметра при последовательной схеме их включения.

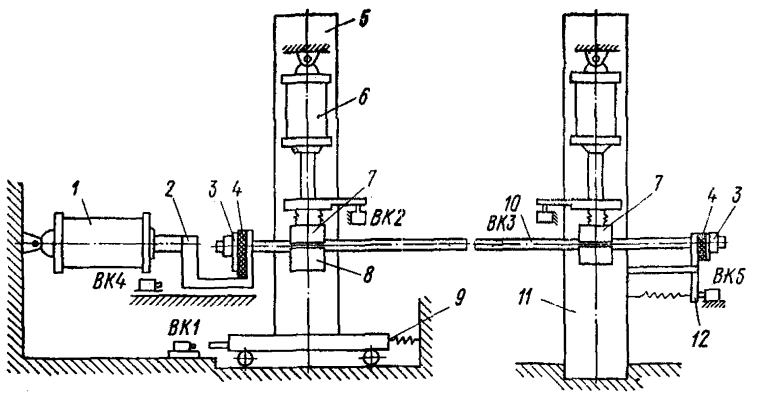

Рис. 16. Схема установки для нагрева стержней с оттяжкой за анкер

1 — пневмоцилиндр; *2* — вилка; *3* — пластина; *4* — изолирующая прокладка; *5* — подвижная опора; *6* — пневмоцилиндр губок; *7* — верхние губки; *8* — нижние губки; *9* — пружина; *10* — стержень арматуры; *11* — неподвижная опора; *12* — качающийся упор

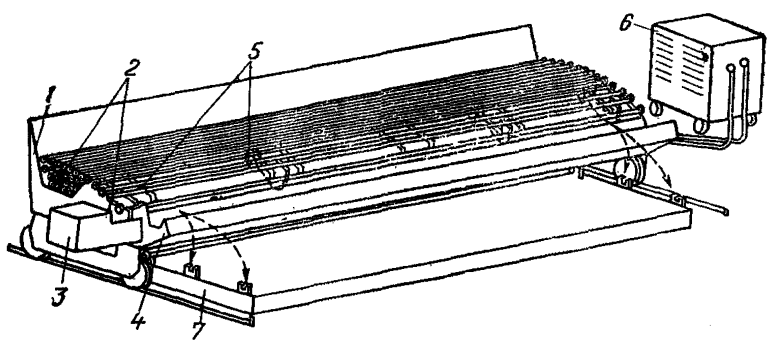

Рис. 17. Схема полуавтоматической универсальной нагревательной установки УНУ-1 (конструкция ВНИИЖелезобетона)

1 — бункер; *2* — нагреваемые стержни; *3* — механизм натяжения с пультом управления и контроля длины стержня; *4* — накопитель; *5* — подающий механизм; *6* — трансформатор; *7* — форма

6.18. Нагрев стержней арматуры рекомендуется осуществлять равномерно на возможно бо́льшем участке с

таким расчетом, чтобы место защемления арматуры в токопроводящих контактах находилось вне габаритов изделия.

Рекомендуется также, в тех случаях, где это возможно, осуществлять токопровод через торцовые плоскости анкеров. Это исключает возможность поджога стержней и позволяет нагревать стержни арматуры по всей их длине.

При использовании горячекатаной арматуры классов А-IV, А-V и термически упрочненной стали классов Ат-IV, Ат-V в таких изделиях, как пустотные настилы, плиты покрытий пролетом 6 *м*, а также опоры ЛЭП и т. п., рекомендуется при нагреве арматуры оставлять ненагретые концы такой длины, чтобы места защемления стержней в токопроводящих контактах нагревательной установки находились внутри изделия или на расстоянии не более чем на 30 *см* от его торцов.

Повторный нагрев стержней арматуры не рекомендуется, но в случае необходимости он может быть допущен только после полного остывания арматуры до температуры, не превышающей рекомендуемую (см. табл. 8).

6.19. Нагрев термически упрочненной арматуры класса Ат-VI допускается производить на установках по одному или нескольку стержней одного диаметра одновременно при условии обязательного контроля величины удлинения каждого стержня в отдельности. Стержни арматуры должны нагреваться по всей их длине. Существующие на заводах установки рекомендуется модернизировать, оснастив их механизмами принудительной оттяжки каждого стержня или подвижной контактной группы пневмоцилиндром, грузом, пружиной и т. д. для повышения точности контроля удлинения в процессе нагрева (см. приложение 2).

6.20. Во избежание излишнего остывания и укорочения арматуры при переносе на формы, поддоны и стенды рекомендуется располагать нагревательные установки возможно ближе к ним, с таким расчетом, чтобы время укладки одного стержня в упоры не превышало 5—10 *сек.*

6.21. Для нагрева арматуры рекомендуется применять сварочные трансформаторы и трансформаторы для электропрогрева бетона. Сварочные трансформаторы могут применяться как по одному, так и по два при параллель-

ном или последовательно параллельном соединении в зависимости от требуемых тока и напряжения.

При применении установок для электронагрева арматуры с трансформаторами, дающими вторичное напряжение более 36 *в*, необходимо соблюдать соответствующие требования техники безопасности.

6.22. Для выбора типов, количества и схемы соединения преобразователей тока для электронагрева арматуры необходимо определить требуемые ток, напряжение и мощность.

6.23. Требуемая величина тока определяется по формуле

$$I = \sqrt{\frac{70\,Q_{\text{полн}}\,\kappa}{\overline{R}\,\tau}}\ (a), \qquad (20)$$

где $Q_{\text{полн}}$ — полное количество тепла, расходуемое на нагрев 1 *м* стержня до расчетной температуры, в *ккал*;

κ — коэффициент, учитывающий схему включения стержней в цепь питания. При последовательном включении κ равно 1, при параллельном — числу одновременно нагреваемых стержней;

$\overline{R}$ — активное сопротивление 1 *м* стержня при расчетной температуре нагрева, применяемое по табл. 13 в $ом \cdot 10^{-4}$;

τ — время нагрева в *мин*.

Полное количество тепла $Q_{\text{полн}}$ определяется по формуле

$$Q_{\text{полн}} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{п}}\,\tau, \qquad (21)$$

где $Q_{\text{н}}$ — количество тепла, расходуемого на нагрев 1 *м* стержня до расчетной температуры без учета потерь, принимаемое по табл. 13 в *ккал*;

$Q_{\text{п}}$ — потери тепла с 1 *м* стержня теплоизлучением и конвекцией в течение 1 *мин*, принимаемое по табл. 13 в *ккал;*

6.24. Требуемое напряжение определяется по формуле

$$U = \frac{I\,\overline{Z}\,l_{\text{н}}\,m}{\kappa}, \qquad (22)$$

где $\overline{Z}$ — полное сопротивление 1 *м* стержня при нагреве до расчетной температуры, принимаемое по табл. 13 в $ом \cdot 10^{-4}$;

Таблица 13

Параметры преобразователей тока, принимаемых для электронагрева стержневой арматуры

Диаметр арматуры d в *мм*	Площадь поперечного сечения S в *мм*²	Омическое сопротивление R в *ом*·10^{-4}	Тепло, необходимое для нагрева 1 *м* стержня в *ккал*								Сопротивление 1 *м* стержня в *ом*·10^{-4}							
			$Q_н$	$Q_п$ при τ=1 *мин*	$Q_н$	$Q_п$ при τ=1 *мин*	$Q_н$	$Q_п$ при τ=1 *мин*	$Q_н$	$Q_п$ при τ=1 *мин*	активное $\overline{R}$				полное $\overline{Z}$			
			при температуре $t_к$ в °С															
			300		350		400		450		300	350	400	450	300	350	400	450
10	78	16,7	21,9	3,33	26,8	4,26	30,8	5,33	35,8	5,52	51,4	58,5	61,2	65,7	58	63,3	68,8	74,2
12	113	11,5	31,4	3,98	37,7	5,09	44,2	6,37	51,5	7,78	40	43,8	47,6	51,2	47	51,3	54,8	60,2
14	154	8,45	42,7	4,71	51,3	6,02	60	7,54	70	9,22	33,2	36,7	39,5	42,5	38,4	41,8	45,6	49,2
16	201	6,45	55,8	5,28	67	6,75	78,5	8,45	91,1	10,33	28,5	31,2	34	36,5	33,2	36,2	39,4	42,5
18	254	5,12	70,6	5,92	84,8	7,58	99,4	9,5	115,6	11,61	25,2	27,6	30	32,3	29,4	32,1	34,9	37,6
20	314	4,15	87,2	6,66	104,7	8,52	122,8	10,66	143	13,05	22,6	24,8	26,9	29	26,4	28,8	31,3	33,8
22	380	3,42	104,3	7,47	126,3	9,56	148	11,95	172	14,65	20,7	22,7	24,6	26,5	24,4	26,6	29	31,2
25	491	2,65	136	8,37	163	10,7	191,2	13,4	222,5	14,4	18	19,7	21,4	23,1	21,2	23,1	25,2	27,1
28	616	2,11	170,5	9,25	204,5	11,82	240	14,82	279	18,15	16,2	17,7	19,3	20,7	18,9	20,7	22,5	24,3
32	804	1,62	223	10,62	268	13,6	314	17,05	365	20,8	14,2	15,5	16,8	18,2	16,7	18,2	19,8	21,3
36	1018	1,28	282	11,82	332	15,25	397	19,1	462	23,4	12,6	13,8	15,1	16,2	14,9	16,2	17,7	19,1

$l_н$ — длина нагреваемого участка одного стержня в *м*;
m — коэффициент, равный при последовательном включении стержней в цепь питания их числу, а при параллельном соединении — единице.

6.25. Требуемая мощность преобразователей тока определяется по формуле

$$P = \frac{I\,U}{1000}\ (\textit{ква}). \qquad (23)$$

По полученным данным с помощью табл. 13 подбираются трансформаторы и схема их соединения с таким расчетом, чтобы они обеспечивали требуемый ток I и напряжение U. Расчетная мощность P должна быть всегда меньше номинальной мощности трансформатора.

7. КОНТРОЛЬ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

7.1. При механическом и электротермическом методе напряжения арматуры предельное отклонение величины контролируемого натяжения не должно отличаться от предусмотренного в рабочих чертежах на величину, указанную в ГОСТ 8829—66.

7.2. Контроль натяжения арматуры должен производиться в два этапа. Первичный контроль — в процессе натяжения арматуры и повторный — натянутой и закрепленной арматуры перед укладкой бетонной смеси в форму.

7.3. Первичный контроль в процессе натяжения арматуры должен осуществляться техническим персоналом, ответственным за пооперационный контроль на предприятии. Данные контрольной проверки заносятся в специальный журнал.

7.4. Контроль при механическом способе натяжения должен производиться по усилию согласно показаниям заранее оттарированных манометров и тарировочных таблиц или графиков гидродомкратов, а также по удлинению арматуры. Если при этом имеется расхождение в показаниях более чем на 10%, то натяжение прекращается, выявляются и устраняются причины расхождения.

При электротермическом натяжении первичный контроль осуществляется по удлинению (см. п. 6.6).

7.5. Механическое натяжение арматуры с оценкой напряжения только по ее деформации может приниматься

в случаях, когда полное упругое удлинение арматуры изделия при натяжении составляет не менее 10 *мм*, так как при этом удлинение может быть достаточно точно оценено стандартным измерительным инструментом.

7.6. Повторный контроль натяжения арматуры может производиться как перед формованием всех изделий, так и выборочно.

7.7. Повторный контроль величины натяжения арматуры должен осуществляться с помощью специальных приборов после полной сборки форм и остывания стержней, напряжение которых осуществляется электротермическим способом.

7.8. Для повторного контроля рекомендуется применять приборы, технические характеристики которых приведены в табл. 14.

Таблица 14

Основные технические характеристики приборов для повторного контроля усилия натянутой арматуры

Тип приборов	Диаметр арматуры в *мм*	Погрешность в %	Предельное значение длины арматурного стержня в *м*		Длина базы в *мм*
			нижнее	верхнее	
ПИН	10—18	2,5	1,5	Нет	600
ПРДУ ИНА-3	10—32	2	3	24	—
ИНА-3А ИПН-6	10—20	3	По табл. 15		—
ИПН-7	10—20	2,5	—	—	—

7.9. Устойчивые показатели измеряемых усилий с помощью приборов частотного типа соответствуют длинам напряженной арматуры, приведенным в табл. 15.

7.10. При контроле величины напряжения арматуры приборами ПРДУ, ИПН и ИНА необходимо, чтобы арматура, в которой измеряется напряжение по всей своей длине, не касалась арматурных каркасов, стенок форм, распределительных диафрагм и других элементов.

7.11. Прибор ПРДУ следует размещать на твердом основании строго посередине длины стержня арматуры, в котором измеряется напряжение. Приборы ИПН и ИНА также рекомендуется устанавливать для измерений

Таблица 15

Основные параметры приборов частотного типа

Диаметр напряженной арматуры в *мм*	Длина стержней в *м* для приборов типа	
	ИНА-3	ИПН-6
10	1,5—12	3—13
12	1,5—14	3—15
14	1,5—12	3,5—20
16	1,5—12	3,5—20
18	1,5—12	3,5—20
20	1,5—12	4,0—20
22	2,0—12	6,0—20

посередине длины стержня, в котором измеряется напряжение.

Допускается отклонение от середины длины стержня не более чем на $\pm 10\%$ ее величины.

Датчики приборов ИНА и ИПН необходимо располагать на расстоянии 5—10 *мм* от стержня арматуры.

Прибор ПИН можно разместить в любом месте по длине стержня, но не ближе 1 *м* от анкерных устройств.

7.12. Снятие отсчетов по приборам (см. табл. 14) необходимо производить не менее трех раз при каждом измерении. В случае резких колебаний отдельных показаний крайние значения отбрасываются и берется средняя величина по минимальным отсчетам.

По этим усредненным данным контролируемую величину предварительного напряжения определяют с помощью тарировочных характеристик или переводных таблиц, которые приложены к приборам.

7.13. Все приборы, применяемые для повторного контроля натяжения, должны подвергаться тарировке не реже одного раза в три месяца.

Тарирование приборов должно производиться на специальных стендах с арматурой длиной не менее 2 *м*, последовательно с которой устанавливают динамометр класса 1,5.

Результаты тарирования оформляются в виде таблиц или графиков, которыми необходимо пользоваться при обработке материалов измерений.

7.14. Повторный контроль натяжения арматуры должен производиться техническим персоналом предприятия и результаты записываться в специальный журнал.

8. ОТПУСК НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

8.1. Отпуск натяжения арматуры должен производиться при достижении бетоном прочности, указанной в рабочих чертежах изделий.

8.2. Передача предварительного напряжения арматуры на бетон производится только после удаления элементов форм и оснастки, препятствующих деформации и смещению изделия при его обжатии.

8.3. Усилия предварительного напряжения арматуры с упоров на бетон следует передавать плавно, предусматривая для этого специальные устройства (клиновые, винтовые, песочные муфты или гидродомкраты). Мгновенная передача усилий предварительного напряжения не допускается.

8.4. Отпуск натяжения арматуры путем поочередной или одновременной обрезки натянутых стержней, как правило, не допускается и может быть разрешен лишь только при условии подтверждения опытами, что при таком отпуске не нарушается сцепление арматуры с бетоном.

8.5. Отпуск натяжения рекомендуется производить одновременно для всей арматуры.

При отпуске натяжения арматуры гидродомкратами усилие на домкрате не должно превышать минимально необходимого для освобождения стопорных устройств. При отсутствии оборудования необходимой мощности для одновременного отпуска натяжения передачу напряжений на бетон можно осуществлять ступенями, постепенно уменьшая напряжение в каждом арматурном элементе примерно на 25% и соблюдая на каждой ступени симметричность обжатия сечения изделия.

8.6. Разрешается производить отпуск натяжения стержневой арматуры с помощью нагрева газокислородным пламенем стержней арматуры на свободных участках между упорами и торцом изделия так, чтобы разогрев производился на расстоянии не менее 400 *мм* от торца изделия одновременно с обоих концов формы или стенда. После отпуска натяжения арматуру следует перерезать возможно ближе к торцу изделия с таким расчетом, чтобы длина выступающего из изделия стержня не превышала 1 *d*.

9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

9.1. Требования по безопасному пользованию машинами и приспособлениями для заготовки и натяжения арматуры приведены в главе СНиП III-А.11-70 «Техника безопасности в строительстве».

9.2. Операция по заготовке арматуры выполняется лицами, сдавшими экзамен по техническому минимуму и технике безопасности по натяжению арматуры, прошедшими специальное обучение и работающими под контролем ответственного лица.

9.3. При работе на механических станках для заготовки арматуры должны выполняться следующие требования:

а) движущие нерабочие детали механизмов должны иметь ограждения;

б) заправка концов арматуры в автоматические машины допускается только при выключенном электродвигателе;

в) очистку арматуры ручными инструментами производить в очках и плотных перчатках.

9.4. При работе со сварочными аппаратами и установками для высадки головок необходимо выполнять следующие требования:

а) корпус сварочного агрегата должен быть надежно заземлен;

б) все части аппарата, находящиеся под напряжением, должны быть закрыты кожухом.

9.5. Формы, поддоны и инвентарные стенды должны быть снабжены комплектом стационарных или съемных инвентарных козырьков, закрывающих упоры и предохраняющих рабочих от травмы в случае обрыва арматуры или временных концевых анкеров во время остывания арматуры, транспортировки форм и поддонов и бетонирования конструкций.

9.6. Установки для нагрева арматуры должны иметь сигнальную лампу, предупреждающую рабочих о включении тока.

9.7. Соединения электропроводки должны быть тщательно изолированы.

9.8. На рабочих местах, где находится персонал, обслуживающий установки для нагрева, должны быть уложены резиновые коврики.

9.9. При работе на установках для электронагрева

арматуры рабочие должны соблюдать следующие правила:

а) работы производить только на исправном оборудовании;

б) не работать без резиновой обуви;

в) нагретую арматуру брать за холодные концы, при захвате за горячие места — пользоваться крюками;

г) выемку арматуры из контактов и укладку ее в упоры форм, поддонов и инвентарных стендов производить после выключения тока;

д) после укладки арматуры устанавливать в рабочее положение предохранительные козырьки.

9.10. Производство распалубочных работ, отпуск и перерезание натянутой арматуры должно выполняться в соответствии с действующими инструкциями по технике безопасности в установленной последовательности выполнения операций.

9.11. Запрещается находиться на форме, поддоне или стенде до полного охлаждения стержней.

9.12. Во время механического натяжения арматуры проведение каких-либо других работ на форме, поддоне или стенде воспрещается. Рабочие, за исключением машиниста натяжной машины и подсобного рабочего, должны быть удалены на безопасное расстояние от формы или стенда.

9.13. Рабочее место машиниста, обслуживающего натяжную машину, должно быть защищено ограждением из металлической сетки.

9.14. На рабочем месте у натяжной станции должна быть вывешена диаграмма и таблица требуемых и предельных величин натяжения арматуры разного диаметра и класса стали.

На случай внезапного обрыва арматуры по торцам натяжного стенда должны быть установлены предохранительные щиты.

9.15. Во время выполнения операций по механическому натяжению арматуры воспрещается:

а) находиться по оси напрягаемой арматуры;

б) применять натяжное и контрольное оборудование, не прошедшее соответствующих испытаний;

в) выравнивать молотком гидродомкраты, находящиеся под нагрузкой.

9.16. Инвентарные зажимы необходимо хранить на

стеллажах. Губки или клинья зажимов должны быть чистыми и смазанными.

9.17. При натяжении арматуры с помощью гидравлического оборудования необходимо применять предохранительный клапан с максимально допустимой нагрузкой не более 90% разрывного усилия напрягаемой арматуры.

9.18. Величину напряжения арматуры перед укладкой бетонной смеси следует измерять на посту, имеющем ограждение, обеспечивающее доступ к арматуре только в определенных местах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИВАРКЕ КОРОТЫШЕЙ К АРМАТУРЕ КЛАССОВ Ат-IV—Ат-VI

1. Для арматуры классов Ат-IV, Ат-V и Ат-VI длина коротышей принимается равной 5—6 *d*.

2. Для коротышей следует использовать горячекатаную арматуру марок Ст.5, 35ГС, 20ХГ2Ц и др. того же диаметра.

3. Стержни и коротыши должны плотно прилегать друг к другу и не иметь местных искривлений.

4. Прихватка каждого коротыша производится в одной точке на расстоянии 2,5—3 *d* от торца коротыша. Длина прихватки 10—15 *мм*, применяемые электроды и режимы те же, что и при сварке.

5. К работам по сварке термообработанной арматуры допускаются сварщики 4-го разр., прошедшие специальный инструктаж по технологии сварки и сдавшие контрольные испытания. Контрольные испытания включают сварку пяти контрольных образцов по технологии, предусмотренной СН 393-69.

Сварщик допускается к работе, если изготовленные им образцы при растяжении выдержали нагрузку не ниже 80% прочности основного металла.

6. При анкеровке термообработанных стержней сварка производится в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности.

7. Приступая к работе, сварщик должен подобрать режим на отдельных арматурных стержнях.

8. Во избежание поджога стержней вначале шва дугу следует возбуждать только на коротыше. Сварку производить без поперечных колебаний короткой дугой с опиранием смазки электрода на свариваемый металл.

9. Не допускается смена электродов на середине свариваемого участка шва, т. е. сварка каждого участка шва должна производиться без перерыва одним электродом.

10. Для исключения подогрева соединения сварка первого и второго швов анкера должна производиться с перерывом 3—4 *мин* между наложением предыдущего и последующего швов.

11. Для приварки анкерных коротышей может быть использован любой преобразователь или выпрямитель, предназначенный для ручной дуговой сварки (ПС-300, ПС-500, ПСО-300, ПСМ-1000, ВСС-300, ВКСМ-100 и др.).

12. Для контроля величины тока сварочный пост должен быть оснащен амперметром.

13. Сварка производится электродами диаметром 3—4 *мм* типа Э-50А, марок УОНИ-13/55, К-5А и др. (по ГОСТ 9467—60). Перед началом работы электроды рекомендуется прокалить по режиму, соответствующему их марке.

14. По окончании приварки коротышей сварщик должен очистить шов от шлака и осмотреть сварные швы.

15. Швы не должны иметь наплывов, резких сужений и перерывов.

16. Наличие трещин в сварных швах не допускается. Поры и шлаковые включения диаметром до 1,5 *мм* на длине шва, равной 1 *см*, допускаются в виде исключения и не более чем в одном месте.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

А. Полуавтоматическая универсальная нагревательная установка УНУ-1 конструкции ВНИИЖелезобетона

Полуавтоматическая универсальная установка (рис. 17) предназначается для нагрева арматуры из горячекатаной и термически упрочненных сталей стержней диаметром 10—22 *мм*, длиной 6—6,5 *м**.

В установке механизированы процессы подачи стержней для нагрева, нагрев и выброс нагретых стержней для дальнейшей укладки в форму. При необходимости установка оснащается устройством для контроля длины стержней по расстоянию между анкерами.

Установка выполняется в виде стационарного или подвижного вариантов. Стационарный вариант предназначается для использования на заводах с конвейерной технологии и устанавливается параллельно оси движения конвейера на минимально технологически возможном расстоянии.

Подвижный вариант отличается наличием механизма передвижения всей установки и предназначается для заводов со стендовой и агрегатно-поточной технологией, при которой формы могут располагаться в несколько параллельных рядов перед установкой.

Особенностью установки является приемная секция, которая может использоваться как теплоизолированный короб для остывания стержней. В этом случае скорость остывания нагретых стержней уменьшается в 2,5—3 раза.

При использовании горячекатаной арматуры, позволяющей перегревать ее на 150—200°С больше технологически необходимой температуры, установка позволяет через 1,5—2 *мин* получать партию нагретых стержней, накопленных в приемной секции, для дальнейшей укладки их в форму. При последующей модернизации и оснащении устройствами для укладки арматуры в форму установка может быть превращена полностью в автоматическую.

Техническая характеристика

Ход поршня оттяжки	80 *мм*
Усилие натяжения арматуры	150 *кГ*
Ход поршня выбрасывателя	100 *мм*
Количество нагреваемых стержней	1
Время нагрева стержня	20 *сек*
Производительность установки стержней	3 в 1 *мин*
Размеры в *м*:	
длина	7
ширина	0,8
высота	0,9
Вес	250 *кг*

* При необходимости нагрева стержней длиной 12 *м* и более установка должна удлиняться за счет сменных секций.

Б. Установка для электронагрева стержней арматуры конструкции завода железобетонных изделий № 5 Главмоспромстройматериалов

Установка предназначена для нагрева электрическим током стержневой, горячекатаной или термически упрочненной стержневой (рис. 18 и 19) арматуры класса Ат-V или А-V, но может быть использована для нагрева арматуры классов А-IV, Ат-IV и Ат-VI.

Нагрев и контроль удлинения арматуры осуществляются от индивидуальных устройств. В электрической системе предусмотрены элементы, предохраняющие стержни от перегрева.

Техническая характеристика

Количество нагреваемых стержней	1—4
Диаметр стержней	10—16 *м*
Длина »	6250 »
» нагреваемого участка стержня	5950 »
Максимально возможные удлинения стержней	40 »
Расчетная температура нагрева	380 °С
Установочная мощность трансформаторов	4×35 *ква*
Максимальное время выдержки стержней в натретом состоянии	5 *мин*
Давление воздуха в системе	4 *ати*

В. Установка 6596С/2 для электротермического натяжения арматуры

Установка 6596С/2 (рис. 20) предназначена для нагрева стержневой арматуры при электротермическом способе натяжения. Нагрев арматуры производится током по методу сопротивления от понижающего трансформатора. Температура нагрева контролируется по удлинению арматуры при помощи конечного выключателя. Стержни включаются параллельно выходной обмотке трансформатора.

Техническая характеристика

Количество нагреваемых стержней	1—2
Диаметр стержней	10—25 *мм*
Длина стержней	5000—6500 »
» нагреваемого участка стержня	3000—5000 »
Время нагрева	1—3 *мин*
Усилие прижима стержней	200 *кг*
Вес установки	1100 »

Г. Сварочно-высадочная машина 6974/2А

Машина 6974/2А (рис. 21) предназначена для сварки и высадки анкеров на стержневой арматуре классов А-III, А-IV, А-V.

Сварка арматуры, включая процесс подогрева, производится в

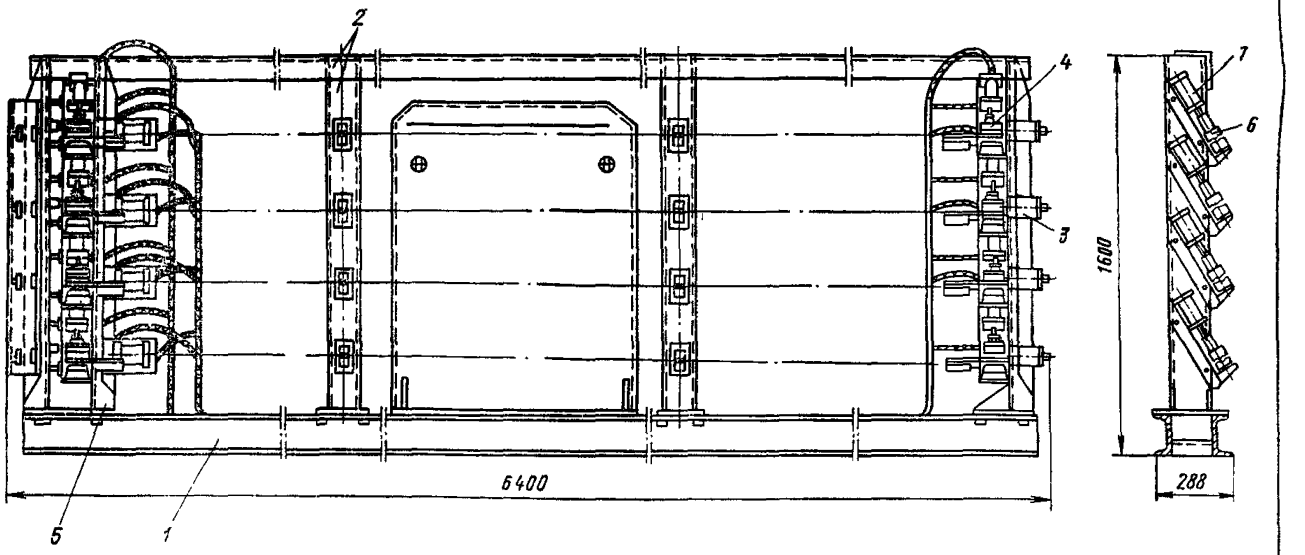

Рис. 18. Установка для электронагрева стержней арматуры конструкции завода железобетонных изделий № 5 Главмоспромстройматериалов

1 — рама; *2* — поддерживающие стойки; *3* — правая стойка; *4* — неподвижные зажимы; *5* — левая стойка; *6* — подвижной зажим; *7* — пневматический цилиндр

автоматическом цикле. Машина позволяет производить высадку про межуточных и концевых анкеров с помощью вставных пуансонов.

Техническая характеристика

Диаметр стержней	20—40 *мм*
Усилие зажима стержней	15 000 *кг*
» осадки »	10 600 »
Ход осадки	60 *мм*
Мощность трансформатора	150 *ква*
» электродвигателя насосной станции	4,5 »
Давление воздуха в системе	6 *кг/см²*
Производительность сварок	30 в 1 *ч*
Вес	2400 *кг*

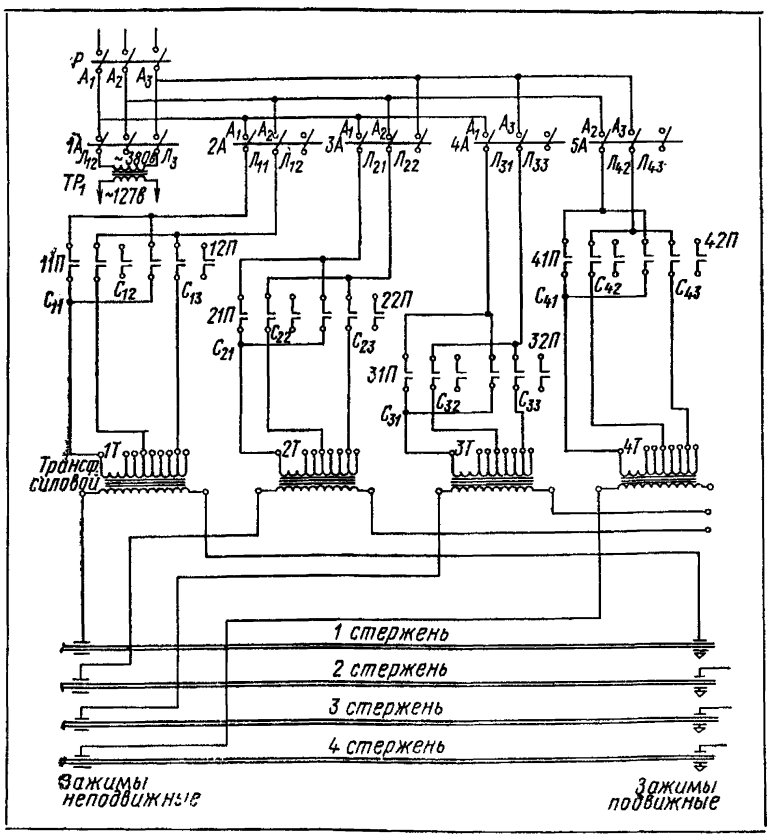

Рис. 19. Электрическая схема установки для электронагрева стержней арматуры конструкции завода железобетонных изделий № 5 Главмоспромстройматериалов

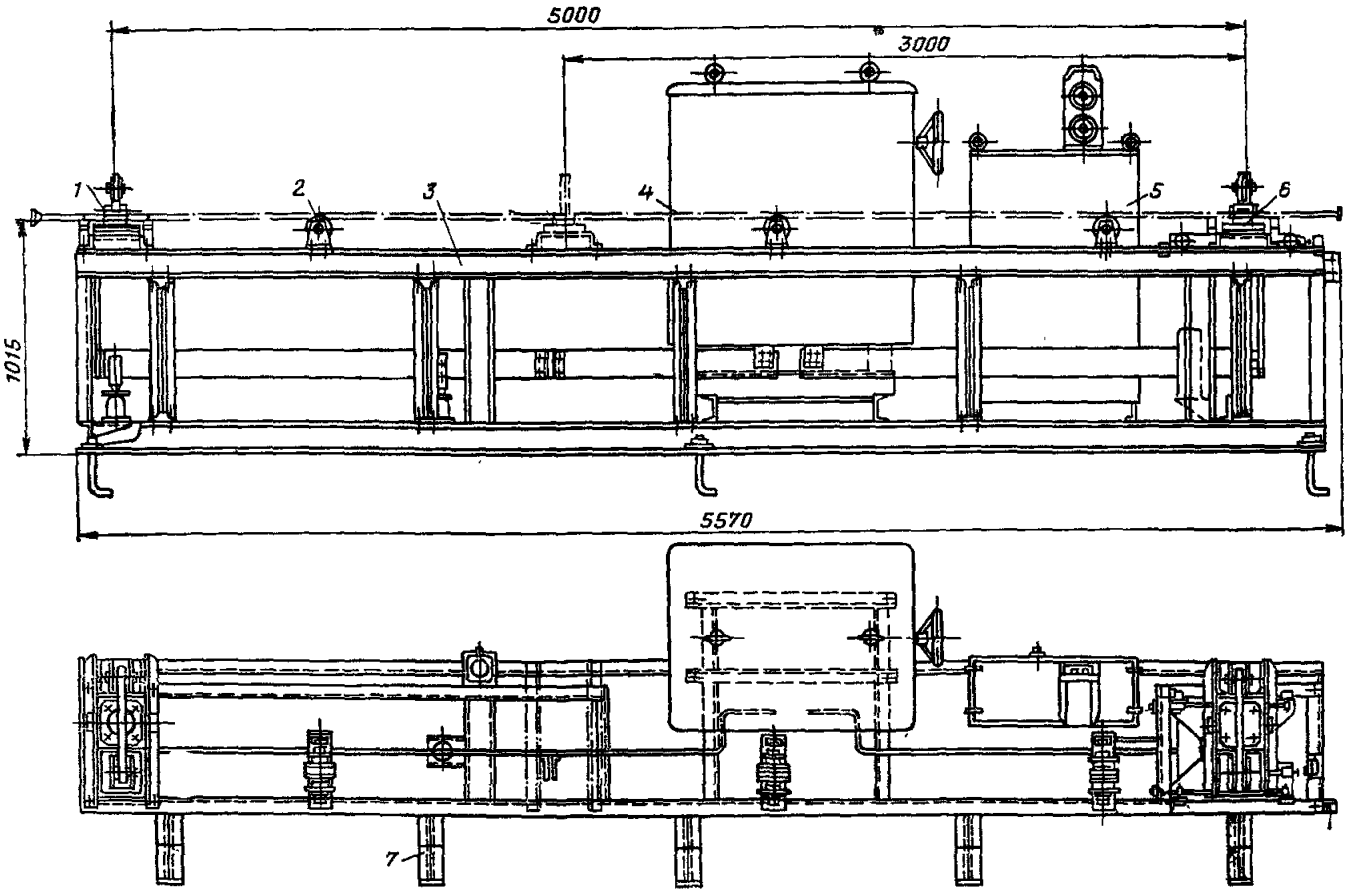

Рис. 20 Установка 6596С/2 для электротермического натяжения арматуры

1 — неподвижный контакт; *2* — поддерживающие ролики; *3* — рама; *4* — трансформатор; *5* — шкаф; *6* — подвижной контакт; *7* — кронштейн

Д. Машина 6596/1М для высадки анкеров

Машина 6596/1М (рис. 22) предназначена для образования на обоих концах арматурного стержня высаженных анкеров, используемых для закрепления арматуры при ее натяжении. Перед высадкой осаживаемые участки стержня нагреваются током от трансформаторов. Температура нагрева контролируется при помощи фотопирометров.

Контролируемая температура нагрева в пределах от 700 до 1200°С устанавливается в зависимости от класса арматурной стали и диаметра стержня. Машина работает в автоматическом цикле.

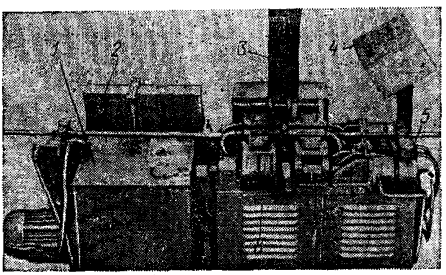

Рис. 21. Сварочно-высадочная машина 6974/2А

1 — насосная станция; *2* — регулятор; *3* — ограждение; *4* — пульт; *5* — гидроцилиндры; *6* — рама; *7* — неподвижная траверса с зажимными губками; *8* — подвижная траверса

Техническая характеристика

Диаметр стержней	10—25 *мм*
Длина »	5530—6450 »
Производительность стержней в 1 *ч*:	
диаметром 10—18 *мм*	100—120 шт.
» 20—25 »	80—100 »
Давление воздуха	5 *кг/см²*
Мощность трансформаторов	35×2= =70 *ква*
Вес машины	2500 *кг*

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

А. Определение расстояния между упорами форм и поддонов и между временными концевыми анкерами арматуры при электротермическом способе натяжения

Пример 1. На рабочих чертежах предварительно напряженного железобетонного элемента указано: длина изделия $l_и$=5900 *мм*, напрягаемая арматура диаметром 14 *мм* из стали класса Ат-V, предварительное напряжение σ_0=5000 *кГ/см²*.

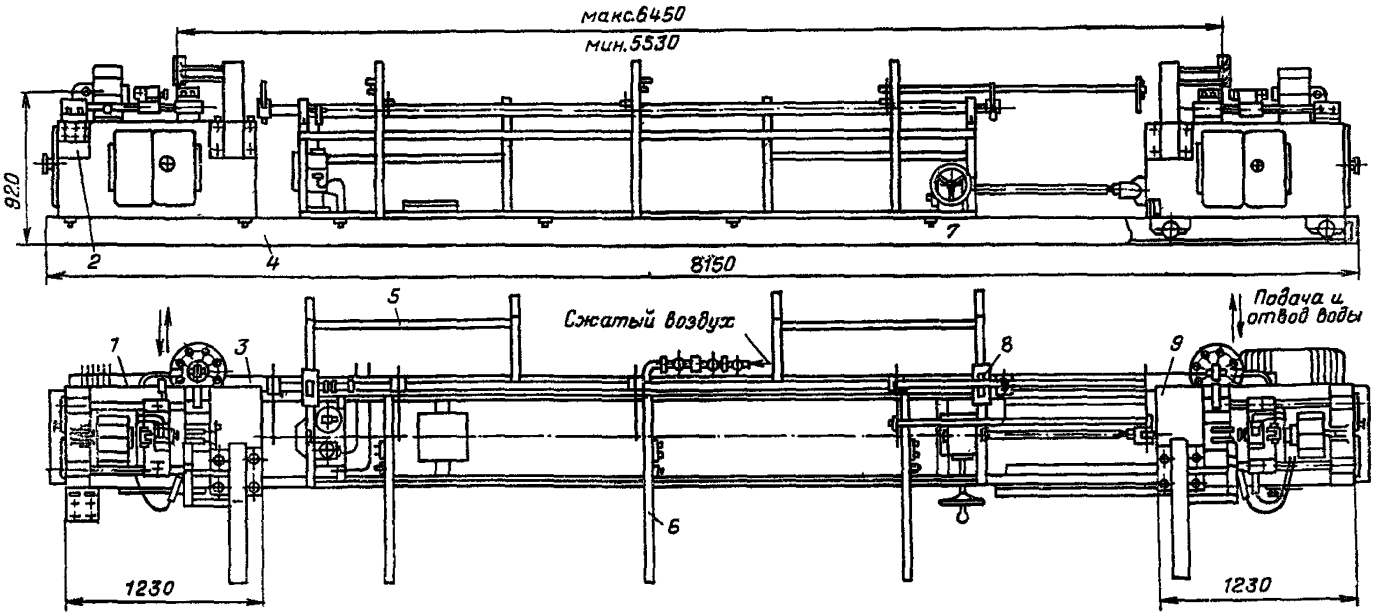

Рис. 22. Машина 6596/1М для высадки анкеров

1 — высадочно-зажимное устройство левое; *2* — пульт; *3* — ресивер; *4* — рама; *5* — бункер; *6* — стеллаж; *7* — механизм передвижения; *8* — загрузочное устройство; *9* — высадочно-зажимное устройство правое

Определение технологических параметров при проектировании форм

Наибольшее допустимое предварительное напряжение (см. п. 6.4)

$$\sigma_0^{\text{в}} = \sigma_0 + P = 5000 + 880 = 5880 \ кГ/см^2.$$

Расстояние между упорами $l_у$ примем исходя из размеров применяемых форм и конструктивных проработок (см. п. 4.12) равным

$$l_у = l_и + 2l_{уп} = 5900 + 2 \cdot 150 = 6200 \ мм.$$

Допустимое предельное отклонение расстояния между упорами форм согласно п. 4.14 равно -2; $+0$ *мм*.

Размер $l_у$, указываемый на чертежах форм,

$$l_у = (6200 - 2) \ мм.$$

Продольную деформацию формы $\Delta l_ф$ определяем расчетом исходя из приложения силы $P_0 = F_а \sigma_0$ с эксцентрицитетом, равным расстоянию от центра тяжести напрягаемой арматуры до центра тяжести поперечного сечения формы и проверяем опытным путем. Величина $\Delta l_ф$ должна указываться на рабочих чертежах формы. В нашем случае $\Delta l_ф = 1$ *мм*.

Определение технологических параметров при организации изготовления изделий

Технологические параметры $l_у$ и $\Delta l_ф$ соответствуют проекту (в противном случае производится нормализация упоров и принимаются новые фактические размеры).

Допустимое предельное отклонение расстояния между опорными плоскостями временных концевых анкеров арматурной заготовки $l_з$ согласно п. 3.20 равно $+2$; -0 *мм*.

Расчетное удлинение арматуры по формуле (12) равно

$$\Delta l_0 = \left[\frac{\kappa \sigma_0 + P}{E_а^{\text{н}}}\right] l_у = \frac{1{,}1 \cdot 5000 + 800}{1{,}9 \cdot 10^6} 6200 =$$

$$= 20{,}8 \ мм \approx 21 \ мм.$$

Длину арматурной заготовки $l_з$, равную расстоянию между опорными поверхностями временных концевых анкеров, определим по формуле (18)

$$l_з = l_у - \Delta l_с - \Delta l_ф - \Delta l_0,$$

где $\Delta l_с$ — величина смятия упоров. В случае высаженных головок

$$\Delta l_с = 2m\sigma_0 = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 60 = 3{,}6 \ мм \approx 4 \ мм,$$

тогда $l_з = 6200 - 21 - 1 - 4 = 6200 - 26 = 6174$ *мм*.

Длину стержня l_0 определяем по формуле (17)

$$l_0 = l_з + 2a,$$

где a в случае высаженных головок составляет $2{,}5d \pm 5$ *мм*

$$l_0 = 6174 + 80 = 6254 \text{ мм} \approx 6255 \text{ мм}.$$

Проверка температуры нагрева

Принимаем расстояние между контактами 6000 *мм*. Рекомендуемая температура нагрева для арматуры класса Ат-V 400°С (см. табл. 8).

По формуле (16) и табл. 11 определяем величину Δl_t:

$$\Delta l_t = (400 - 20)\,6000 \cdot 13{,}5 \cdot 10^{-6} = 30{,}8 \text{ мм}.$$

Величину полного удлинения арматуры определяем по формуле (13):

$$\Delta l_{\text{п}} = \Delta l_0 + \Delta l_{\text{с}} + \Delta l_{\text{ф}} + C_t,$$

где $C_t = 0{,}5\,l_3 \approx 3$ *мм*;

$$\Delta l_{\text{п}} = 21 + 1 + 4 + 3 = 29 \text{ мм}.$$

Следовательно, $\Delta l_t > \Delta l_{\text{п}}$

Пример 2. На рабочих чертежах предварительно напряженной фермы указано: длина изделия $l_{\text{и}} = 17\,950$ *мм*, напрягаемая арматура из стали класса А-V, марка 23Х2Г2Т; диаметр арматуры 22 *мм*; $\sigma_0 = 7000$ *кГ/см*^{2}.

Определение технологических параметров при проектировании форм

Наибольшее допустимое предварительное напряжение (см. п.6.4):

$$\sigma_0^{\text{в}} = \sigma_0 + P = 7000 + 517 = 7517 \text{ кГ/см}^2.$$

Расстояние между упорами $l_{\text{у}}$ примем исходя из размеров применяемых форм и конструктивных проработок (см. п. 4.12) равным:

$$l_{\text{у}} = l_{\text{и}} + 2\,l_{\text{уп}} = 17\,950 + 2 \cdot 500 = 18\,950 \text{ мм}.$$

Допустимое предельное отклонение расстояния между упорами форм согласно п. 4.14 равно —4; +0 *мм*.

Размер l указывается на чертежах формы.

Продольная деформация формы $\Delta l_{\text{ф}}$ определяется так же, как и в примере 1, и в данном случае может быть принята $\Delta l_{\text{ф}} = 5$ *мм*.

Определение технологических параметров при организации изготовления конструкций

Перед началом эксплуатации форм производят их проверку (см. пример 1).

Допустимое предельное отклонение расстояния между опорными поверхностями временных концевых анкеров арматурной заготовки согласно п. 3.20 равно +5; —0 *мм*.

Расчетное удлинение арматуры по формуле (12) равно:

$$\Delta l_0 = \left[\frac{\kappa\sigma_0 + P}{E_a^н}\right] l_у = \left[\frac{1{,}15 \cdot 7000 + 517}{1{,}9 \cdot 10^6}\right] 18\,950 =$$

$$= 85{,}44 \text{ мм}.$$

Расстояние между опорными поверхностями временных концевых анкеров по формуле (18) равно

$$l_з = l_у - \Delta l_0 - \Delta l_с - \Delta l_ф,$$

где $\Delta l_с$ в случае опрессованных шайб может быть принята по формуле (14):

$$\Delta l_с = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 70{,}0 = 2{,}8 \approx 3 \text{ мм};$$

$$l_з = 18\,950 - 85{,}44 - 5 - 3 = 18856{,}56 \text{ мм}.$$

Длина стержня вычисляется по формуле (17)

$$l_0 = l_з + 2a,$$

где a — длина конца стержня, используемая для образования временного концевого анкера. В случае опрессованных шайб $a = 30$ мм.

$$l_0 = 18856{,}56 + 2 \cdot 30 = 18\,916{,}56 \approx 18\,917 \text{ мм}.$$

Проверка температуры нагрева

Принимаем расстояние между контактами 18 м. По формуле (16) и табл. 11 определяем величину $\Delta l_t = (400-20) 18\,000 \cdot 13{,}8 \times \times 10^{-6} = 94{,}4$ мм.

Величину полного требуемого удлинения арматуры определяем по формуле (13)

$$\Delta l_п = \Delta l_0 + \Delta l_ф + \Delta l_с + C_t,$$

при этом C_t определяем в соответствии с рекомендациями п. 6.6

$$C_t = 0{,}5 \cdot 18 = 9 \text{ мм};$$

$$\Delta l_п = 85{,}44 + 5 + 3 + 9 = 102{,}44 \text{ мм},$$

т. е. $\Delta l_t < \Delta l_п$ и требуется увеличить температуру нагрева с 400 до 440°, тогда $\Delta l_t = (440-20) 18\,000 \cdot 14{,}1 \cdot 10^{-6} = 106{,}6$ мм.

Следовательно, $\Delta l_t > \Delta l_п$.

Б. Определение электрических параметров установок для нагрева арматуры

Пример 1. Требуется определить параметры преобразователей тока для нагрева трех стержней класса A-V диаметром 14 мм до температуры 400°С за 5 мин. Длина нагреваемого участка каждого стержня равна 6 м.

Трансформаторы сварочные

Техническая характеристика	Единица измерения	Тип трансформатора									
		СТЭ-24	СТЭ-34	СТАН-0	СТАН-1	СТН-350	СТН-500	СТН-700	ТСД-500	ТСД-1000	ТСД-2000
		Исполнение									
		двухкорпусное				однокорпусное					
Первичное напряжение	*в*	220 или 380	220 или 380	2220/110 380	220 или 380	220	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380
Вторичное напряжение при холостом ходе	»	65	60	63—83	60—70	70	60	60	80	69—78	72 и 84
Нормальный режим работы, ПВ или ПР	%	65	65	65	65	50	65	60	60	60	50
Номинальная мощность: полезная потребляемая	*ква* »	22,75 24	30 34	8,7 —	22 24	24,5 —	30 32	42 43,8	40 42	69 76	144 180
Номинальный первичный ток при первичном напряжении 220/380 *в*	*а*	110/63	155/90	—	110/63	114/—	145/84	198/114	185/108	345/220	820/475
Номинальный вторичный ток	*а*	350	500	140	350	350	500	700	500	1000	2000
Номинальное вторичное напряжение при нагрузке	*в*	30	30	30	30	30	30	35	40	42	—

Продолжение

Техническая характеристика	Единица измерения	Тип трансформатора									
		СТЭ-24	СТЭ-34	СТАН-0	СТАН-1	СТН-350	СТН-500	СТН-700	ТСД-500	ТСД-1000	ТСД-2000
		Исполнение									
		двухкорпусное				Однокорпусное					
Пределы регулирования сварочного тока	*а*	70—500	150—700	25—150	60—480	80—450	150—700	200—900	200—600	400—1200	880—2200
Коэффициент полезного действия (к.п.д).	—	0,83	0,85	0,83	0,63	—	0,85	0,85	0,87	0,9	—
Коэффициент мощности	—	0,52	0,52	0,51	0,52	—	0,54	0,66	0,55	0,62	—
Площадь сечения проводов: для подключения к первичной сети при напряжении 220/380 *в*	*мм²*	25/10	35/16	—	25/10	25/—	35/16	70/35	95/50	95/50	240/185
сварочной цепи	*мм²*	120 или 2×50	185 или 2×70	—	120 или 2×50	120 или 2×50	185 или 2×70	240 или 2×95	185 или 2×70	2×150	4×150
Вес:											
трансформатора	*кг*	140	200	80	185	220	270	380	450	534	—
дросселя	»	90	120	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Для сварочных трансформаторов СТЭ, СТАН, СТН значение ПР% указано при полном цикле работы продолжительностью 5 *мин*; для трансформаторов ТСД значение ПВ% указано при продолжительности цикла 10 *мин*.

Принимаем последовательную схему соединения стержней. По табл. 13 находим

$$Q_{\text{полн}} = 60 + 7{,}54 \cdot 5 = 60 + 37{,}7 = 97{,}7 \text{ ккал}.$$

По этой же таблице находим $R = 39{,}5 \cdot 10^{-4}$ и определяем величину тока по формуле

$$I = \sqrt{\frac{70 \cdot 97{,}7}{39{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot 5}} \approx 590 \text{ а}.$$

Напряжение источника тока определяем по формуле (22)

$$U = \frac{I \bar{Z} l_{\text{н}} m}{\kappa} = 590 \cdot 45{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 3 = 48{,}5 \text{ в}.$$

Мощность

$$P = \frac{590 \cdot 48{,}5}{1000} = 28{,}6 \text{ ква}.$$

В таблице настоящего приложения приведены необходимые данные о сварочных трансформаторах. Пользуясь этой таблицей, находим, что для нагрева указанного количества арматуры требуется один трансформатор СТН-700 ($I_{\text{ном}} = 700$ *а*) или два трансформатора СТЭ-24, соединенных параллельно ($I_{\text{ном}} = 700$ *а*).

Напряжение 48,5 *в* может быть получено при применении и тех и других сварочных трансформаторов.

Мощность P в обоих случаях (42 и 45,5 *ква*) больше расчетной.

Трансформаторы СТЭ-24 используются без дросселей.

Пример 2. Требуется определить параметры преобразователей тока для нагрева двух стержней диаметром 22 *мм* из стали класса А-V, длиной нагреваемого участка каждого стержня 18 *м* до температуры 440°С за 5 *мин*.

Возможны два варианта.

Первый вариант — нагрев каждого стержня от отдельного преобразователя тока.

Тогда $Q_{\text{полн}} = 167{,}2 + 14{,}11 \cdot 5 = 167{,}2 + 70{,}55 = 237{,}75$ *ккал*. Значения R, $Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{н}}$ находим по линейной интерполяции из табл. 13.

$$I = \sqrt{\frac{70 \cdot 237{,}75}{\bar{R}\tau}} = \sqrt{\frac{70 \cdot 237{,}75}{26{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5}} = 1130 \text{ а};$$

$$U = \frac{I \bar{Z} l_{\text{н}}}{\kappa} = 1130 \cdot 31 \cdot 10^{-4} \cdot 18 = 63 \text{ в};$$

$$P = \frac{1130 \cdot 63}{1000} = 71{,}19 \text{ ква}.$$

Для электронагрева в этом случае требуются три трансформатора СТЭ-34, соединенных параллельно ($I_{\text{ном}} = 1500$ *а*; $U = 60$ *з* и $P = 90$ *ква*).

Второй вариант — нагрев одновременно обоих стержней, соединенных параллельно. Для этого случая

$$I = \sqrt{\frac{70 \cdot 237{,}75 \cdot 2}{26{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot 5}} = 1530\ a;$$

$$U = \frac{I\,\bar{Z}\,l_{н}\,m}{\kappa} = \frac{1530 \cdot 31 \cdot 10^{-4} \cdot 18}{2} = 42{,}7\ в.$$

$$P = \frac{1530 \cdot 42{,}7}{1000} = 65{,}5\ ква.$$

Для нагрева может быть использован один трансформатор ТСД-2000

($I = 2000\,a$; $U = 72\,в$ и $P = 144$ *ква*).