

Таблица 1.2

Зависимость разрывной длины дуги  $l_{max}$  от типа электродного покрытия и сварочного тока

Тип покрытия	№ опыта	Разрывная длина дуги, мм		
		$I_{1кз.} = 200, А$	$I_{2кз.} = 240, А$	$I_{3кз.} = 280, А$
1	2	3	4	5
Без покрытия	1			
	2			
	3			
1	2	3	4	5
С ионизирующим покрытием	1			
	2			
	3			
С качественным покрытием	1			
	2			
	3			

6. Далее опыты провести для обратной полярности тока, а затем ещё при двух значениях сварочного тока испытать электроды с тонким покрытием, затем – с толстым.

7. Построить график зависимости среднего значения длины дуги от силы сварочного тока для трех типов электродов.

Анализируя данные опытов, сделать выводы о влиянии на стабильность горения дуги силы тока и типа электродного покрытия.

#### 4. Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Описание строения сварочной дуги постоянного и переменного тока.
3. Схема опыта, применяемого при изучении стабильности горения дуги, и табл. 1.2. с результатами опытов.
4. Результаты опытов в виде таблицы и графиков.
5. Выводы по работе с объяснением влияния покрытия электрода и его состава, а также величины и полярности сварочного тока на стабильность горения дуги.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение сварочной дуге.
2. В чем заключается зажигание сварочной дуги?
3. Объясните, как происходит ионизация межэлектродного пространства?
4. Опишите строение сварочной дуги.
5. Как распределяется падение напряжения в дуговом промежутке?
6. Что вызывает падение напряжения в катодных и анодных областях дуги?
7. Какие зависимости падения напряжения в межэлектродном промежутке Вы знаете? Объясните эти зависимости.
8. Какие физические процессы протекают при горении сварочной дуги постоянного тока?
9. Рассчитайте значение падения напряжения на дуге при её длине 4 мм.
10. Дайте определение статической ВАХ сварочной дуги. Объясните причины возникновения трёх участков ВАХ сварочной дуги.
11. Напишите формулу падения напряжения столба дуги и на её основе объясните характер изменения ВАХ дуги.
12. В чем заключаются особенности горения сварочной дуги переменного тока?
13. Какие способы повышения стабильности сварочной дуги переменного тока Вы знаете и, какие из них используются при ручной дуговой сварке?
14. Почему электроды с качественным покрытием обеспечивают большую стабильность горения дуги?
15. Почему стабильность горения дуги возрастает с увеличением сварочного тока?
16. Для чего предназначено тонкое покрытие электродов?
17. Какие функции выполняет качественное покрытие электродов?
18. Какие компоненты входят в состав тонких и качественных покрытий?



## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

### 1. Цель работы

1.1. Изучить устройство и принцип действия сварочных трансформаторов и выпрямителей.

1.2. Освоить способы получения внешней вольтамперной характеристики и регулирования сварочного тока современных источников питания для ручной дуговой сварки.

1.3. Снять внешнюю характеристику сварочного трансформатора с повышенным магнитным рассеянием.

### 2. Теоретическая часть

Несмотря на широкое использование механизированных способов сварки, ручная электродуговая сварка (РДС) электродами с качественным покрытием остаётся наиболее распространённым видом сварки. Сварка является незаменимым процессом при любом производстве, будь-то прокладка трубопровода, возведение промышленных цехов, торговых центров или просто жилых зданий. Для РДС необходимы источники питания сварочной дуги. В промышленности наиболее широко применяются следующие источники питания сварочной дуги: 1) переменного тока – сварочные трансформаторы; 2) постоянного тока – сварочные выпрямители; 3) высокочастотные источники – инверторы.

#### 2.1. Современные сварочные трансформаторы<sup>3</sup>

Несмотря на то, что дуга переменного тока менее устойчива, чем дуга постоянного тока, сварочные трансформаторы находят широкое применение. Это объясняется тем, что они более просты в

<sup>3</sup> Приоритет в области исследования и разработки источников питания сварочной дуги принадлежит российским учёным. Профессор Василий Петрович Никитин впервые в конце тридцатых годов XX –го века сформулировал принципы регулирования тока в сварочных трансформаторах, которые были воплощены в различных конструкциях источников питания.

изготовлении и менее прихотливы при обслуживании, чем другие источники.

Трансформаторы экономичны: их КПД достигает 85 %, имеют меньшую стоимость. Сегодня на предприятиях встречаются сварочные трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием с подвижной обмоткой серии ТС, ТСК, ТД, ТДМ. Среди них более удачное схемное и конструктивное решение воплощено в трансформаторах нового поколения с подвижными обмотками серии ТДМ [3].

Особенностью конструкции трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием является то, что первичная и вторичная обмотки расположены на общем магнитопроводе на некотором удалении друг от друга. Причем одна из обмоток является подвижной.

Принцип действия трансформаторов этих серий иллюстрирует рис. 2.1. Они имеют стержневой удлинённый магнитопровод 3, цилиндрическую первичную 1 и вторичную 2 обмотки с числами витков  $W_1$  и  $W_2$  соответственно.

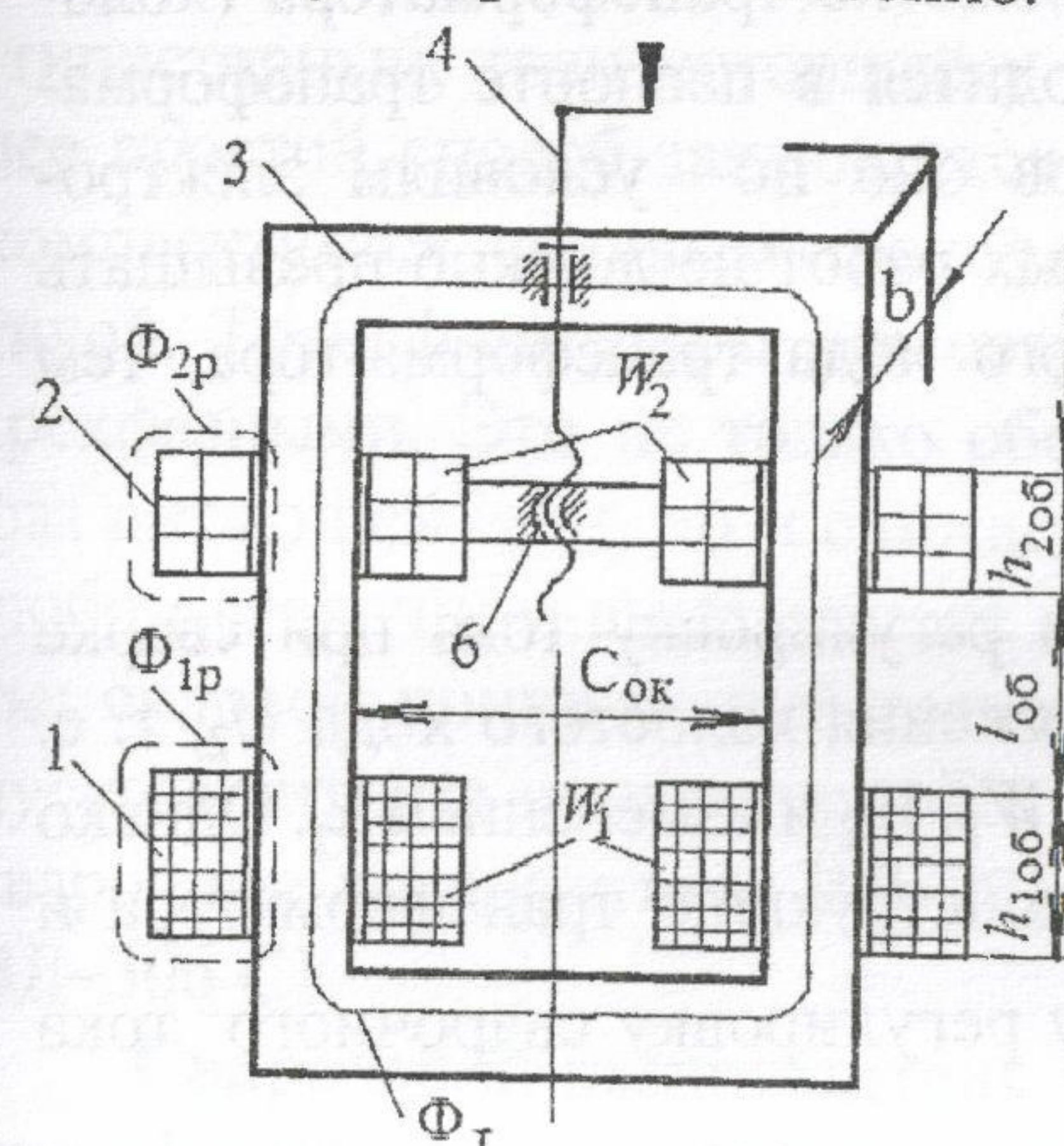


Рис. 2.1. Схема трансформаторов с подвижными обмотками [3]

Каждая из обмоток разбита на две катушки, охватывающие стержни магнитопровода. Основной магнитный поток трансформатора  $\Phi_t$  замыкается по магнитопроводу, а потоки рассеяния  $\Phi_{1p}$  и  $\Phi_{2p}$  – по воздуху в пространстве между первичной и вторичной обмоткам. Поэтому значительная часть магнитных потоков рассеяния первичной обмотки не достигает витков вторичной и они рассеиваются. Другими словами, на пути движения магнитного потока из первичной обмотки во вторичную имеется значительное индуктивное сопротивление. Индуктивное сопротивление трансфо-



рматора  $x_T$  сильно зависит от числа витков вторичной обмотки  $W_2$ , а также конструктивных параметров трансформатора: ширины магнитопровода  $b$ , высоты катушек  $h_{1об}$ ,  $h_{2об}$  и расстояния между ними  $C_{ок}$ :

$$x_T = 2 \cdot 10^{-6} W_2^2 \left( 1,5 + \frac{b}{C_{ок}} \right) (h_{1об} + h_{2об} + l_{об}), \text{ Ом.} \quad (2.1)$$

В уравнении (2.1) все геометрические размеры по рис. 2.4 приведены в сантиметрах. Видно, что зависимость индуктивного сопротивления трансформатора  $x_T$  от расстояния между обмотками  $l_{об}$  линейная. В режиме нагрузки (рис. 2.2) сила тока во вторичной обмотке трансформатора будут соответствовать следующей зависимости:

$$I_2 = I_d = \sqrt{\frac{U_2^2 - U_d^2}{x_T}}, \quad (2.2)$$

где  $x_T$  - полное индуктивное сопротивление трансформатора (включающее индуктивное сопротивление рассеяния);

$U_2$  - напряжение во вторичной обмотке трансформатора (холостого хода), значение которого приводится в паспорте трансформатора. Для сварочных трансформаторов оно по условиям электробезопасности при проведении сварочных работ не должно превышать 80 В. Чем выше напряжение холостого хода трансформатора, тем легче возбуждается дуга;

$U_d$  - напряжение сварочной дуги.

Из выражения (2.2) следует, что регулировку тока при сварке можно осуществлять изменением напряжения холостого хода  $U_2$ , т. е. изменением соотношения числа витков  $W_1/W_2$  и изменением  $x_T$ . Однако параметры  $U_2$  и  $W_1/W_2$  заложены в конструкцию трансформатора и имеют зависимость  $U_2 = U_1 \cdot \frac{W_2}{W_1}$ . Поэтому регулировку сварочного тока осуществляют изменением индуктивного сопротивления  $x_T$ , которое достигается изменением расстояния между обмотками.

Для регулирования режима сварки в обойму крепления катушек вторичной обмотки вмонтирована неподвижная гайка 6, в которую ввинчивается или вывинчивается из неё ходовой винт 4 при вращении рукоятки. При этом изменяется расстояние между подвижной и неподвижной обмотками трансформатора  $l_{об}$ , что приводит к изменению магнитных потоков рассеяния  $\Phi_p$ . При увеличении расстояния  $l_{об}$  между обмотками  $W_1$  и  $W_2$  магнитные потоки рассеяния возрастают, также возрастает индуктивное

сопротивление вторичной обмотки (согласно 2.1), а сварочный ток уменьшается. При уменьшении расстояния между обмотками  $W_1$  и  $W_2$  идет обратный процесс. Так происходит плавное регулирование силы сварочного тока.

Падающая внешняя характеристика у трансформатора с подвижными обмотками получается благодаря увеличенному магнитному рассеянию, вызванному размещением первичной и вторичной обмоток на значительном расстоянии  $l_{об}$  друг от друга, а также конструкции магнитопровода.

## 2.2. Сварочные выпрямители [1]

Для ручной сварки предназначены выпрямители с крутопадающими характеристиками, которые формируются различными способами: 1) увеличением индуктивного сопротивления трансформатора (выпрямитель с трансформатором с подвижными обмотками или с магнитным шунтом); 2) использование обратной связи по току (тиристорный, транзисторный и инверторный выпрямители). Наиболее простой способ заключается в том, что сварочный выпрямитель комплектуется силовым трансформатором с падающей характеристикой. Трансформаторы для сварочных выпрямителей выполняются трехфазными. Это не только обеспечивает равномерное нагружение фаз питающей сети, но и снижает пульсацию выпрямленного тока. В любом сварочном выпрямителе можно выделить следующие элементы: силовой понижающий трансформатор, выпрямительный блок и пускозащитную аппаратуру. По такому принципу сконструированы сварочные выпрямители ВД-201, ВД-201 У1, ВД-306, ВД-306 У3, ВД-306 С1.

**Сварочный выпрямитель ВД-306 С1.** В него входят силовой трансформатор с подвижными катушками (рис. 2.2). На металлической раме 10 размещены выпрямительный блок 1 и трехфазный понижающий трансформатор 2 с усиленными магнитными полями рассеяния.

С четырех сторон конструкция защищена кожухом, а сверху крышкой, на которой размещена рукоятка 3 плавного регулирования сварочного тока. На лицевой панели трансформатора расположены кнопки 4 «Пуск» и «Стоп», переключатель 5 диапазонов сварочного тока, амперметр 6, два разъема 8 для подключения сварочного кабеля, имеющих соответствующую полярность (+) и (-), и штепсельный



разъем 9 для подключения выпрямителя к сети. Металлическая рама 10 установлена на двух колесах 7. Грубая регулировка тока осуществляется одновременным переключением первичной и вторичной обмоток трансформатора переключателем 5.

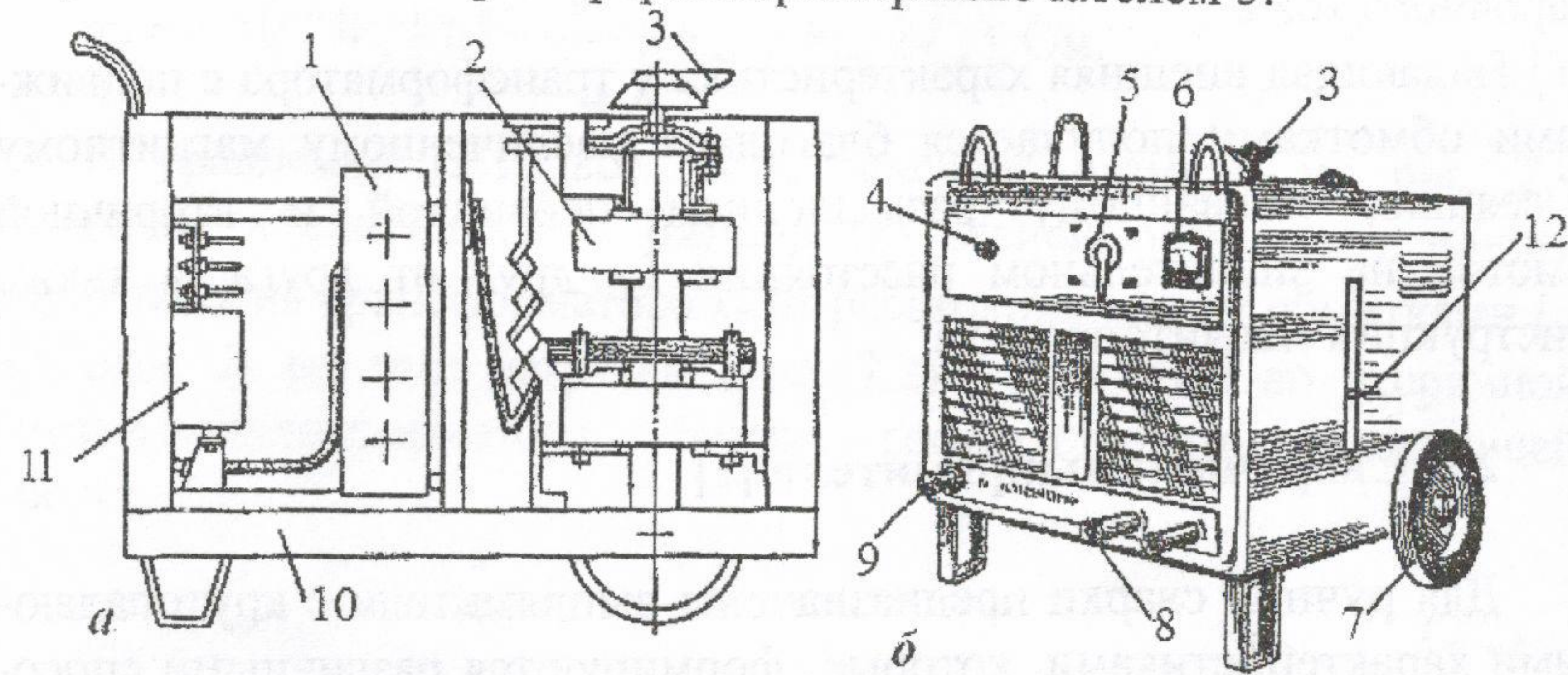


Рис. 2.2. Выпрямитель ВД – 306 С1: а – вид сбоку со снятым кожухом; б – общий вид

При включении по схеме «звезда-звезда» (Y/Y), обеспечивается ступень малых токов, а по схеме «треугольник-треугольник» (Δ/Δ) - ступень больших токов. В пределах каждой ступени плавное регулирование тока производится изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками поворотом рукоятки 3. Значение сварочного тока определяется по указателю со шкалой 12, расположенные сбоку кожуха трансформатора.

Упрощенная принципиальная схема выпрямителя ВД – 306 С1 приведена на рис. 2.3. Выпрямительный блок собран на кремниевых диодах. Для обеспечения необходимого температурного режима диодов в выпрямительном блоке имеется вентилятор 11 (см. рис. 2.2). Включение выпрямителя в работу и выключение производятся магнитным пускателем. Защитная аппаратура не позволяет включить выпрямитель, если на диоды не поступает воздушный поток, а также, если вышел из строя один из диодов или произошел пробой сетевого напряжения на корпус. Описанная пускозащитная аппаратура является традиционной для сварочных выпрямителей. Трехфазное сетевое напряжение промышленной частоты в 50 Гц трансформатором Тр понижается до 75 В. Затем пониженное напряжение той же частоты, что и сетевое, в выпрямительном блоке выпрямляется до  $U_{\text{вып}}$  и повышает свою частоту до 300 Гц.

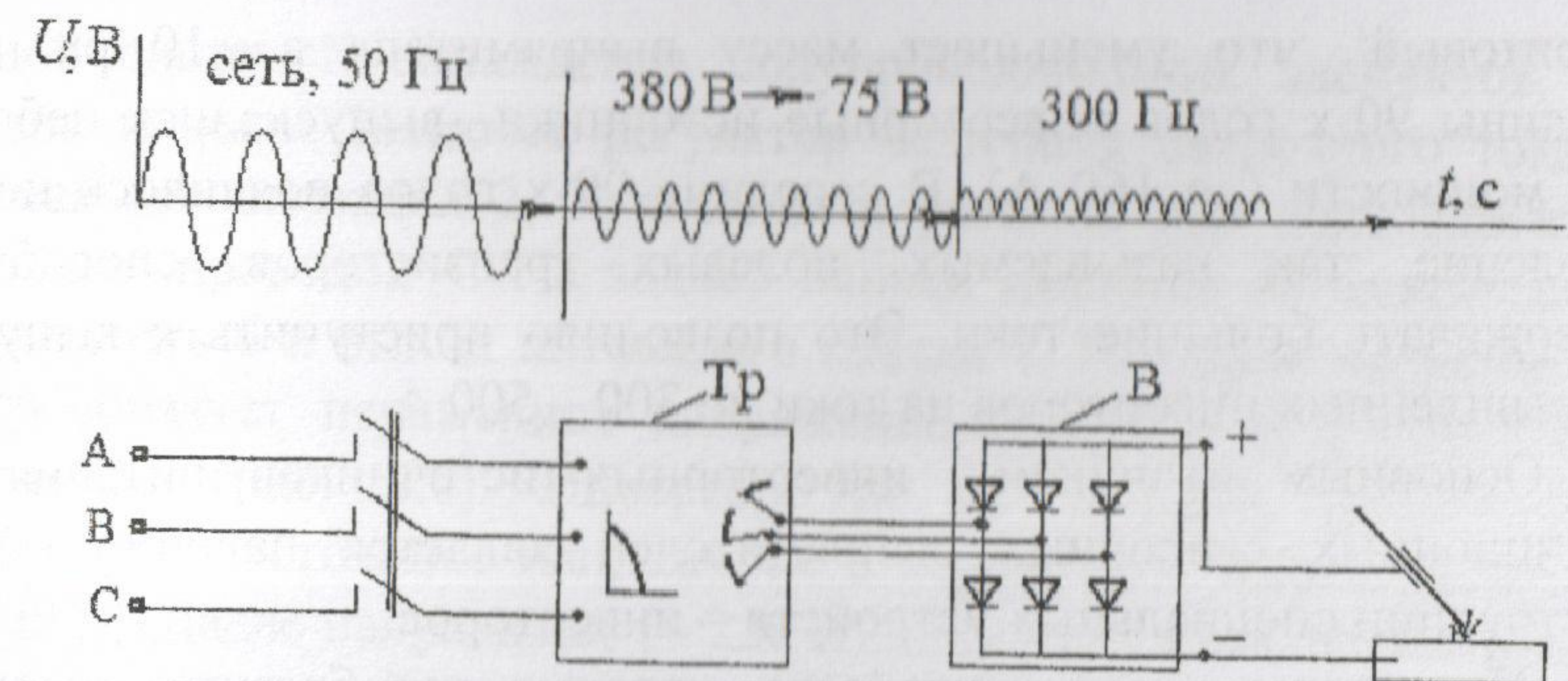


Рис. 2.3. Упрощенная электрическая принципиальная схема выпрямителя ВД – 306 С1: Тр – трансформатор с падающей характеристикой; В – выпрямительный блок на кремниевых диодах

Внешние характеристики выпрямителя приведены на рис. 2.4.

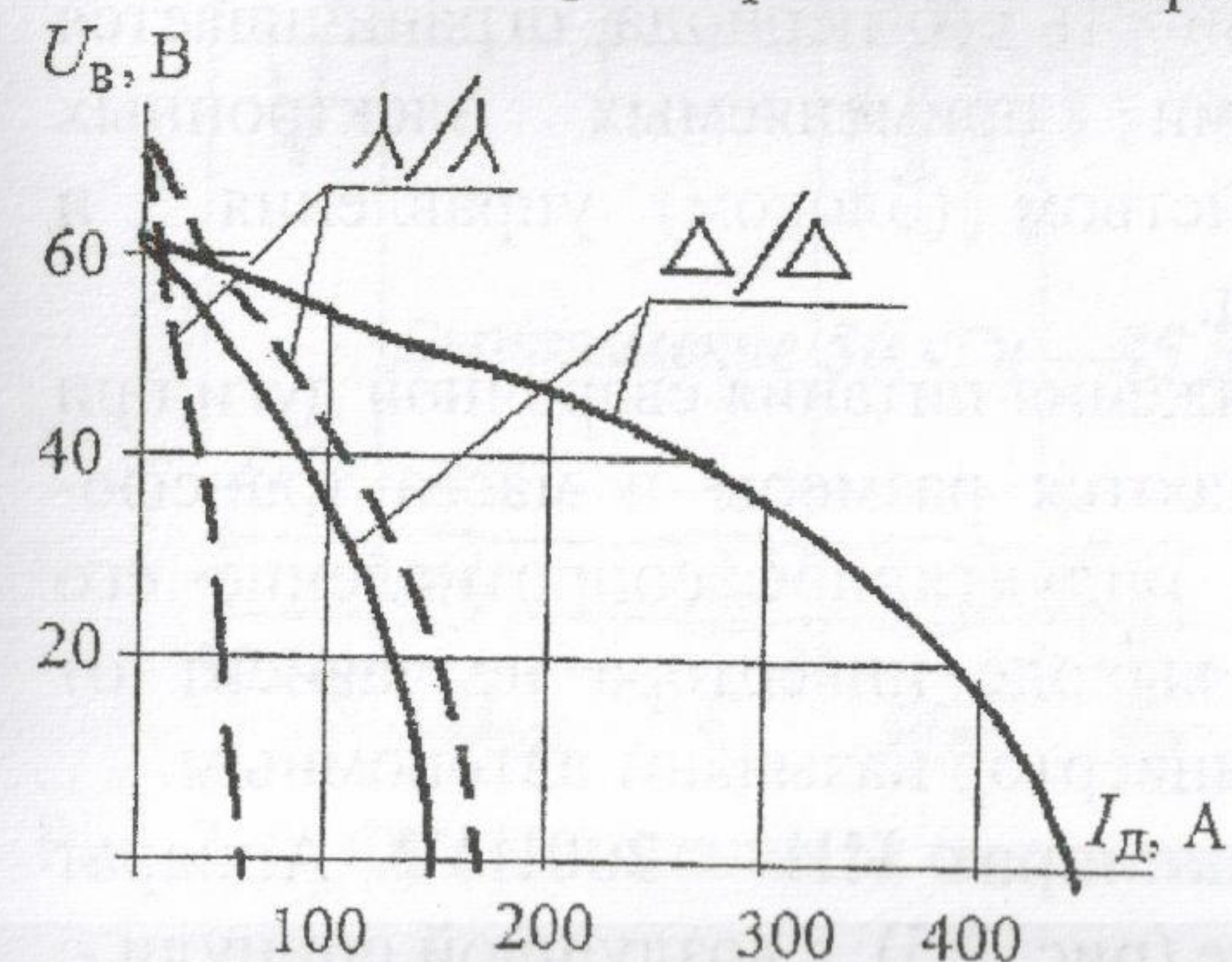


Рис. 2.4. Внешняя характеристика выпрямителя ВД – 306 С1

Выпрямители серий ВД – 201 и ВД – 306 просты в изготовлении и эксплуатации. Их недостатки - в отсутствии стабилизации режима при изменении напряжения сети и невозможности дистанционного управления.

### 2.3. Инверторные источники питания [1,3]

В начале 80-х годов финская фирма «Кемпи» начала производить инверторные источники питания дуги. В них, с помощью транзисторов, сетевое напряжение частотой 50 Гц после выпрямления преобразовывается в высокочастотное. Высокая частота позволяет заменить железный сердечник сварочного трансформатора на



ферритовый<sup>4</sup>, что уменьшает массу выпрямителя в  $\approx 10$  раз. До середины 90-х годов инверторные источники выпускались небольшой мощности (до 160 А). В середине 90-х годов появилось новое поколение, так называемых, полевых транзисторов, способных выдерживать большие токи. Это позволило приступить к выпуску промышленных инверторов на токи до 300...500 А.

Основным отличием инверторных источников питания от традиционных сварочных выпрямителей является наличие в его конструкции специальных устройств – инверторов.

Инверторы – это устройства, которые преобразуют энергию постоянного тока в энергию переменного тока с заданной формой импульсов, частотой, амплитудой и выходным напряжением.

На практике в сварочных источниках питания наиболее часто применяются однофазные инверторы. Частота переменного тока инвертора  $f = 1/T$ , где  $T$  – длительность его периода, ограничивается динамическими характеристиками применяемых электронных элементов. Она задается устройством (блоком) управления и устанавливается обычно 1...60 кГц.

С повышением частоты напряжения питания сварочной дуги при прочих равных условиях уменьшаются размеры и масса трансформатора, а также увеличивается индуктивное сопротивление его обмоток. Поскольку частота на выходе инвертора не зависит от частоты питающей сети, то такой инвертор называют автономным.

Инверторный сварочный аппарат ИН – 200ИУ2. Аппарат выполнен в металлическом корпусе (рис. 2.5), с воздушной принуди-

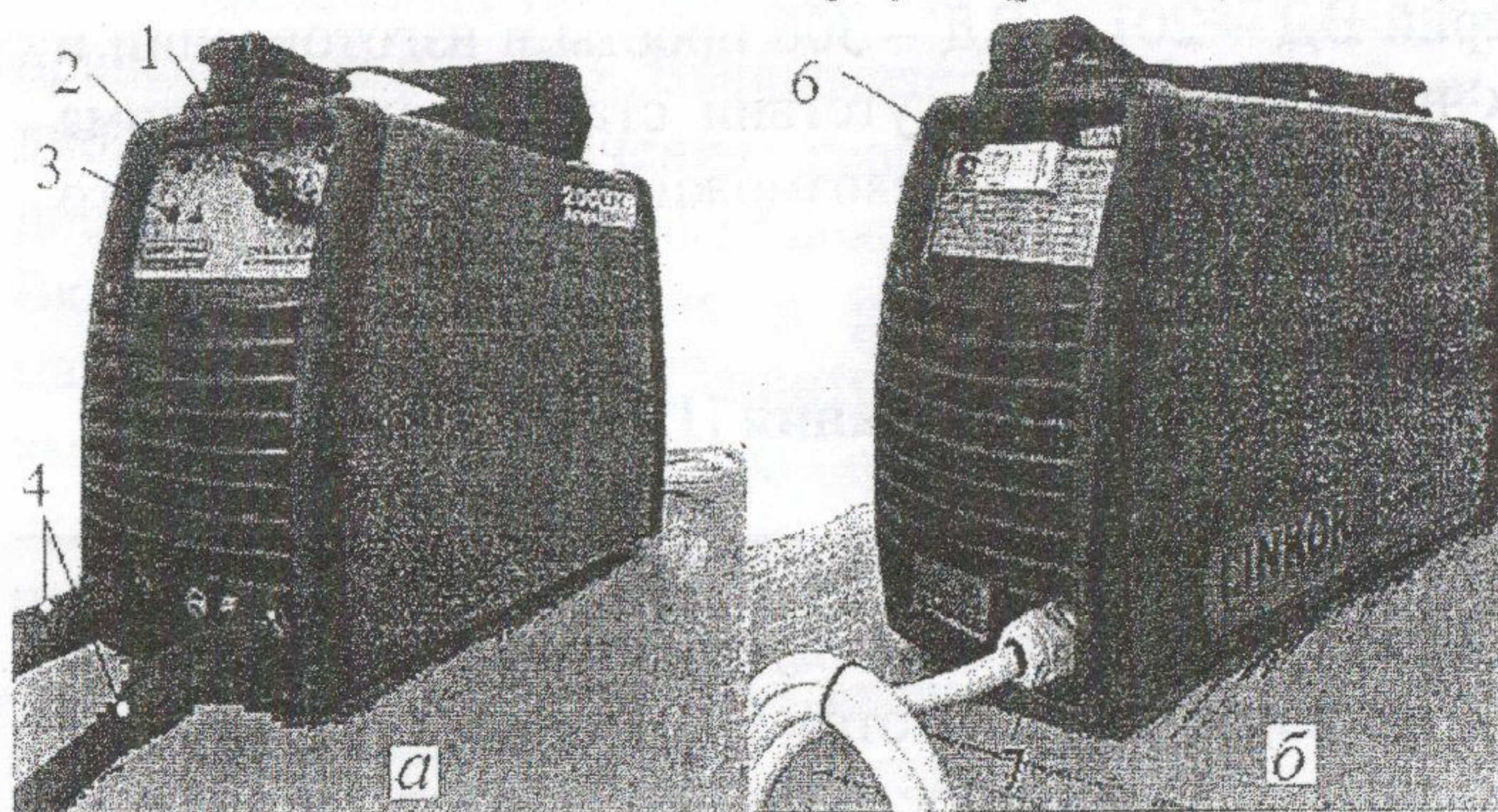


Рис.2.5. Внешний вид инверторного сварочного аппарата:

а – с лицевой стороны; б – с задней стороны

<sup>4</sup> Ферриты – неметаллические твердые магнитные материалы (ферромагнетики). Химические соединения окислов переходных металлов с окисью железа. Имеют малые потери на вихревые токи.

тельной системой охлаждения полупроводниковых элементов. На лицевой панели имеются регулятор величины сварочного тока 1, световая сигнализация 2, 3, выходные разъёмы для подсоединения сварочных проводов 4. На задней панели имеются автоматический выключатель 6 и выход питающего кабеля 7. Входной выпрямитель  $V_{вх}$  преобразует переменное напряжение сети 220 В ( $\sim 50$  Гц) в постоянное (рис. 2.6). Инвертор  $Ин$  на четырёх транзисторах преобразует постоянное напряжение в переменное высокочастотное ( $\sim 50$  кГц). Далее напряжение ( $\sim 220$  В) понижается высокочастотным трансформатором  $Тр$  до сварочного ( $\sim 85$  В), выпрямляется выходным выпрямителем  $V_{вых}$  и сглаживается дросселем  $Др$  (фильтром)  $L-C$ .

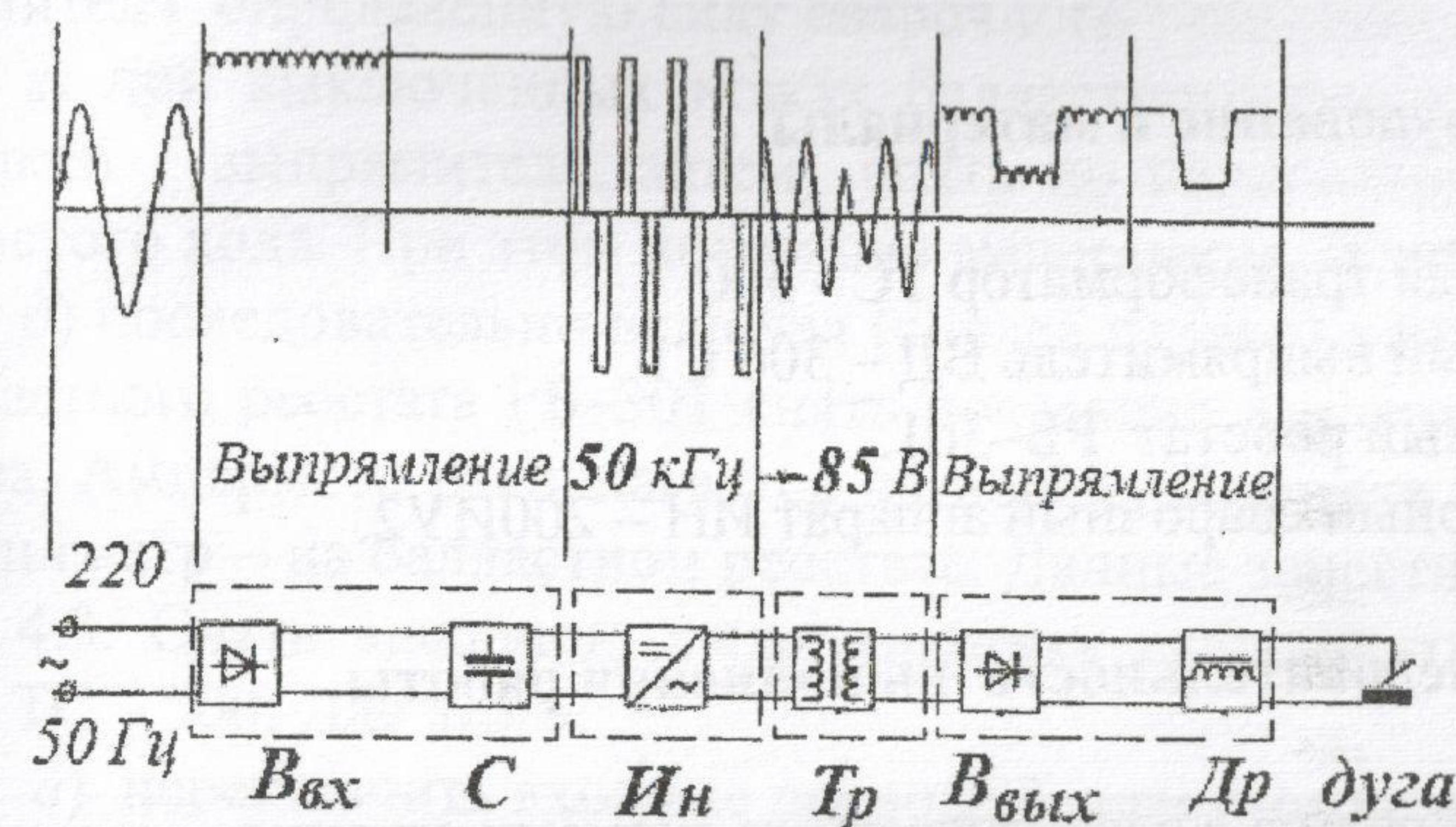


Рис. 2. 6. Функциональная схема инверторного сварочного аппарата

Использование ферритового сердечника в инверторном аппарате позволило уменьшить его массу до 8 кг (для сравнения – масса выпрямителя ВД–306 С1 составляет 80 кг).

Кроме снижения массы выпрямителя большая частота трансформируемого тока приводит к сокращению длительности переходных процессов с 0,02 сек до 0,001 сек, что уменьшает разбрызгивание металла при сварке. Регулировка режима сварки (получение падающей вольт - амперной характеристики и регулировка вторичного напряжения) осуществляется путём изменения частоты. Падающая внешняя характеристика обеспечивается следующим образом: с увеличением  $I_{св}$  автоматически снижается частота  $f$ , что влечет уменьшение выходного напряжения. Для его стабилизации вводится обратная связь по напряжению: например,



при неожиданном уменьшении напряжения на дуге  $U_d$  автоматически увеличивается  $f$  и напряжение  $U_d$  увеличивается до заданного.

Таким образом, воздействие на параметры инвертора позволяет регулировать режим сварки и формировать внешние характеристики выпрямителя.

Сегодня в России сварочные инверторы выпускают несколько предприятий («ТехноТрон» г. Чебоксары, Рязанский радиозавод и др.). Инверторные сварочные выпрямители относятся к наиболее перспективным и интенсивно развивающимся сварочным источникам питания.

### 3. Практическая часть

#### 3.1. Оборудование и материалы

- сварочный трансформатор ТС - 500
- сварочный выпрямитель ВД - 306 С1.
- балластный реостат РБ-301.
- инверторный сварочный аппарат ИН - 200ИУ2.

#### 3.2. Последовательность выполнения работы

1. Разобраться с электрическими схемами опытных установок для снятия внешних характеристик трансформатора и выпрямителя

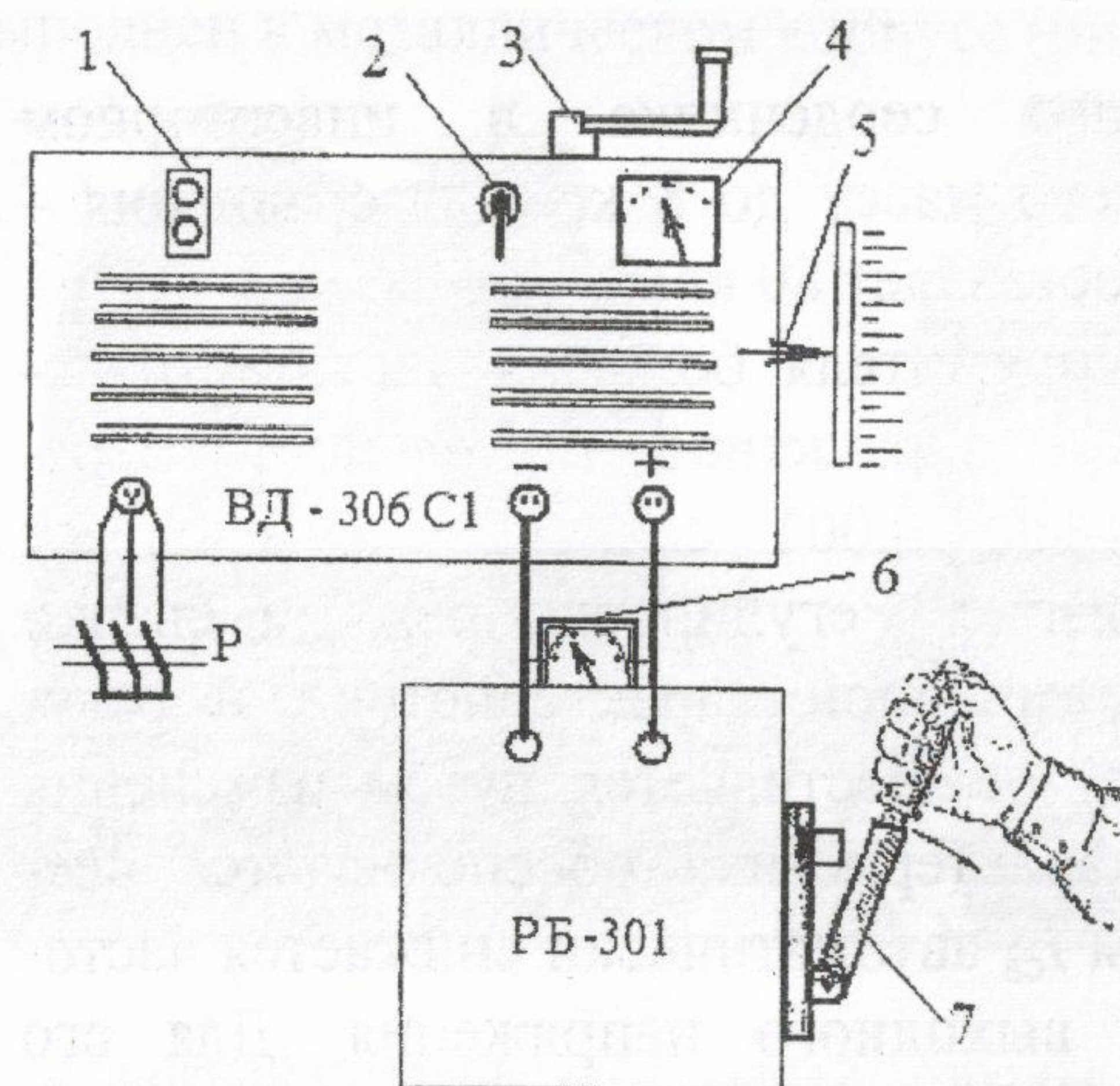


Рис. 2.7. Схема опытной установки для определения внешней характеристики выпрямителя: 1-выключатель с кнопками «пуск» и «стоп»; 2 - переключатель ступеней тока; 3-рукоятка регулятора сварочного тока; 4 - амперметр; 5- указатель сварочного тока со шкалой; 6 - вольтметр; 7-контактный нож РБ-301

2. Снять внешнюю характеристику сварочного выпрямителя

ВД-306 С1. Для этого убедиться, что вторичная обмотка трансформатора подключена к балластному реостату РБ-301.

Снятие характеристики осуществляется в следующей последовательности:

а) включить рубильник Р, смонтированный на стене лаборатории. Нажатием кнопки «Пуск» на передней стенке включить выпрямитель ВД-306 С1. Убедиться по характерному шуму и сигнальным лампочкам срабатывание вентилятора;

б) переключателем ступеней тока 2 вправо (ступень 2) включить обмотку трансформатора в область больших токов;

в) вращением рукоятки 3 установить по шкале указателя выпрямителя определенную силу сварочного тока (например, 250 А);

г) при выключенных ножах балластного реостата включить кнопкой 1 выпрямитель, затем снять по вольтметру напряжение холостого хода. При этом показание амперметра будет равно нулю.

д) последовательно включая (справа налево) контактные ножи балластного реостата РБ-301 снять показания амперметра и вольтметра. Амперметр располагается на передней стенке выпрямителя, а вольтметр - на балластном реостате. Данные занести в таблицу;

4.3. Снять внешнюю характеристику сварочного трансформатора ТС - 500. Для этого:

а) переключить входные провода балластного сопротивления РБ -301 на выходные клеммы вторичной обмотки трансформатора;

б) вращением рукоятки 4 (см. рис. 2.1) установить ток короткого замыкания 250 А. Указатель значения тока располагается под рукояткой;

в) при выключенных ножах балластного реостата РБ-301 включить трансформатор, затем снять по вольтметру, расположенному на балластном реостате, напряжение холостого хода.

г) переключая контактные ножи РБ-301, снять показания вольтметра и амперметра. Данные занести в таблицу 2.1. При этом используется амперметр, установленный на реостате.

ж) с помощью кнопки «стоп» и рубильника Р выключить источник питания. Отключить контакты реостата.

4.4. По полученным данным построить внешнюю характеристику выпрямителя и трансформатора. Внешнюю характеристику выпрямителя сравнить с характеристикой, приведенной на рис. 2.4.



Таблица 2.1

Результаты экспериментов по изучению внешних характеристик сварочных трансформатора и выпрямителя

Ток короткого замыкания, А	Показания приборов	Результаты измерений при разных положениях ручек балластного реостата					
		0	1	2	3	4	5
<b>Сварочный выпрямитель ВД – 306 С1</b>							
250	Ток, А						
	Напряжение, В						
<b>Сварочный трансформатор ТС-500</b>							
250	Ток, А						
	Напряжение, В						

#### 4. Содержание отчета

- 4.1. Тема и цель работы.
- 4.2. Схема опыта, применяемого для определения статической внешней характеристики выпрямителя.
- 4.3. Таблица с результатами опытов.
- 4.4. Графики статической внешней характеристики выпрямителя и трансформатора, построенные по данным табл. 2.1.
- 4.5. Выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Какие Вы знаете источники питания сварочной дуги для ручной дуговой сварки?
- 5.2. В чем особенность конструкции сварочных трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием?
- 5.3. От каких факторов зависит индуктивное сопротивление трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием?
- 5.4. Напишите выражение силы тока во вторичной обмотке сварочных трансформаторов с повышенным магнитным рассеянием в режиме нагрузки.
- 5.5. Дайте определение сварочному выпрямителю и инвертору.
- 5.6. Перечислите все конструктивные узлы, входящие в состав выпрямителя.

5.7. Почему, в отличие от сварочных трансформаторов, в выпрямителях используется трехфазный трансформатор?

5.8. Расскажите устройство выпрямителя ВД – 306 С1.

5.9. По упрощенной электрической схеме расскажите принцип работы выпрямителя ВД – 306 С1.

5.10. В чем преимущества инверторных выпрямителей перед обычными сварочными выпрямителями?

5.11. Объясните назначение отдельных узлов инверторного аппарата по упрощенной электрической схеме.

#### Список литературы

1. Коротков, В. А. Источники питания для сварки. Нижний Тагил: НТИ ГОУ “УГТУ - УПИ”, 2003. – 96 с.
2. Розаренов, Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
3. Ерёмин, Е. Н. Источники питания для сварки. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 296 с.



## Основоположники электродуговой сварки

**Бенардос Николай Николаевич** родился 26 июня 1842 г. в деревне Бенардосовке (основанной переселенцами-греками) Херсонской области (с 1905 – деревня Фастов Киевской губернии) в семье военного. Его дед, генерал Пантелеймон Бенардос – герой Отечественной войны 1812 года.



**Николай Николаевич Бенардос**  
(26. 06. 1842 – 21. 09. 1905)

[[ru.wikipedia.org/.../Бенардос, Николай Николаевич](http://ru.wikipedia.org/.../Бенардос, Николай Николаевич)]

Открытие электрической дуги Василием Владимировичем Петровым состоялось в 1802 году. Только через 80 лет результаты его работы нашли практическое применение. Это произошло в 1882 году, когда Н. Н. Бенардос предложил изобретённый им «способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока», названный им «электрогефест», по имени древнегреческого бога огня и кузнечного дела Гефеста. В 1885 году он получил патент на это изобретение, которое состояло в применении электрической дуги, возникающей между угольным электродом и обрабатываемым изделием при соединении и разъединении металлов. Он запатентовал своё изобретение в 1885 в Германии, Франции, России, Италии, Англии, США, Бельгии и других странах. «Электрогефест» сразу же получил применение как в России, так и за границей (в ж.-д. мастерских, на машиностроительных и металлургических заводах). Для непрерывного питания сварки током требуемой силы Н. Н. Бенардос создал особый тип электрических аккумуляторов, которые явились крупным изобретением того времени. Они применялись вначале для электрического освещения, а впоследствии для электрической сварки. В аккумуляторе Н. Н. Бенардоса (рис. П.1) пластины были выполнены из свинцовой рамы, в которую под наклоном впаяны прямые и волнистые (по очереди) свинцовые полосы. Такая конструкция пластин увеличивала их действующую поверхность и давала возможность свободно проходить электролиту, а при разряде-заряде свободно «дышать», т. е. расши-

ряться и сокращаться. Эти особенности позволяли аккумулятору выдерживать большой разрядный ток, а на заряде быстро восстанавливаться. Позднее Н. Н. Бенардосом были предложены пластины из губчатого свинца с изоляцией из порошка пемзы, предохраняющей пластины от коробления. Работы над созданием крупных аккумуляторных батарей привели его в 1882 г. к изобретению «Способа соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока». Его сварочный аккумулятор нашел применение во многих странах мира, проработав на отдельных предприятиях до 30-х годов XX в.

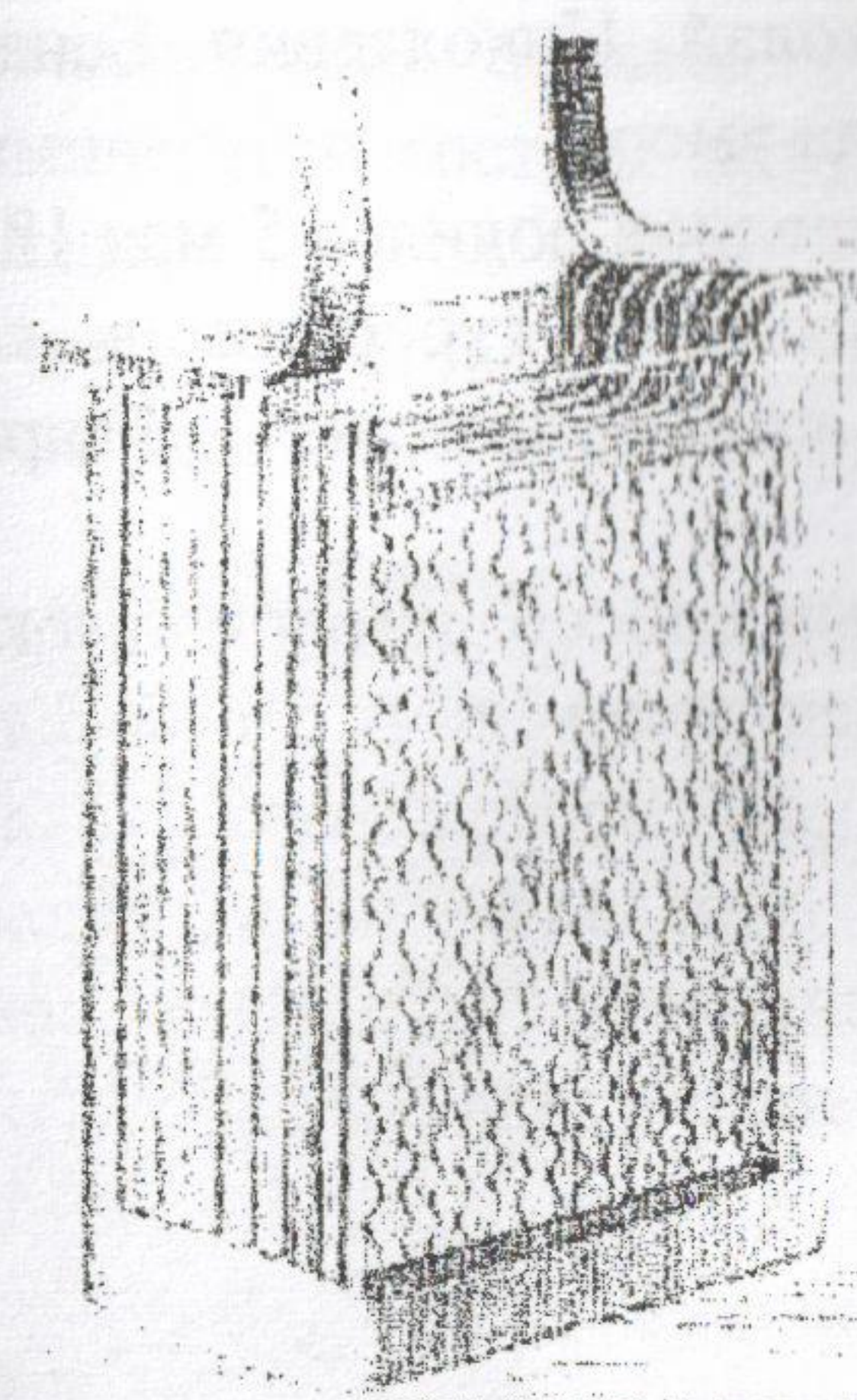


Рис.П 1. Аккумулятор  
Н. Н. Бенардоса  
[www.weldworld.ru/history\\_benardos.html/](http://www.weldworld.ru/history_benardos.html/)

Н. Н. Бенардос принадлежит также приоритет в изобретениях сварки косвенно действующей дугой, сварки в струе газа, дуговой резки как в обычных условиях, так и под водой, электролитического способа покрытия больших поверхностей металла слоем меди. В числе других изобретений Бенардоса – «способ электрического паяния накаливанием». Он создал угольные электроды самых разнообразных форм, а также комбинированные из угля и металла. Ему принадлежит один из первых проектов ГЭС переменного тока на р. Нева (1892). Бенардос придумал способ

магнитного управления дугой и одним из первых применил сварку в струе газа для увеличения площади и температуры поверхности свариваемых металлов. Но сварка в струе аргона, азота и других газов стала применяться спустя десятилетия. Бенардос разработал автоматические системы для сварки угольными и металлическими электродами, в том числе для сварки металлическим электродом продольных швов листов, труб, цилиндров даже большого диаметра. В 1890 году Бенардос издал каталог более 120 своих изобретений, относящихся к различным отраслям хозяйства, в том числе: к транспорту, военному делу, электротехнике, электросварке, бытовой технике, различным двигателям, станкам и механизмам. На 4-й Электрической выставке в 1892 год, организованной в Петербурге Русским техническим обществом, Николай Бенардос продемонстрировал не только дуговую электросварку и оборудование для нее, но также и устройства для точечной контактной сварки. В этом же 1892 году за изобретение дуговой электросварки Николай Бенардос был награжден золотой медалью Русского технического общества «За удачное применение вольтовой дуги к спаиванию металлов и наплавлению одного металла на другой».

Возникший еще на 4-й Электрической выставке (1892 года в Санкт-Петербурге) спор с Николаем Славяновым о первооткрывательстве электросварки спустя годы был разрешен в суде в пользу обоих изобретателей. Суд



установил полную самостоятельность «электрогешта» Бенардоса и «электрической отливки» Славянова. В 1899 году Петербургский электротехнический институт присвоил инженеру-изобретателю звание почетного инженера-электрика. В этом же году Бенардос получил патент на способ приготовления губчатого свинца для аккумуляторных пластин. Но, разрабатывая новые типы аккумуляторов, Николай Николаевич Бенардос отравился свинцом, заболел и 21 сентября 1905 года умер.

**Славянов Николай Григорьевич.** Н. Г. Славянов родился 5 мая 1854 г. в селе Никольском Задонского уезда Воронежской губернии в семье обедневшего потомственного дворянина, штабс-капитана Гавриила Николаевича Славянова.

Н. Г. Славяновым впервые в мире был создан способ дуговой сварки на постоянном токе плавящимся металлическим электродом под слоем флюса, сварочное оборудование (сварочные генераторы постоянного тока) и устройства автоматизации сварочного процесса, определившие направления развития сварки и нашедшие практическое применение в тот период времени для решения металлургических задач.



**Славянов Николай Григорьевич**  
(05. 05. 1854-05. 10. 1897)  
[Славянов Н. Г. Труды и изобретения.  
- Пермь: Кн. Из-во, 1988. -296 с.]

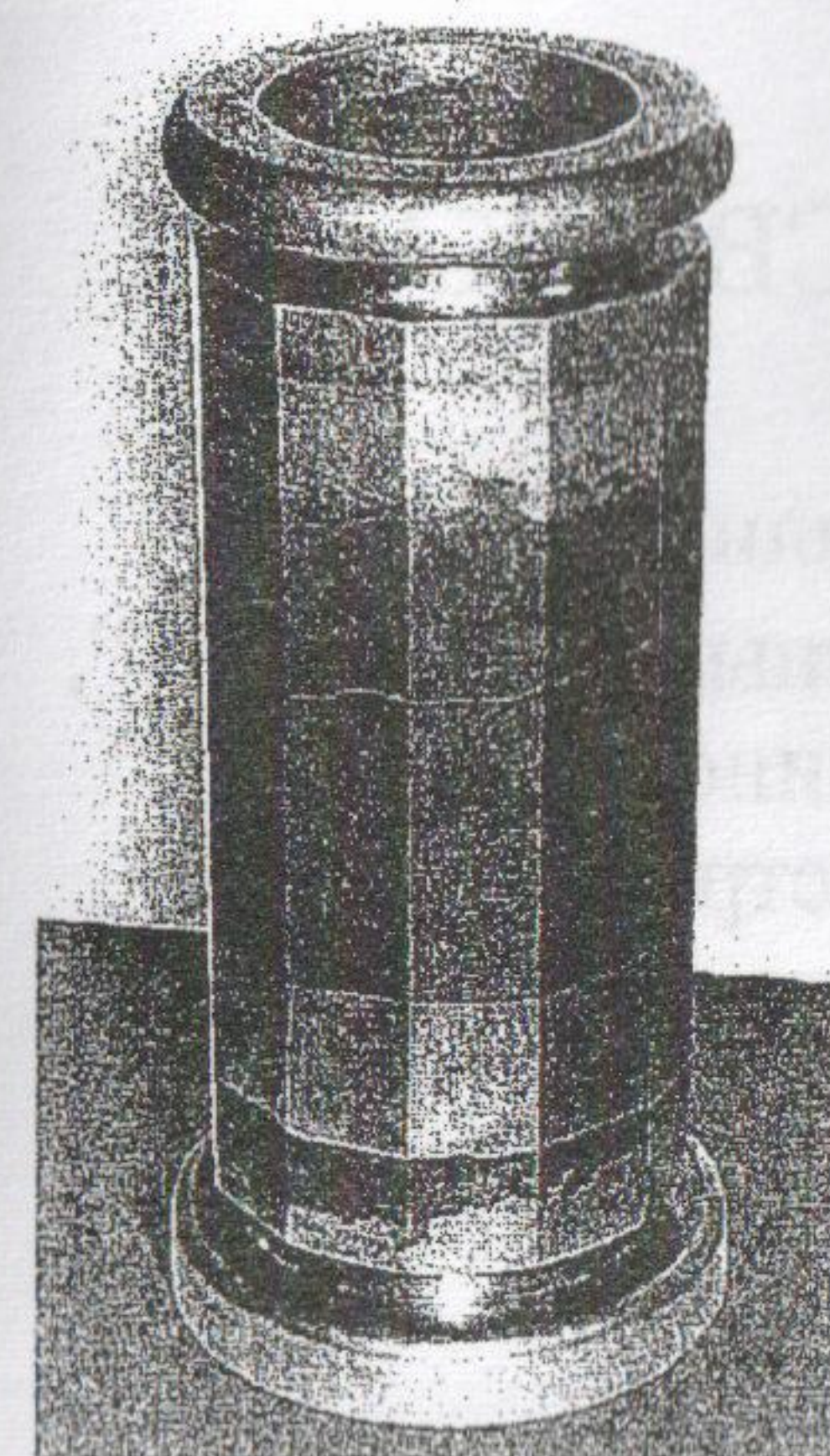
Сварка по его методу производится под шлакообразующими покрытиями, изолирующими металл от воздействия воздуха и участвующими в металлургическом процессе. Для этого в сварочную ванну вводится битое стекло. Не ограничиваясь применением стекла, Славянов рекомендует также вводить в ванну расплавленного металла ферросплавы, в первую очередь ферромарганец, а в некоторых случаях также ферросилиций и феррохром для его металлургической обработки. Еще одним отличием было применение подогрева перед сваркой.

Созданный Н. Г. Славяновым способ сварки металлическим электродом под слоем толченого стекла, впервые был публично испытан в присутствии государственной комиссии при сварке коленчатого вала паровой машины 18 октября 1888 г. в Пермских пушечных заводах (позже Мотовилихинские заводы). Эта дата считается днем рождения российской электросварки.

В 1891 г. Н. Г. Славяновым была издана первая книга с кратким изложением сущности его изобретения «Электрическая отливка металлов горного инженера Николая Славянова». Книга была напечатана на русском (1500 экз.), английском, французском и немецком языках. Затем в 1892 г. Н. Г. Славянов издает свой основной печатный труд «Электрическая отливка

металлов. Руководство к установке и практическому применению ее», которое бесспорно и по праву признается первой монографией по дуговой сварке металлов.

Русское техническое общество на IV Электрической выставке в 1892 г. удостоило Славянова «за удачное применение вольтовой дуги к производству металлических отливок и последующей их обработке с целью изменения химического состава металла и улучшения его механических свойств» своей высшей награды - золотой медали и почетного диплома. Таким образом, оба основоположника электродуговой сварки Бенардос Н. Н. и Славянов Н. Г. были удостоены золотых медалей на одной и той же выставке.



На рис. П 2. представлен сваренный Славяновым в 1888 г. электродуговой сваркой стакан в виде 12-гранной призмы из восьми черных и цветных металлов. Было изготовлено два стакана. Один из них был продемонстрирован в 1893 г., как образец сварки, на **Всемирной электротехнической выставке в г. Чикаго** (Америка), где ему «за дуговую электрическую сварку» была присуждена золотая медаль. На дне стакана было выгравировано: «Экспонат на Всемирную электротехническую выставку в г. Чикаго (Америка). Изготовлен Н. Г. Славяновым. Завод Мотовилиха. 1893 год».

Второй стакан позднее был подарен музею Политехнического института г. Перми, о чем имеется соответствующая надпись на верхнем торце «стакана».

Умер Николай Гаврилович 5 октября 1897 г. в возрасте 43 лет, проработав на Мотовилихинских заводах в Перми почти 15 лет. Жизнь Н. Г. Славянова оборвалась внезапно, в расцвете творческой деятельности.

Рис. П 2. Стакан Славянова Н. Г.  
[/www.museum.perm.ru/](http://www.museum.perm.ru/)