

# Сушка электрических машин

Решение о необходимости сушки принимают, если сопротивление изоляции машины меньше допустимого значения, определяемого по формуле:

$$R_{из} \geq \frac{k_{п} U_{н}}{1000 + 0,01 S_{н}},$$

$S_{н}$  – номинальная мощность, кВА (кВт),  $U_{н}$  – номинальное напряжение,  
 $k_{п}$  – поправочный коэффициент:

Температура изоляции обмоток, °С	75	70	60	50	40	30	20	10
$k_{п}$	1,0	1,2	1,7	2,4	3,4	4,7	6,7	9,4

В соответствии с ПЭЭП для низковольтных машин переменного тока ( $U < 1000V$ ) сопротивление изоляции не должно быть ниже 1 МОм, для МПТ – 500 кОм.

При измерении температура не должна быть ниже 10 °С

# Контроль состояния изоляции электрических машин

В машинах малой мощности при измерении сопротивления поляризация диэлектрика происходит быстро. В мощных машинах этот процесс долгий и занимает несколько минут. Поэтому вводится коэффициент абсорбции – соотношение сопротивлений, измеренного через 15 и 60 секунд

$$k_{аб} = R_{60} / R_{15}$$

Чем больше коэффициент абсорбции тем выше качество изоляции. Для хорошей изоляции при температурах 10...30 °С коэффициент должен быть выше 1,3

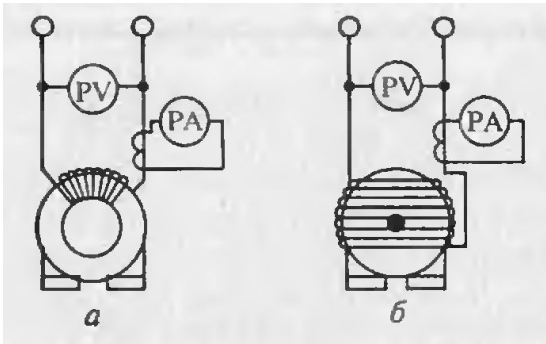
Обмотки роторов крупных **МОЖНО НЕ СУШИТЬ**, если сопротивление изоляции **НЕ НИЖЕ 500 КОМ** для генераторов и синхронных компенсаторов,  
200 КОМ для двигателей

# Методы сушки

Важно: обеспечить плавное нарастание температуры  $5-7^{\circ}\text{C}$  в час.

Иначе возникают термомеханические напряжения, разрушающие изоляцию

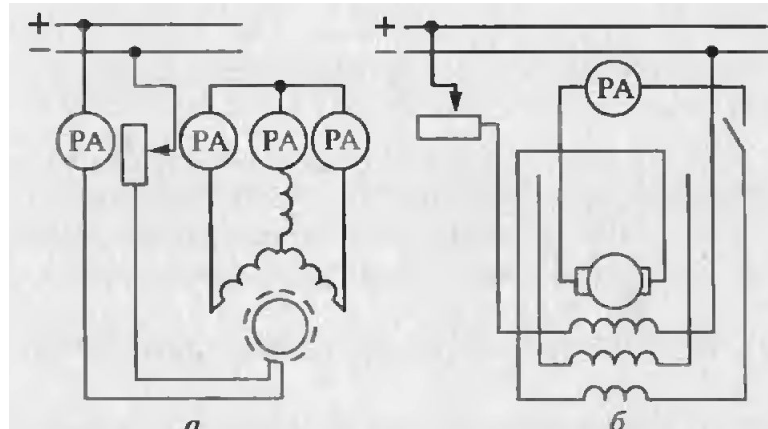
**Индукционный**. Вокруг сердечника наматывается обмотка. Возникающие токи разогревают сердечник и обмотку.



*a* — кольцевая обмотка вокруг статора;  
*б* — кольцевая обмотка вокруг корпуса

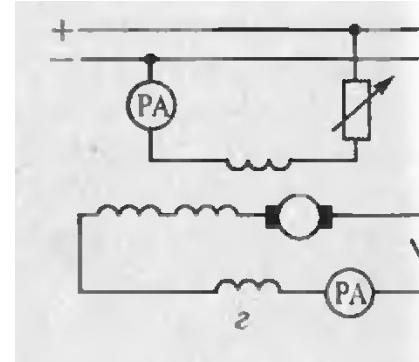
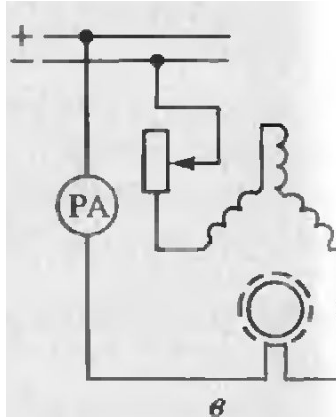
**Токовый**. По обмоткам пропускают ток от внешнего источника.

Величина тока 40-60% номинального значения.



# Методы сушки

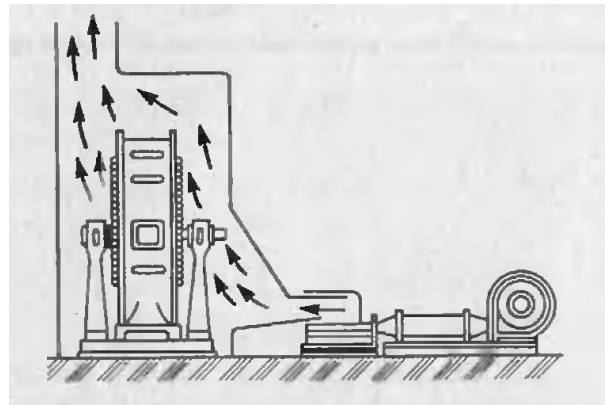
**Токовый способ.** Для генераторов: можно сушить токами КЗ.



Ротор вращают при этом с номинальной частотой от внешнего двигателя.

**Внешний нагрев.**

Горячий сухой воздух направляют на ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ



У электрических машин защищенного исполнения следует снимать жалюзи.

## Контроль параметров изоляции при сушке

Основные контролируемые параметры сопротивление и температура изоляции

Для класса В 90 – 95 °С для класса F 120 °С

Измерение сопротивления - каждые два часа.

Если коэффициент абсорбции и сопротивление изоляции остаются неизменными в течение нескольких часов, сушку считают законченной.

В электрических машинах мощностью до 400 кВт коэффициент абсорбции не контролируют.

# Общие сведения о контроле состояния изоляции масляных трансформаторов

Для включения трансформатора без сушки требуется оценить степень увлажнения изоляции, которая определяется следующими характеристиками главной изоляции трансформаторов, залитых маслом:

1. измерением 15-секундного и одноминутного сопротивления изоляции (R15 и R60) и нахождением коэффициента абсорбции;
2. измерением тангенса угла диэлектрических потерь обмоток;
3. измерением емкости и нахождением соотношения C2/C50 (метод «емкость — частота»);
4. нахождением отношений  $\Delta C/C_T$  и приращений этих значений в конце и начале осмотра, если при монтаже производился осмотр активной части трансформатора вне масла (метод «емкость — время»);
5. измерением емкости в нагретом и холодном состояниях и определением отношения  $C_{гор}/C_{хол}$ , если по условиям монтажа необходим подогрев трансформатора в масле (метод «емкость — температура»).

# Контроль параметров изоляции трансформаторов

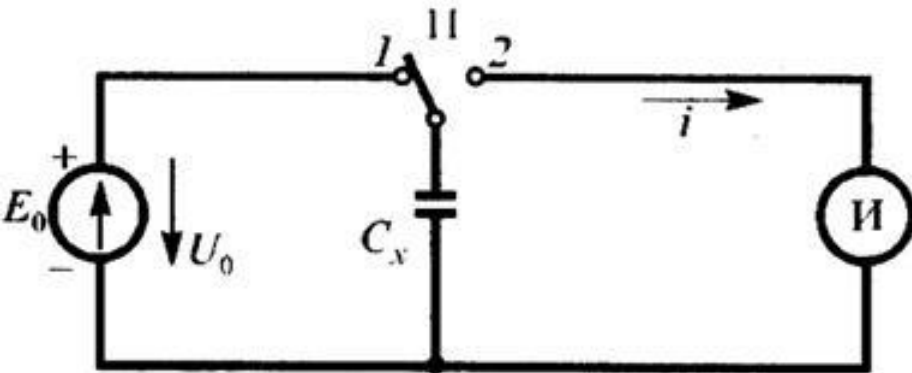
Метод «емкость–частота» основывается на изменении емкости при различных частотах.

При методе «емкость–частота» емкость изоляции измеряют на частотах 2 и 50 Гц и определяют отношение, которое служит показателем качества изоляции. Измерения на реальных трансформаторах показали, что при значении, меньшем 1,05, систему изоляции можно считать неувлажненной. Чем больше увлажнение изоляции, тем больше становится и отношение .

В действующей инструкции по эксплуатации трансформаторов включение трансформаторов без сушки после капитального ремонта допускается при следующих значениях отношения емкостей , измеренных на частотах 2 и 50 Гц

**Допустимые значения отношения емкостей  $C_2/C_{50}$   
для возможности включения трансформаторов без сушки  
после капитального ремонта**

Температура при измерении, °С	10	20	30	40	50	60	70
Трансформаторы до 35 кВ	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Трансформаторы 110–150 кВ	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

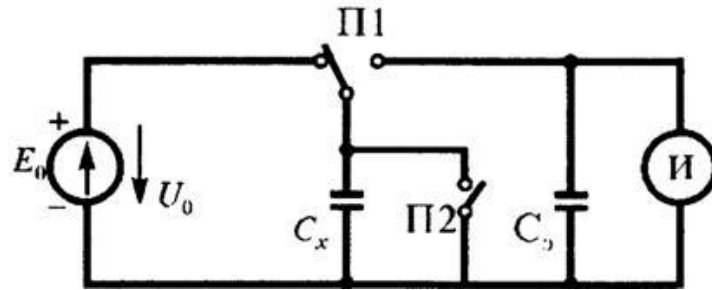


Для измерения емкостей используют прибор, получивший название прибора контроля влажности (ПКВ)

# Контроль параметров изоляции трансформаторов

Метод «емкость–время» основывается на изменении геометрической емкости  $C_{\Gamma}$  и приращении емкости  $\Delta C$ , образующегося за счет накопления заряда абсорбции в неоднородной изоляции. Критерий неувлажненности изоляции выражается так:

$$\Delta C / C_{\Gamma} < 0.1$$



Принципиальная схема прибора

Для измерения емкости  $\Delta C$  испытываемая изоляция повторно заряжается. После этого она отключается от источника напряжения и на короткое время (5–10 мс) замыкается ключом П2 накоротко, чтобы разрядить только  $C_{\Gamma}$ . Затем переключателем П1 емкость  $C_x$  на время  $t$  с соединяется с эталонным конденсатором  $C_{\varepsilon}$ . После отключения переключателя П1 заряд на эталонном конденсаторе  $C_{\varepsilon}$ , а следовательно, и напряжение на нем получается пропорциональным  $\Delta C$ .



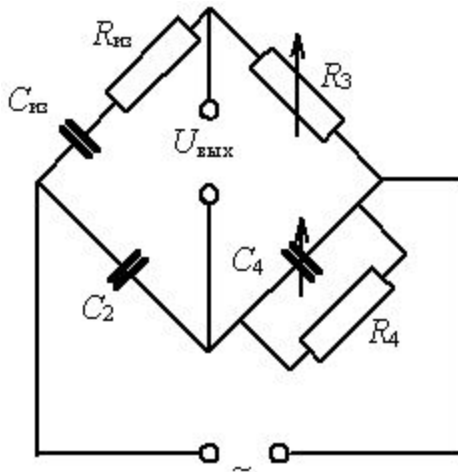
# Контроль параметров изоляции трансформаторов

Метод «емкость–температура» основывается на изменении емкости при увеличении температуры. Опытным путем установлено, что если при повышении температуры на 50 °С емкость увеличивается не более чем на 30 %, то изоляцию можно считать нормальной, в противном случае – увлажненной. Критерий неувлажненности изоляции выражается так:

$$\frac{C_{\text{гор}}}{C_{\text{хол}}} \leq 1,3$$

где  $C_{\text{гор}}$  – емкость изоляции при температуре 70 °С;  $C_{\text{хол}}$  – емкость изоляции при температуре 20 °С. Емкость в этом методе измеряют мостом Шеринга.

Измерение тангенса диэлектрических потерь.



$$C = C_2 \cdot R_4 / R_3 \quad \text{tg} \delta = \omega \cdot C_4 \cdot R_4.$$

условие балансировки моста - равенство нулю  $U_{\text{вых}}$  достигается путем подстройки сопротивления  $R_3$  и емкости  $C_4$  при заданной угловой частоте питающего напряжения

# Контроль параметров изоляции трансформаторов

**Наибольшее допустимое значение  $tg\delta$   
для обмоток трансформаторов, %**

Трансформаторы	Температура обмотки, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
35 кВ мощностью более 10 000 кВА и 110 кВ всех мощностей	1,8	2,5	3,5	5,0	7,0	10,0	14,0
220 кВ всех мощностей	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

Приведенные значения относятся ко всем обмоткам трансформатора. Также контролируют тангенс для вводов и трансформаторного масла

Следует отметить, что величина  $tg\delta$ , измеренная на промышленной частоте, зависит не только от свойств изоляции, но и от свойств масла, залитого в трансформатор, и соотношения объемов масла и твердой изоляции. Это делает этот критерий оценки состояния приближенным и приводит к тому, что во многих случаях диагноз приходится ставить на основании сравнения результатов измерений с предыдущими данными. Так, в российских энергосистемах в соответствии с рекомендациями «Объема и норм испытания электрооборудования» браковочным критерием для трансформаторов напряжением 110 кВ и выше является превышение его значения на 50 % по сравнению с заводскими данными. Однако, если при температуре 20 °С не превышает 1 %, его сравнение с исходными данными не требуется.

В США для силовых трансформаторов удовлетворительным считается  $tg\delta$  до 1 %, если  $tg\delta = 1-2$  %, то состояние изоляции вызывает сомнения. Если  $> 2$  %, то состояние изоляции плохое. Во всех случаях значения  $tg\delta$  приведены к температуре 20 °С.

# Сушка трансформаторов

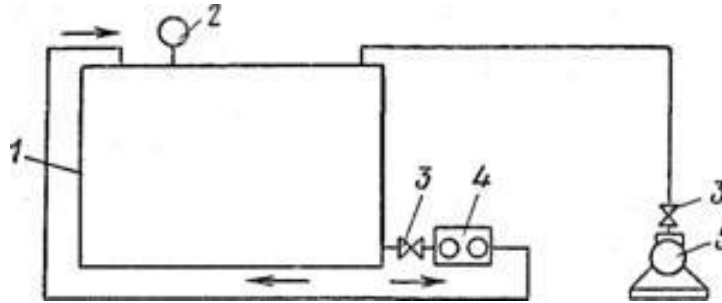
Сушка необходима, если

1. Имеются признаки увлажнения масла или нарушения герметичности трансформатора
2. При хранении трансформатора без масла или его доливки более года
3. Нахождении активной части трансформатора в разгерметизированном состоянии больше допустимого времени
4. При незначительном ухудшении состояния изоляции, обнаруженном в результате испытаний

**Допустимые значения изоляционных характеристик трансформаторов**

Температура обмотки, °С	$R_{60}$ , МОм, не менее	$\operatorname{tg} \delta$ , % не более	$C_2/C_{50}$ , не более
10	450	1,8	1,2
20	300	2,5	1,3
30	200	3,5	1,4
40	130	5,0	1,5
50	90	7,0	1,6
60	60	10,0	1,7
70	40	14,0	1,8

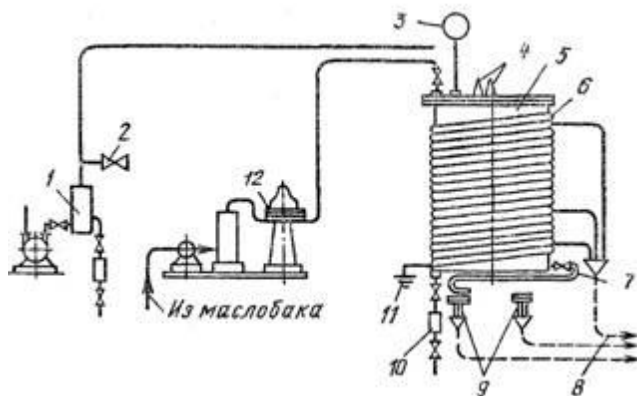
# Сушка трансформаторов



## Схема подсушки трансформатора:

1 – бак трансформатора, 2 – вакуумметр, 3 – кран, 4 и 5 – масляный и вакуумный насосы.  
Стрелками обозначено движение масла

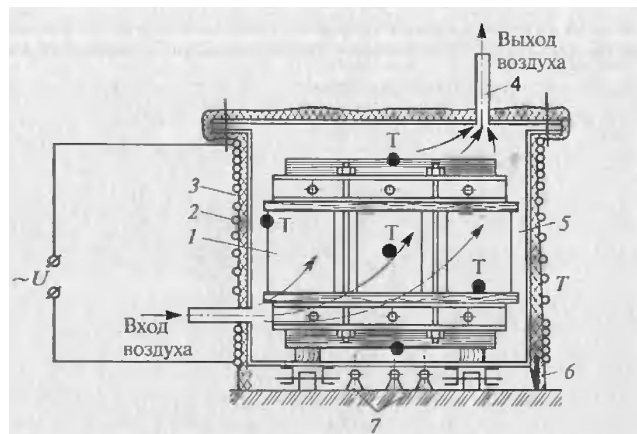
Режим контрольной подсушки рекомендован следующий: через каждые 12 ч подсушки в течение 4 ч производить циркуляцию масла насосом через трансформатор; длительность подсушки не должна превышать 48 ч (не считая времени нагрева). Когда характеристики изоляции достигнут нормы, подсушку прекращают, но не раньше, чем через 24 ч после достижения температуры 80 °С. Нагрев обмоток осуществляется токами короткого замыкания трансформатора или токами нулевой последовательности



## Схема сушки трансформатора способом индукционных потерь:

1 – вакуумная установка, 2 – кран для регулирования вакуума, 3 – вакуумметр, 4 – временные вводы для измерения, 5 – трансформатор, 6 – намагничивающая обмотка, 7 – труба для продувки горячим воздухом, 8 – питающие кабели, 9 – электрические печи, 10 – отстойник для слива масла, 11 – заземление бака, 12 – сепаратор (центрифуга)

# Сушка трансформаторов способом индукционных потерь



**1** — активная часть трансформатора; **2** — намагничивающая обмотка из изолированного провода; **3** — асбест для утепления бака; **4** — вытяжная труба; **5** — бак; **6** — заземление бака; **7** — дополнительные электроды

Сушку трансформатора начинают с разогрева трансформатора. Продолжительность разогрева кожуха колеблется от 12 до 15 ч для трансформаторов средней мощности. Предельная температура обмоток 100–105, а кожуха 110–120 °С. Сушку производят под вакуумом. Первым показателем окончания сушки является установившееся в течение 6 ч сопротивление обмоток при постоянном вакууме и температуре обмоток. Вторым показателем — исчезновение или незначительное выделение конденсата. После окончания сушки и снижения температуры обмоток трансформатора до 75–80 °С его бак заполняют высушенным под вакуумом маслом через нижний кран. Трансформаторы на напряжение до 35 кВ включительно разрешается заливать маслом (без вакуума) при его температуре не ниже 10 °С. В процессе сушки и заливки трансформатора маслом температуру нагрева бака и активной части регулируют периодическим включением и отключением питания намагничивающей обмотки.

# Монтаж электрических машин

Карта проверок перед началом монтажа:

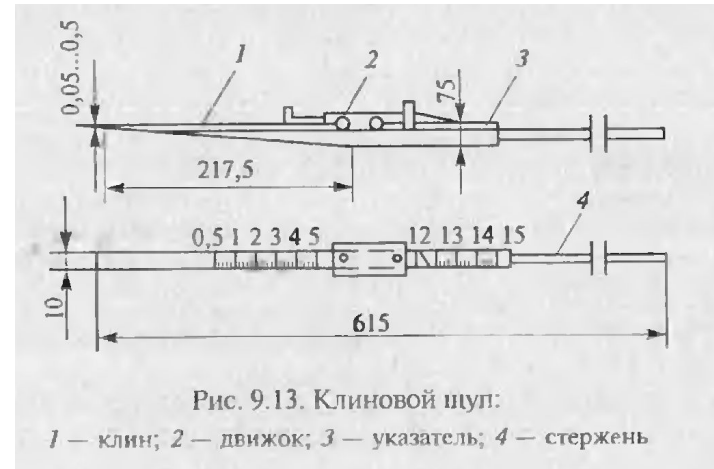
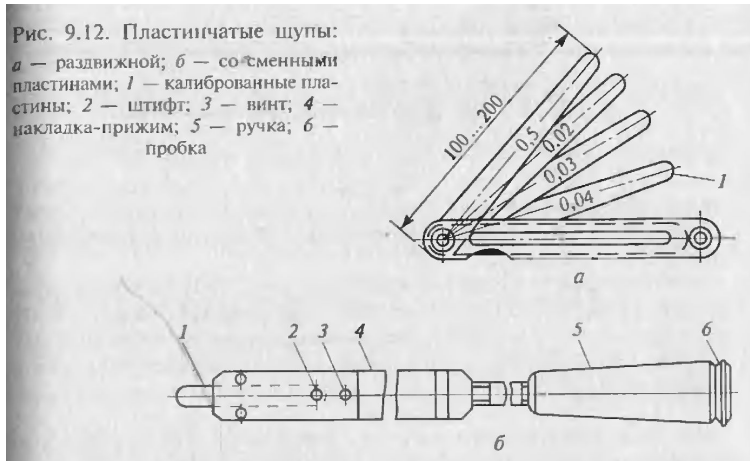
1. Соответствие машины ее проектной документации
2. Комплектность машины и сохранность крепежных деталей
3. Наличие возможных повреждений за время транспортировки и хранения (предварительный осмотр после консервации)
4. Оценка состояния подшипников, коробки выводов, коллекторов, контактных колец, щеточного механизма
5. Измерение сопротивления изоляции обмоток, подшипников, щеточных траверс
6. Измерение зазоров в подшипниках скольжения и уплотнении валов
7. Измерение воздушного зазора между статором и ротором
8. Проверка свободного вращения ротора

Выявленные неисправности необходимо **УСТРАНИТЬ ДО НАЧАЛА МОНТАЖА**

Если нет уверенности в том, что во время хранения и транспортировки машины она осталась неповрежденной, машину разбирают и проводят ревизию ее узлов.

При необходимости заменяют смазку в подшипниках и затягивают болтовые соединения

## Щупы для проверки зазоров



Проверка воздушного зазора возможна лишь для машин закрытого и защищенного исполнения, т.к. он проводится БЕЗ разборки. Ротор должен свободно вращаться от руки ( $P < 15$  кВт) или с помощью рычага.

ПЕРЕД началом МОНТАЖА следует приготовить комплект прокладок, перекрывающий поле допусков.

Если машина поставляется в собранном виде, следует по чертежам приготовить крепежные детали и конструкции.

# Монтаж машин малой и средней мощности

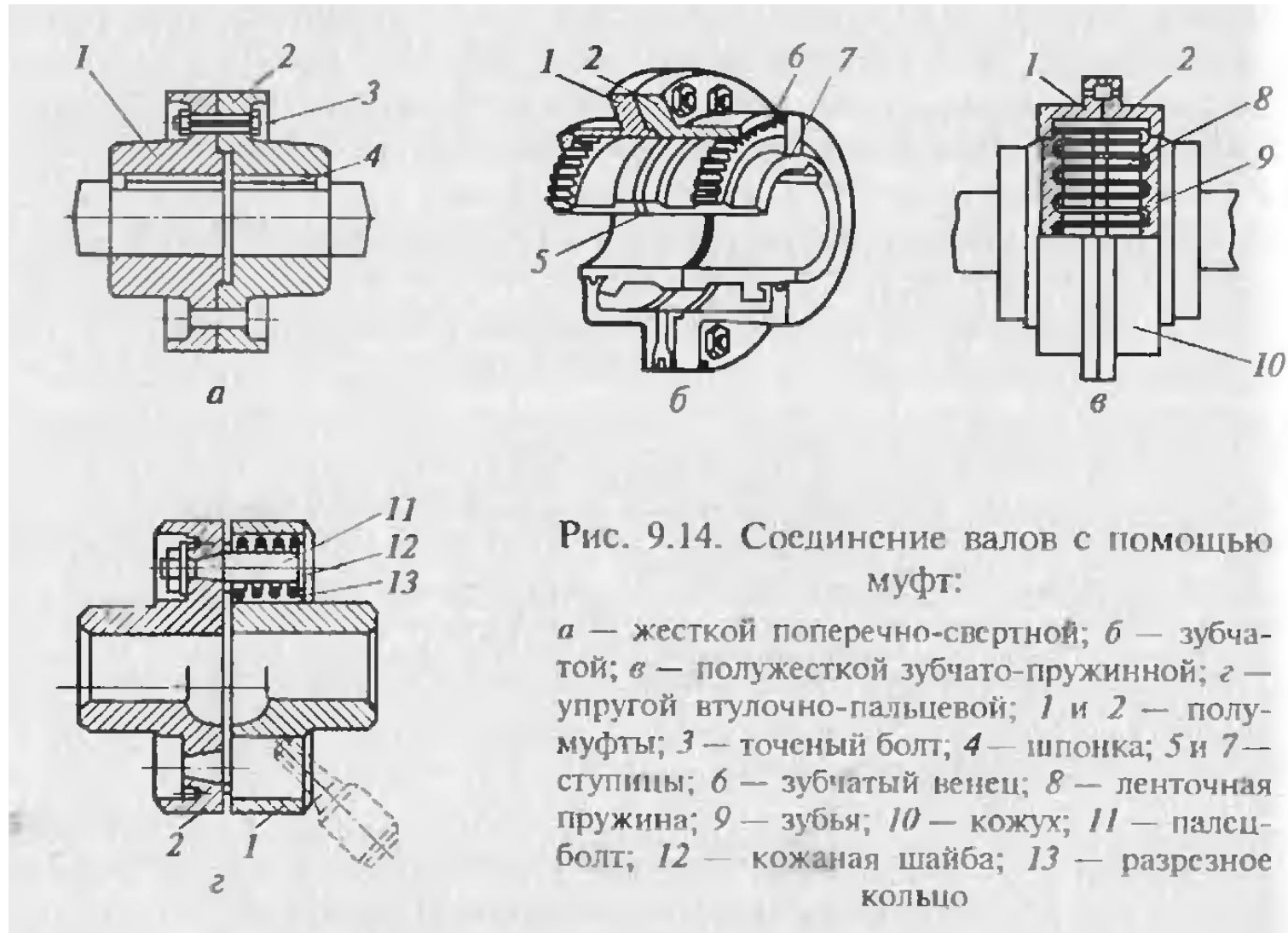


Рис. 9.14. Соединение валов с помощью муфт:

*а* — жесткой поперечно-свертной; *б* — зубчатой; *в* — полужесткой зубчато-пружинной; *г* — упругой втулочно-пальцевой; 1 и 2 — полу-муфты; 3 — точеный болт; 4 — шпонка; 5 и 7 — ступицы; 6 — зубчатый венец; 8 — ленточная пружина; 9 — зубья; 10 — кожух; 11 — палец-болт; 12 — кожаная шайба; 13 — разрезное кольцо



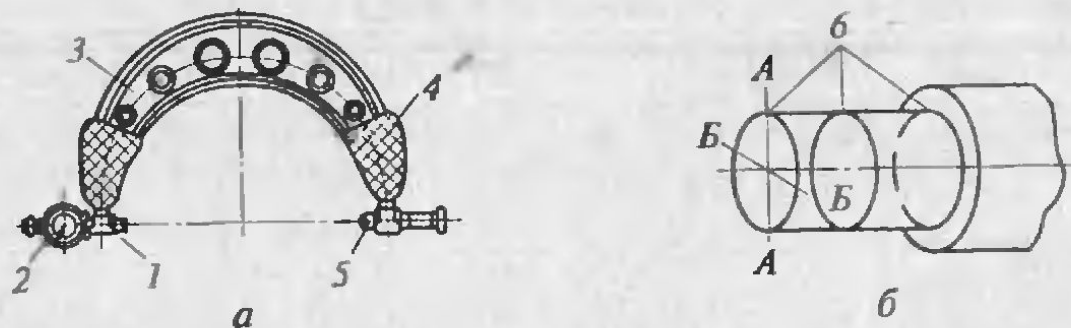


Рис. 9.15. Скоба с отсчетным устройством (а) и определение посадочных размеров конца вала (б):

1 и 5 — подвижная и переставная пятки; 2 — отсчетное устройство; 3 — корпус;  
4 — теплоизоляционная накладка; 6 — места измерений

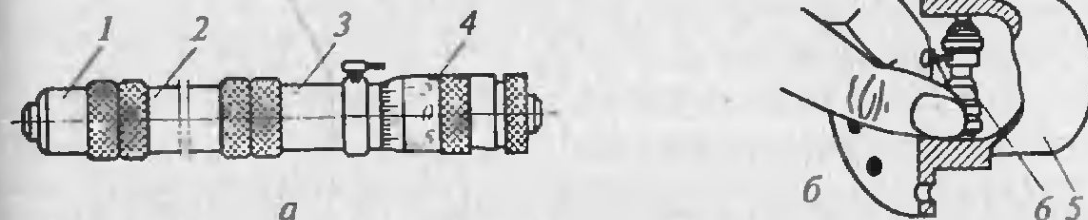


Рис. 9.16. Микрометрический нутромер (а) и определение им внутреннего диаметра полумуфты (б):

1 — измерительный наконечник; 2 — удлинитель; 3 — трубка; 4 — микрометрическая головка; 5 — полумуфта; 6 — нутромер

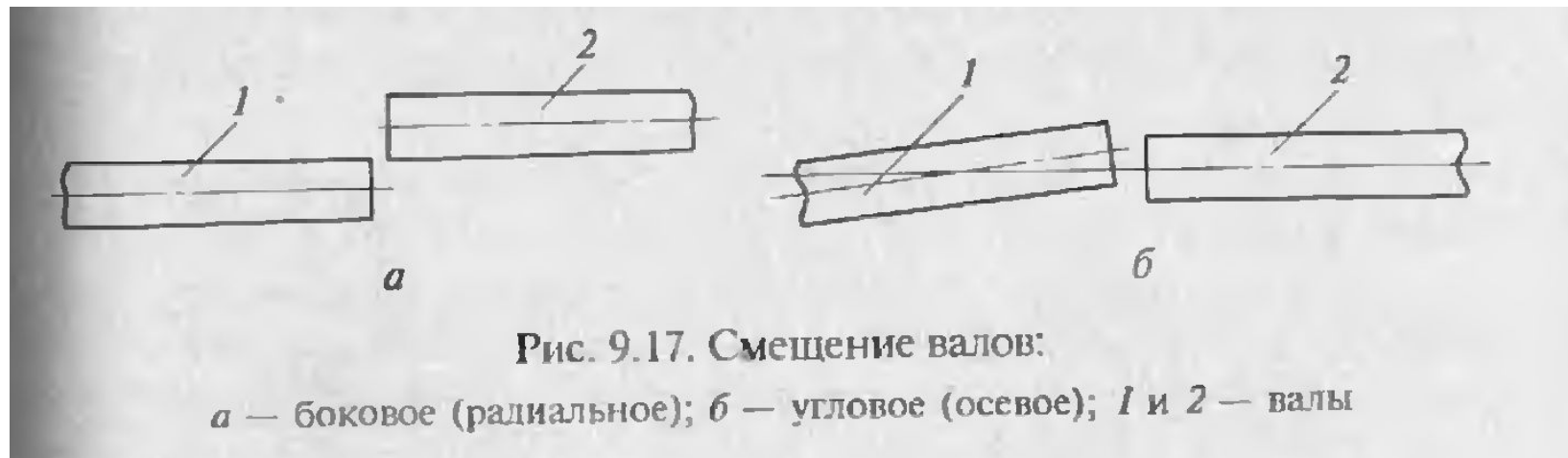


Рис. 9.17. Смещение валов:  
*a* — боковое (радиальное); *б* — угловое (осевое); *1* и *2* — валы

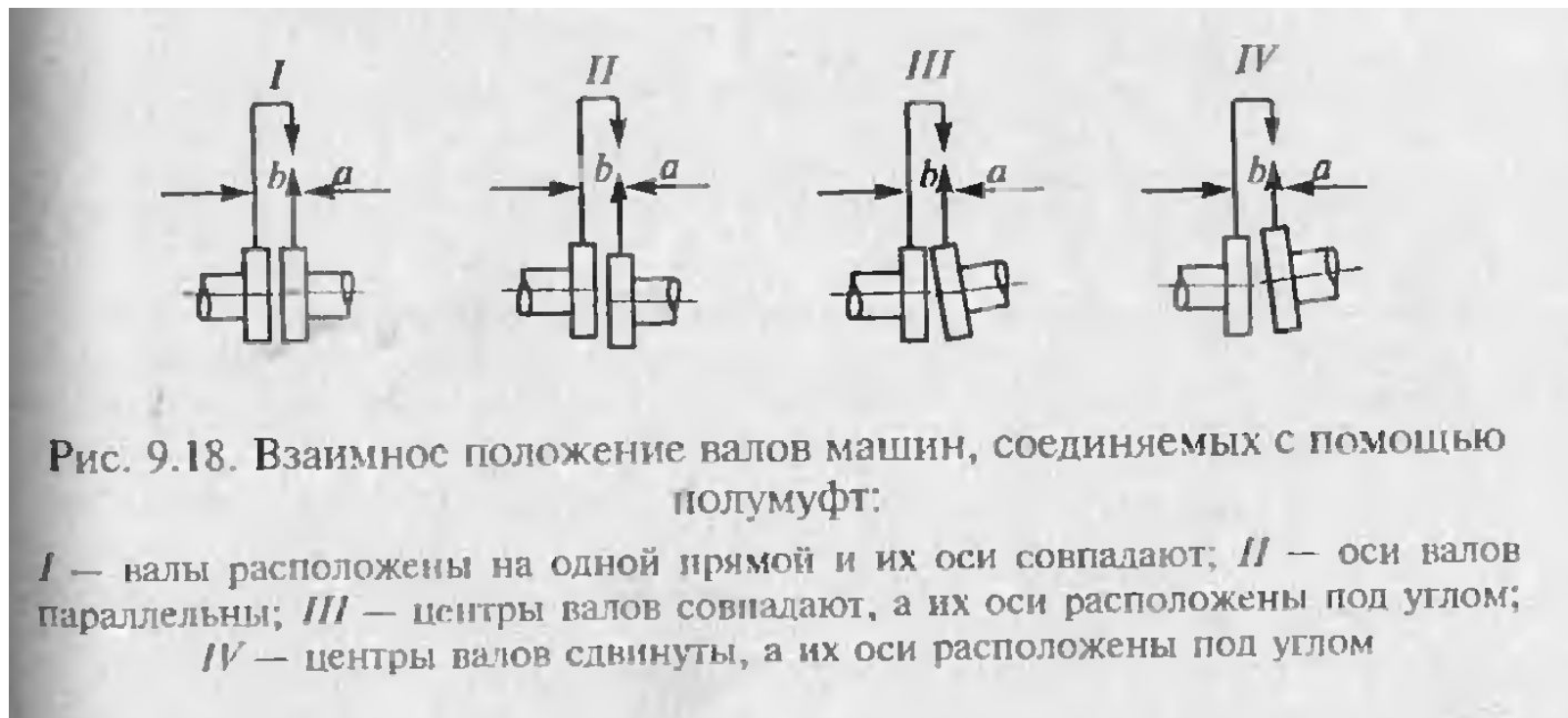


Рис. 9.18. Взаимное положение валов машин, соединяемых с помощью полумуфт:

*I* — валы расположены на одной прямой и их оси совпадают; *II* — оси валов параллельны; *III* — центры валов совпадают, а их оси расположены под углом; *IV* — центры валов сдвинуты, а их оси расположены под углом

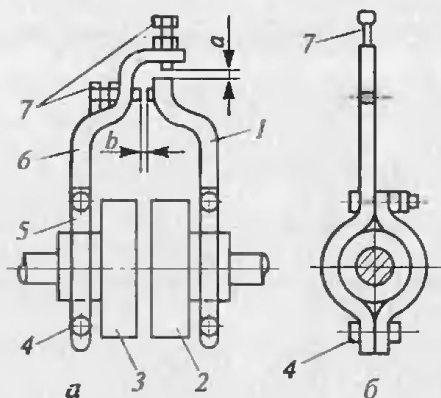


Рис. 9.19. Центровка валов с помощью радиально-осевых скоб:

1 и 6 — внутренняя и наружная скобы; 2 и 3 — полумуфты; 4 и 7 — болты; 5 — хомут

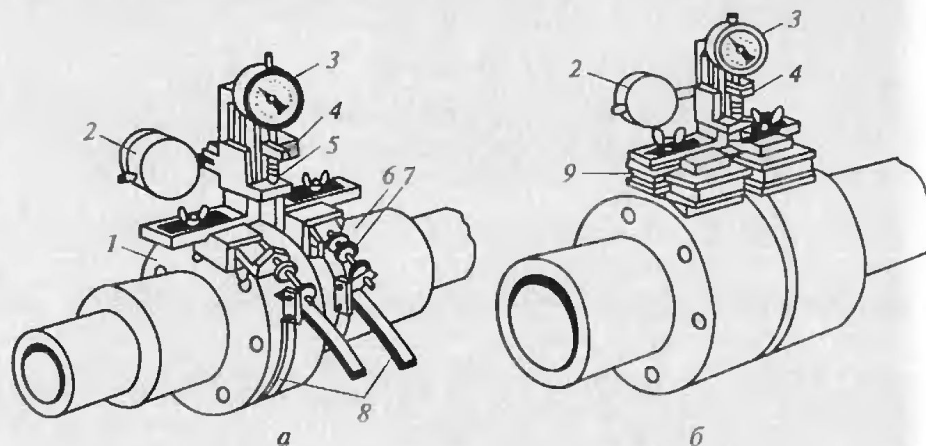
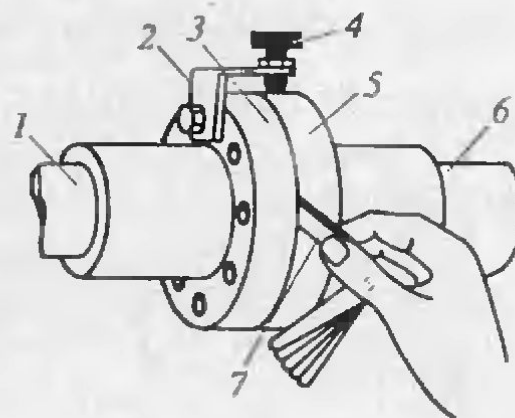


Рис. 9.20. Приспособления для центровки валов:

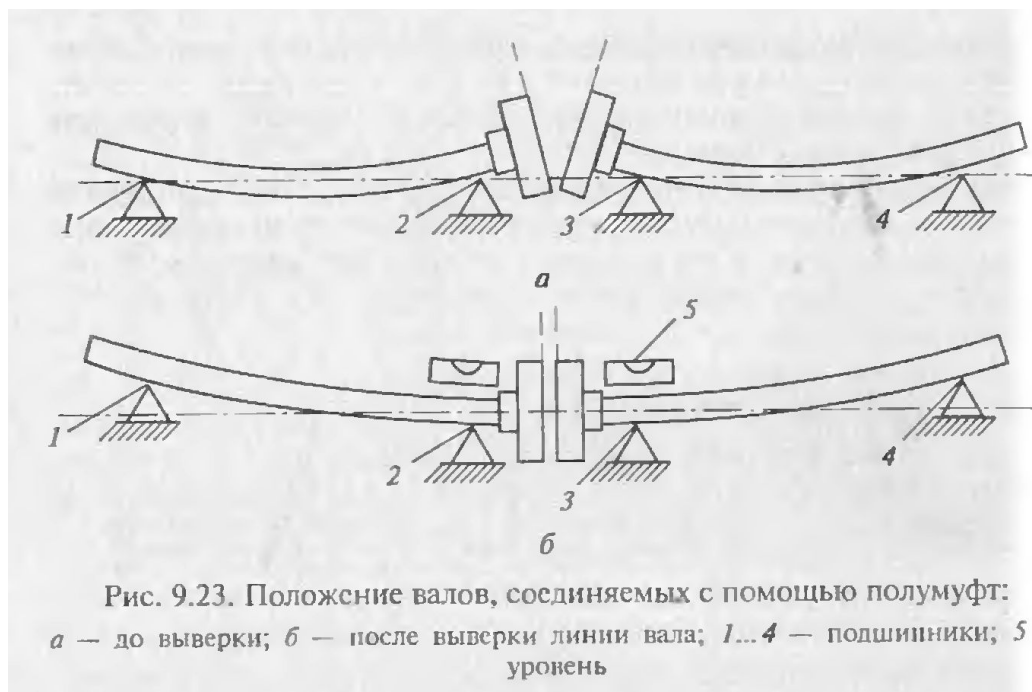
а — с ленточным прижимом; б — с электромагнитным прижимом; 1 и 6 — полумуфты; 2 и 3 — индикаторы; 4 — держатель; 5 — измерительный стержень; 7 — натяжное устройство; 8 — стальная лента; 9 — электромагнит

Рис. 9.21. Центровка валов способом «обхода одной точкой»:

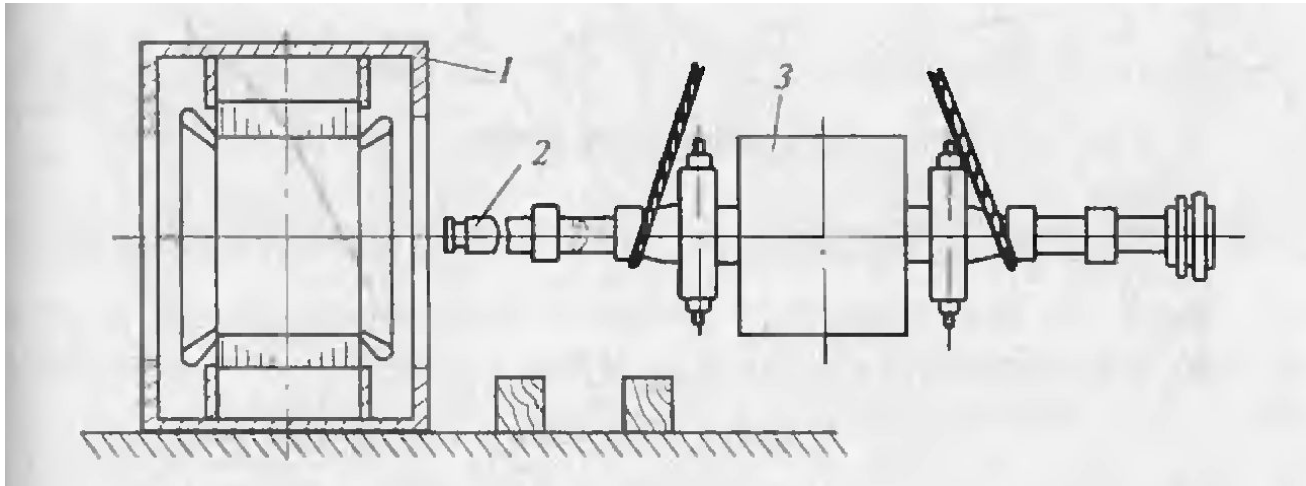
1 и 6 — валы; 2 — скоба; 3 и 5 — полумуфты; 4 — измерительный болт; 7 — щуп



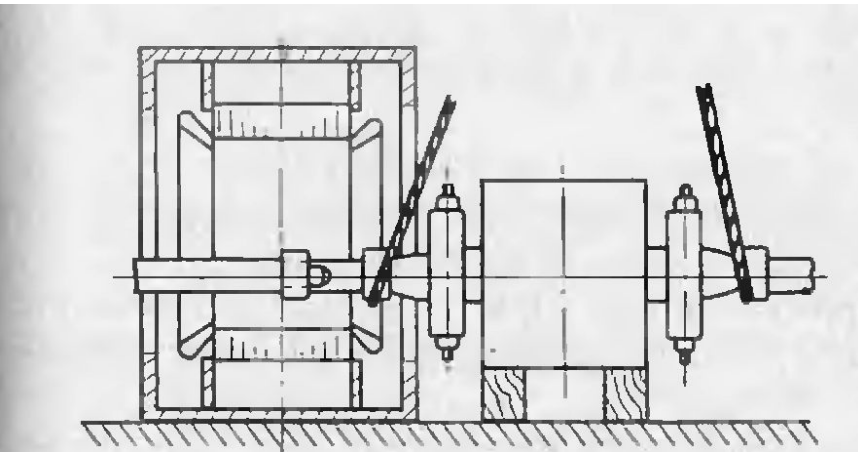
# Монтаж линии валов



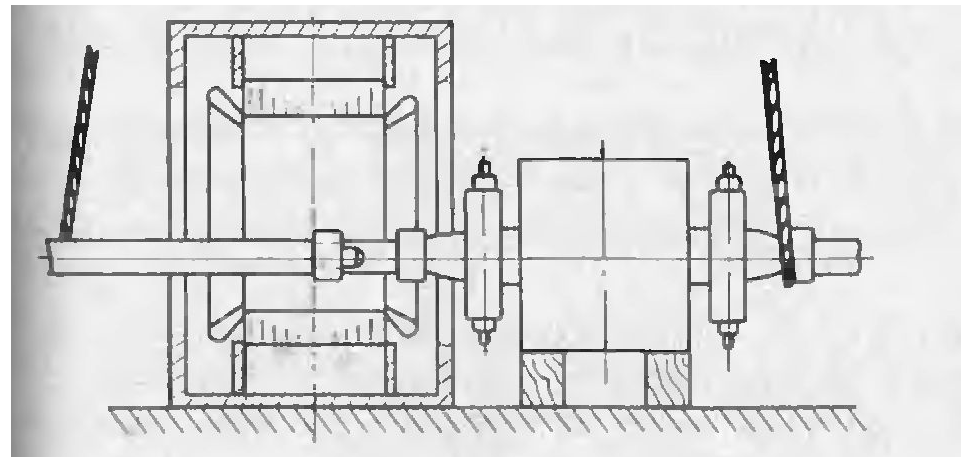
# Ввод ротора в статор



начало ввода



Установка на шпалы



Закрепление стропа на удлинителе

## Ввод ротора в статор при отсутствии грузоподъемных механизмов

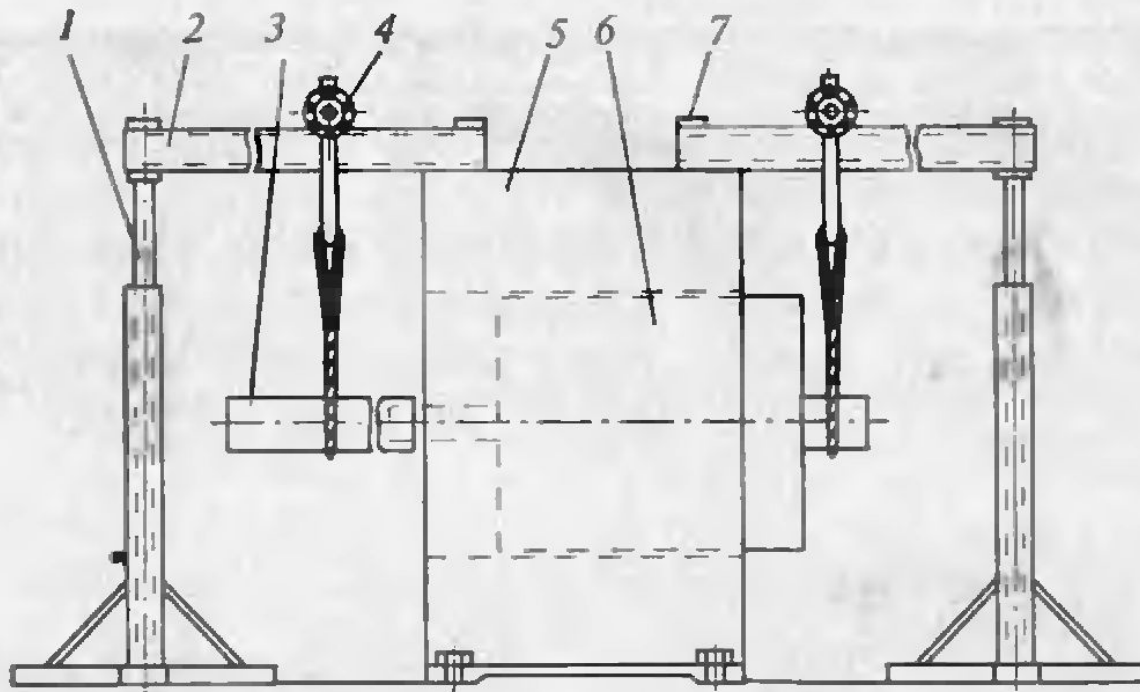


Рис. 9.25. Схема ввода ротора в статор при отсутствии грузоподъемных механизмов:

1 — стойка; 2 — балка; 3 — удлинитель; 4 — грузовой ролик; 5 — статор; 6 — ротор; 7 — накладка