



**САХАЛИНСКОЕ ВЫСШЕЕ МОРСКОЕ УЧИЛИЩЕ имени Т.Б. Гуженко**  
**- ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО**  
**УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«МОРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АДМИРАЛА Г.И. НЕВЕЛЬСКОГО»**  
**(Сахалинское высшее морское училище им. Т.Б. Гуженко –**  
**филиал МГУ им. адм. Г.И. Невельского)**

**СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

**ПОДГОТОВКА СУДОВЫХ МЕХАНИКОВ**  
**УРОВНЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ**  
**ПЕРЕРЫВЕ В РАБОТЕ**

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**  
**ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ**

**Холмск,**

**2018**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

<b>РАЗДЕЛ I СУДОВЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ</b>	<b>3</b>
Электрогидравлические рулевые машины.	
Подруливающие устройства(схемы и конструкции)	5
Судовые котельные установки	18
<b>РАЗДЕЛ II ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОНИКА</b>	<b>27</b>
СУДОВЫЕ СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ	
Исследование трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя	29
Исследование однофазного управляемого выпрямителя с нулевым выводом	32
Исследование работы тиристорного пускателя типа ПТ	34
Исследование трехфазного мостового управляемого выпрямителя	36
Исследование непосредственного преобразователя частоты НПЧ	42
Исследование преобразователя частоты типа ACS 300	45
Судовые преобразователи электроэнергии	49
Судовая электроизмерительная техника	73
Измерительная аппаратура судовых распределительных щитов и правила безопасности при ее эксплуатации	80
<b>РАЗДЕЛ III ОСТОЙЧИВОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СУДНА</b>	<b>85</b>
Корпус судна и его основные элементы. Термины и определения	87
Требования Регистра судоходства к остойчивости морских судов	90
Непотопляемость судна	94
Прочность корпуса судна	104
Международная конвенция о грузовой марке	110
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b>	<b>115</b>
Схема учебного городка	119
Выдержки из временной инструкции по обмену и выдаче дипломов и квалификационных свидетельств	121

## **РАЗДЕЛ I**

# **СУДОВЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

## ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РУЛЕВЫЕ МАШИНЫ ПОДРУЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА (СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ)

### Функциональные схемы типовых рулевых машин

На судах морского флота эксплуатируют разнообразные электрогидравлические рулевые машины отечественного производства и зарубежных фирм. Рассмотрим основные схемы типовых ЭГРМ, дающие наиболее общее и наглядное представление о составе и функциональных связях их основных элементов и узлов.

Одна из типовых современных ЭГРМ состоит из электрической системы управления и силовой части – гидравлической рулевой машины (рис. 5.1). Принцип действия такой ЭГРМ заключается в следующем. При повороте штурвала на мостике в ту или другую сторону на угол  $\alpha$  сельсин  $C_\phi$  вырабатывает соответственно положительное или отрицательное напряжение  $u_\phi$ , из которого вычитается сумма трех сигналов обратных связей: по положению руля  $u_a$ , по положению  $u_\psi$  и скорости перемещения  $u_{тг}$  управляющего валика. Сигналы обратных связей вырабатываются сельсинами  $C_a$ ,  $C_h$  и тахогенератором ТГ, механически соединенными с рулем и управляющим валиком.

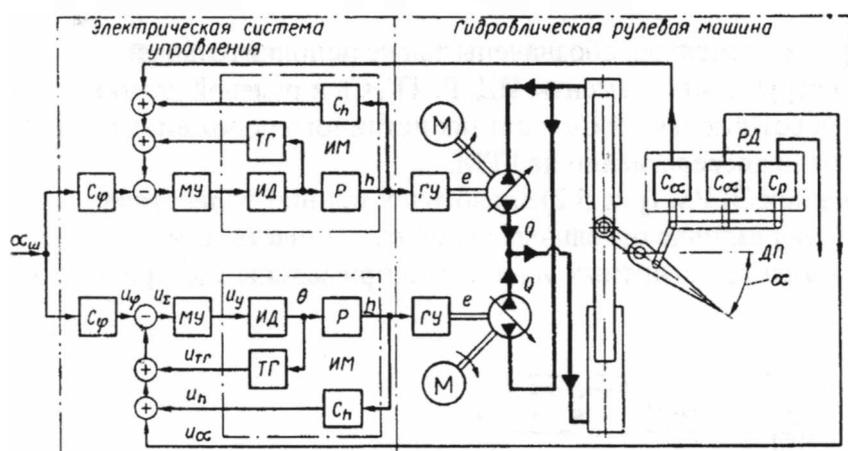


Рис. 5.1. Функциональная схема типовой ЭГРМ

Суммарный сигнал  $u_z$  усиливается магнитным усилителем МУ до напряжения  $u_y$ , подаваемого на управляющую обмотку двухфазного асинхронного исполнительного электродвигателя ИД, угол поворота которого  $\Theta$  уменьшается редуктором Р до значения линейного перемещения  $h$  управляющего валика. Этот валик является выходным элементом электрической системы управления и задающим органом ГРМ.

Управляющий валик соединен с золотником следящего гидравлического усилителя ГУ, который в свою очередь механически соединен с управляемым органом (блоком цилиндров) насоса регулируемой подачи. В зависимости от значения и знака перемещения  $e$  (эксцентриситет или угол поворота люльки) насос подает рабочую жидкость в соответствующий цилиндр рулевого привода, и руль перекалывается на заданный угол  $\alpha$  в сторону того или другого борта от диаметральной плоскости ДП судна.

Обратные связи с сельсинами  $C_h$  и  $C_a$  применяют для обеспечения следящего принципа управления рулем. Это происходит следующим образом. При появлении сигнала  $u_\phi$  начинает перемещаться управляющий валик. Его перемещение  $h$  преобразуется сельсином  $C_h$  в сигнал  $u_\psi$  противоположного  $u_\phi$  знака. Когда сумма этих сигналов  $u_z$  станет равной нулю, валик останавливается в некотором положении  $h$ , а насос получает задание  $e$ . При этом начинается перекадка руля и сельсин  $C_a$  выдает сигнал  $u_a$ , пропорциональный  $\alpha$ , но обратный по знаку  $u_\phi$ . Суммарный сигнал  $u_z$  становится отрицательным, и под его действием исполнительный электродвигатель ИД начинает вращаться в противоположном направлении, уменьшая

выходной параметр  $h$ . Далее при неизменном сигнале  $u_\phi$  (штурвал удерживается в нужном положении) уменьшается сигнал  $u_\theta$  до нуля и увеличивается  $u_\alpha$  до момента равенства нулю суммарного сигнала  $u_\Sigma$ . В этот момент руль останавливается, а угол его перекладки  $\alpha$  соответствует по значению и направлению углу поворота штурвала  $\alpha_\theta$ . При любых других поворотах штурвала следящая система работает аналогично.

Обратную связь с тахогенератором ТГ применяют для улучшения динамических характеристик следящей системы и, в частности, для улучшения переходного колебательного процесса управляющего валика.

Таким образом, рассмотрена работа одной линии управления и ее насоса.

Другая линия управления и второй насос работают аналогичным образом.

Возможна также одновременная работа обеих линий управления и насосов от одного сигнала – поворота штурвала, что применяют в процессе эксплуатации для увеличения скорости перекладки руля.

Работа ЭГРМ в автоматическом режиме с одним (или другим) насосом осуществляется аналогично работе описанного ручного следящего управления с той разницей, что управляющий сигнал  $u_\phi$  вырабатывается не вращением штурвала, а автоматическим прибором – авторулевым. Электрическая система управления является его структурной частью.

На схеме, кроме рассмотренных элементов, обозначены также исполнительный механизм ИМ, объединяющий конструктивно элементы ИД, Р, ТГ, С $\theta$  и рулевой датчик РД, в состав которого входят сельсины обратных связей С $\alpha$  и датчик истинного положения руля С $\rho$ . Приборы ИМ и РД располагают непосредственно на ГРМ.

Принцип действия отечественной ЭГРМ (рис.5.2) аналогичен принципу действия рассмотренной машины, несмотря на различие отдельных элементов. В частности, отсутствуют тахогенераторы ТГ, а вместо магнитных усилителей применены электронные  $У_1$  и  $У_2$ .

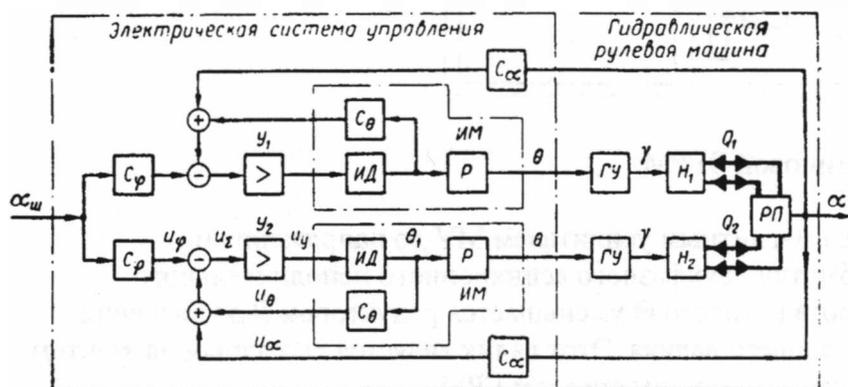


Рис. 5.2. Функциональная схема отечественной ЭГРМ

Для удобства сравнения схем на них использованы в основном одинаковые обозначения элементов и переменных параметров. Здесь  $Н_1$  и  $Н_2$  – насосы, РП – рулевой привод. Перемещение управляющего валика  $\Theta$  может быть как линейным (для радиально – и аксиально – поршневых насосов при наличии прибора ИМ-2), так и угловым (для аксиально-поршневых насосов при наличии прибора ИМ-1). Аналогично перемещение регулируемого органа насосов  $у$  может быть соответственно линейным или угловым.

В отличие от рассмотренных схем на функциональной схеме другого распространенного типа современных ЭГРМ (рис.5.3) показана электрическая система управления в общем виде без конкретной привязки к какому-либо типу авторулевых. Кроме упоминавшихся элементов, на схеме обозначено демпфирующее устройство ДУ, роль которого ранее выполнял тахогенератор ТГ.

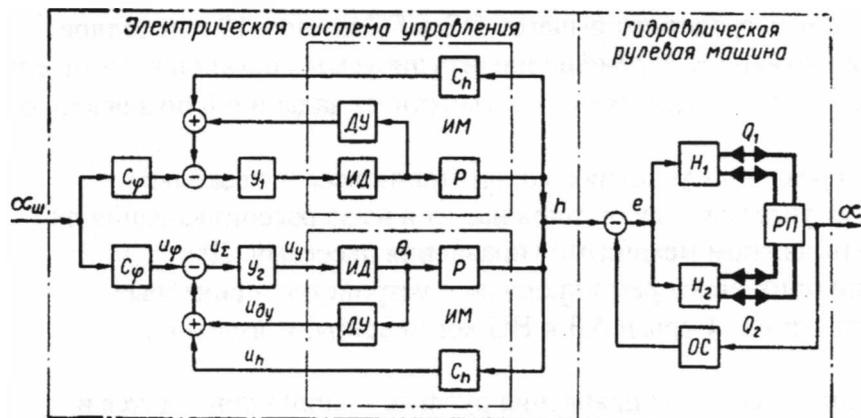


Рис. 5.3. Функциональная схема ЭГРМ с автономной ГРМ

Принципиальной особенностью ЭГРМ данного типа является автономность ГРМ, имеющей свою (как правило, механическую) отрицательную обратную связь, представленную элементом ОС. Это обстоятельство существенно влияет на динамические характеристики ГРМ и ЭГРМ, особенности их испытаний и эксплуатации.

Электрическая система управления аналогично предыдущим схемам состоит из двух самостоятельных линий, принцип работы которых одинаков и аналогичен принципу работы приведенных систем.

Рассмотрим работу автономной плунжерной ГРМ (рис.5.4). Два идентичных исполнительных механизма ИМ (от двух линий управления) работают на один выходной управляющий элемент – шток 12, перемещение которого  $h$  является заданием для ГРМ на перекладку руля. Это задание с помощью рычагов ВD (точка D при этом неподвижна) и FG, соединенных между собой в точке С, и штанги 17 передается насосам 8 регулируемой подачи, которые создают согласно полученным перемещениям  $e_1$  и  $e_2$  регулируемых органов подачу  $Q_1$  и  $Q_2$  рабочей жидкости.

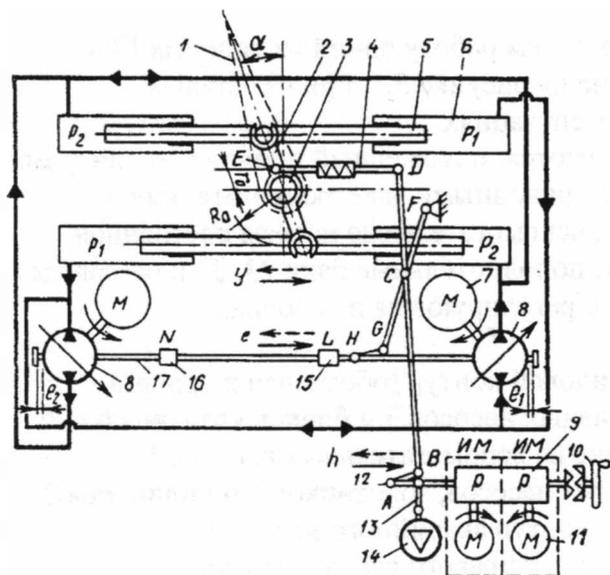


Рис. 5.4. Схема типовой плунжерной ГРМ

Взаимное расположение насосов, приводимых в действие электродвигателями 7, таково, что их подачи складываются. При работе насосов в цилиндрах 6 плунжерного привода создается перепад давлений ( $p_1 - p_2$ ) и руль 1 посредством плунжеров 5 и румпеля 2 перемещается на некоторый угол  $\alpha$ . При этом обратная механическая связь 4, отстоящая на расстоянии  $r_0$  от

оси вращения баллера 3, возвращает посредством рычагов DB и FG штангу 17 в исходное среднее положение, при котором суммарное перемещение регулируемых органов насосов  $e = 0$ . Когда руль останавливается, его угол перекадки  $\alpha$ , соответствует заданию  $h$  по значению и направлению.

Перемещение  $e$  штанги 17 в реальных условиях эксплуатации всегда несколько отличается от перемещений  $e_1$  и  $e_2$  управляемых органов насосов из-за рассогласования их нулевых положений и люфтов в рычажном механизме управления насосами. Для согласования нулевых положений применяют регулировочное устройство – винтовые соединения 15 и 16 на концах штанги NL. Серьги АВ и НГ компенсируют взаимное перемещение рычагов.

В случае отказа дистанционной системы управления рулевая машина приводится в действие штурвалом 10, соединяемым вручную с редуктором 9. Указатели положения руля на мостике получают электрический сигнал от датчика 14, приводимого в действие рычагом 13, который соединен со штоком 12.

Таким образом, данная ГРМ с механической обратной связью представляет собой самостоятельный замкнутый контур, то есть автономную следящую систему, включенную последовательно замкнутому контуру электрической следящей системы управления.

Все ЭГРМ могут работать с любым из двух или одновременно с обоими насосами. Различие между ними заключается в том, что в рассмотренных ранее ЭГРМ при работе одной линии управления и ее насоса другая линия управления со своим насосом выключена, а в случае ЭГРМ с автономной ГРМ (см. рис.5.3) может работать любая линия управления с любым из двух или одновременно с обоими насосами. При этом регулируемые органы обоих насосов приводятся в движение от одной управляющей штанги независимо от того, находятся в действии один из двух или оба насоса. Насос включается в работу запуском его электродвигателя с основного поста управления (на мостике), а также из румпельного помещения.

### Принципиальные гидравлические схемы типовых рулевых машин

**Назначение элементов и принцип работы.** Рассмотрим работу одной из типовых ГРМ (рис.5.5), функциональная схема которой приведена на рисунке 5.1, при различных эксплуатационных режимах и возможных типовых ситуациях.

Основными элементами гидравлической схемы являются: плунжерный привод с цилиндрами Ц1 – Ц4, главные насосы 3 регулируемой подачи с приводными электродвигателями 4, следящие гидроусилители (1 и 2), блок клапанов 7, вспомогательные насосы постоянной подачи, аварийный насос регулируемой подачи 31, дополнительные баки 23, 34 и резервная цистерна 36, а также различная предохранительная, регулирующая и запорная гидравлическая аппаратура.

Гидравлическими узлами схемы являются: силовой контур (обозначен жирными линиями), состоящий из плунжерного привода, главных насосов 3 и блоков клапанов 6 и 7; контуры управления главными насосами, состоящие из вспомогательных насосов 5, приводимых в действие электродвигателями главных насосов, золотников 1 и цилиндров 2; система подпитки силового контура от насоса 25 и контур аварийного насоса 31.

В основном режиме перекадки руля, например от правого главного насоса, гидравлическая схема работает следующим образом. Сигнал на перекадку руля поступает от электрической системы управления на правый исполнительный механизм ИМ, выходной валик которого механически соединен с золотником 1. При перемещении золотника из нулевого положения, например вправо на некоторое расстояние, рабочая жидкость сливается из правой полости цилиндра гидроусилителя в исполнительный бак 23, а дифференциальный поршень цилиндра 2 под давлением 0,8 – 1,5 МПа (регулируется редукционным клапаном 24) в левой полости цилиндра перемещается вправо до перекрытия рабочих

каналов золотника (то есть на расстояние хода золотника), задавая эксцентриситет правого главного насоса 3.

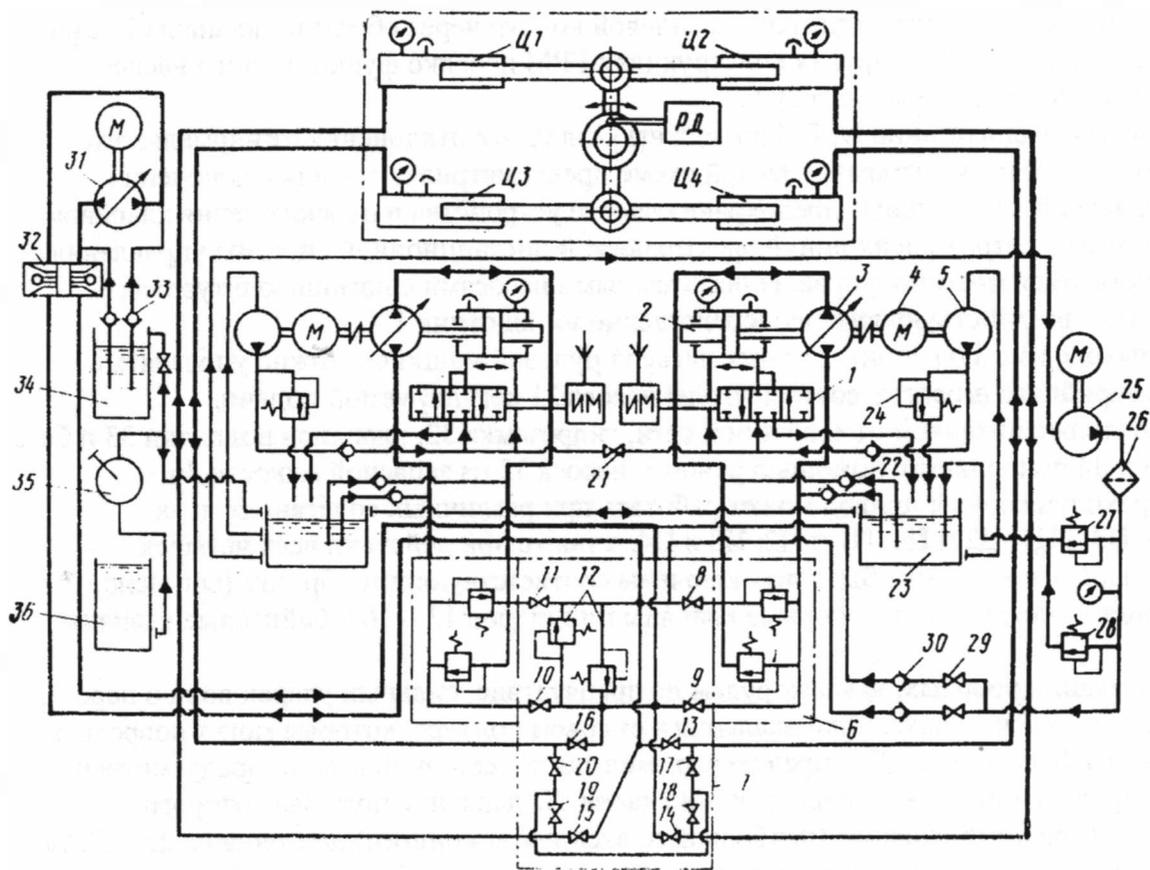


Рис. 5.5. Принципиальная гидравлическая схема Плунжерной ГРМ

Рабочая жидкость силового контура от насоса 3 через клапаны 8, 13 и 15 подается в цилиндры Ц1 и Ц4, руль при этом переключается по часовой стрелке. Поворот руля происходит до тех пор пока (см. рис. 5.1) обратные связи Сh и Са (связь Са входит в состав рулевого датчика РД, (см. рис. 5.5) не возвратят золотник 1 в среднее (нулевое) положение. Это же положение займут вместе с золотником поршень 2 и регулируемый орган насоса 3.

Для возвращения руля в нулевое положение (в диаметрально плоскость) необходим новый электрический сигнал (поворот штурвала) того же значения, но противоположный по знаку. При этом золотник перемещается из нулевого положения влево и рабочая жидкость контура управления поступает в правую полость цилиндра. Дифференциальный поршень при этом перемещается влево, создавая эксцентриситет насоса 3 противоположного знака, а рабочая жидкость поступает от насоса 3 через клапаны 9, 14, 16 в цилиндры Ц3 и Ц2, поворачивая руль против часовой стрелки. Руль останавливается, когда те же обратные связи вновь возвратят золотник 1 в среднее положение.

Клапаны 17 – 20 являются байпасными и при нормальной работе ГРМ должны быть закрыты, а клапаны 8 – 11 всегда открыты.

Работа ГРМ с другим (левым) главным насосом осуществляется аналогичным образом. Возможна также одновременная работа обоих главных насосов для увеличения (примерно в два раза) скорости переключки руля,

При работе одним главным насосом второй во избежание вращения в режиме гидродвигателя отсекают от силового контура гидрозамком или затормаживают храповиком, размещенным на валу соединения с электродвигателем 4. На схеме показан гидрозамок 32 аварийного насоса.

Для компенсации внешних утечек из силового контура имеется система подпитки, состоящая из вспомогательного насоса 25, фильтра 26 и гидравлической магистрали с клапанами: предохранительным 27, редуционным (0,2 – 0,3 МПа) 28, запорными 29 и обратными 30. Можно также подпитывать силовой контур через обратные клапаны 22 при выходе из строя насоса 25. В других конструкциях ГРМ нередко функции этого насоса передаются вспомогательному насосу 5.

В процессе эксплуатации ЭГРМ возможны различные отклонения от нормального режима работы, поэтому в гидравлической схеме предусматриваются для исключения возможных аварий специальные предохранительные устройства и переключения клапанов. В случае выхода из строя обеих линий электрической дистанционной системы управления можно пользоваться местным управлением главными насосами с помощью штурвала (рукоятки) ИМ, воздействующего непосредственно на золотник 1.

При выходе из строя обоих главных насосов рулевой машиной можно управлять с помощью аварийного агрегата, состоящего из насоса 31 регулируемой подачи, электродвигателя с питанием от аварийной сети, гидрозамка 32, клапанов подпитки 33 и бака 34. Баки 23 и 34 пополняют с помощью ручного насоса 35 из запасной емкости 36.

Четырехплунжерный привод может работать при различных сочетаниях двух цилиндров: Ц3 и Ц1, Ц2 и Ц4, Ц1 и Ц2, Ц3 и Ц4, а также при действии всех четырех цилиндров. При этом должны быть переключены соответствующим образом (согласно существующим инструкциям) запорные клапаны цилиндров 13 – 16 и байпасные клапаны 17 – 20.

При плавании во льдах, навалах рулем на препятствие, сильных ударах волн о перо руля возникают значительные пики давления в силовом контуре, которые могут повредить руль и скрутить баллер руля. Для предотвращения такой серьезной аварии предусмотрен сдвоенный предохранительно – перепускной клапан 12, давление подрыва которого настраивают выше номинального (наибольшего эксплуатационного) давления на 25 – 50 %. При срабатывании этого клапана руль сползает с заданного положения, но обратная связь, расположенная в приборе РЦ, механически соединенная с баллером руля, задает сигнал в электрическую систему управления и далее через ИМ и гидроусилитель (1, 2) на главный насос для возвращения руля в заданное положение после снятия аварийного внешнего воздействия. Несмотря на наличие клапана 12 во всех современных конструкциях ГРМ, еще случаются серьезные аварии с рулевыми устройствами из-за отказа этого клапана по причине неправильного ухода за ним и очень редкой проверки его нормального срабатывания.

Резкое повышение давления в силовом контуре также опасно для главных насосов, поэтому для их защиты в системе предусмотрены сдвоенные предохранительные клапаны 6. У вспомогательных насосов также имеются свои предохранительные клапаны 24 и 27 от перегрузки. При выходе из строя одного из двух вспомогательных насосов предусмотрена их взаимозаменяемость путем открытия клапана 21.

При работе одного насоса возникают перетечки рабочей жидкости через другой насос, которые могут переполнять один из баков 23, поэтому предусмотрено их сообщение специальным трубопроводом.

Для проведения ремонтных и профилактических работ, заполнения гидросистемы рабочей жидкостью или ее удаления из системы предусматриваются различные переключения запорных клапанов, которые специально оговариваются в инструкции по эксплуатации ГРМ.

**Лопастная рулевая машина** (рис. 5.6). В состав рулевой машины входят следующие основные узлы и элементы: рулевой трехлопастный привод ЛПП; два главных насоса Н1 и Н2 регулируемой подачи аксиально – поршневого типа, приводимые в действие электродвигателями; рычажный механизм управления главными насосами (Р, 24, 25); гидроусилитель, состоящий из золотников 3 и гидроцилиндра ГЦ; блок предохранительных клапанов лопастного привода ПК; два гидрозамка ГЗ главных насосов; вспомогательные

насосы В1 и В2 постоянной подачи, приводимые в действие электродвигателями; блок клапанов БК3 электрогидравлической системы управления; аварийный агрегат АА с ручным насосом; бак Б и система гидравлических коммуникаций с необходимыми клапанами.

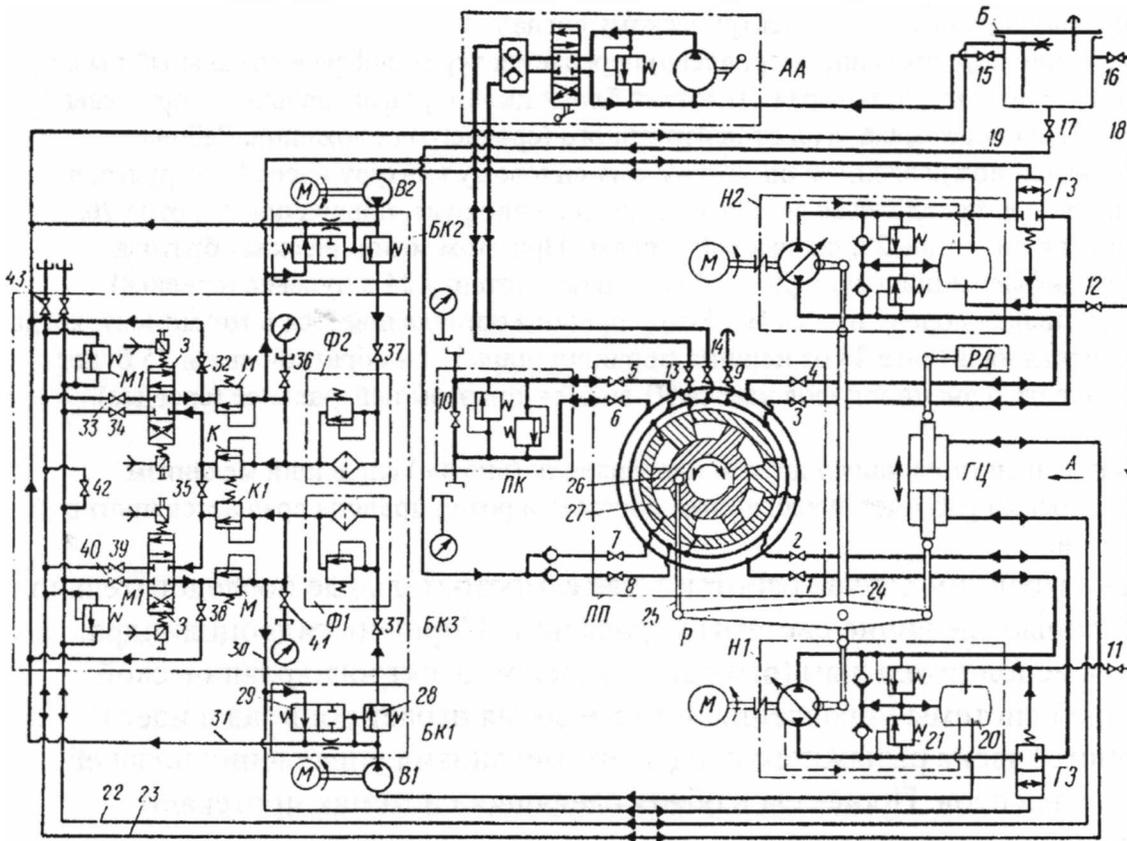


Рис. 5.6. Принципиальная гидравлическая схема лопастной ГРМ

Рулевая машина работает в следящем режиме, например, с главным насосом Н1 и вспомогательным В1, следующим образом. Электрический управляющий сигнал, возникающий при повороте штурвала на мостике, поступает на одну из двух электромагнитных катушек золотника 3. Он перемещается из среднего в одно из крайних положений (например, вправо, если смотреть по направлению электрического сигнала), открывая доступ рабочей жидкости от вспомогательного насоса В1 через клапаны БК1, 37, фильтр Ф1, редукционный клапан минимального давления К1, запорный клапан 39 в магистраль 23 питания исполнительного гидроцилиндра ГЦ, поршень которого начнет перемещаться влево (если смотреть по стрелке А), приводя в действие рычажный механизм управления главными насосами. Масло выходит из левой полости гидроцилиндра ГЦ по магистрали 22 через клапан 40, золотник 3, клапан 38 в бак Б.

Перемещение поршня гидроцилиндра воспринимается датчиком обратной связи РД, преобразуется им в пропорциональный по значению электрический сигнал противоположного управляющему сигналу знака и передается на суммирующее устройство электрической системы управления. Поршень останавливается в тот момент, когда суммарный сигнал (управляющий + обратная связь) станет равным нулю, катушка золотника 3 обесточится и золотник под действием пружины вернется в среднее положение, прекращая подачу масла от вспомогательного насоса В1 в магистраль гидроцилиндра ГЦ. Перемещение поршня пропорционально электрическому управляющему сигналу.

При повороте штурвала на некоторый угол в противоположном направлении управляющий сигнал поступает на вторую катушку этого же золотника 3. Он перемещается в другое крайнее положение (влево). При этом масло от насоса В1 подается через клапан 40 в

другую магистраль (см, направление стрелок на золотнике 3) гидроцилиндра ГЦ, поршень которого перемещается вправо, а масло из правой полости цилиндра выходит через клапан 39, золотник 3 и клапан 38 в бак Б. Работа датчика обратной связи РД осуществляется аналогичным образом, и в результате перемещение поршня вправо будет также пропорционально управляющему электрическому сигналу.

Перемещение поршня (например, влево) передается через дифференциальный рычаг Р на управляющую штангу 24, которая отклоняет блоки цилиндров аксиально – поршневых насосов Н1 и Н2 на некоторый угол от нейтрального (среднего) положения. Рабочая жидкость движется под давлением по замкнутому силовому контуру насос Н1 – рулевой лопастный привод и, преодолевая внешнее сопротивление руля, поворачивает ротор 26, расположенный в цилиндре 27, по часовой стрелке. При этом механическая обратная связь 25 через дифференциальный рычаг Р возвращает штангу 24 в нулевое (среднее) положение, уменьшая подачу насоса Н1. Ротор привода останавливается в тот момент, когда суммарный сигнал на штанге 24 от поршня гидроцилиндра ГЦ и обратной связи 25 будет равен нулю, то есть блок цилиндров насоса Н1 займет при этом нейтральное (среднее) положение.

При перемещении поршня в другом направлении (вправо) следящий механизм управления насосами работает аналогичным образом, а ротор привода вращается против часовой стрелки.

В рассмотренном случае работают две самостоятельные последовательно включенные следящие системы управления. Поршень гидроцилиндра, являясь исполнительным (выходным) звеном электрогидравлической следящей системы управления, в то же время играет роль задающего (входного) звена рычажного следящего механизма управления подачей главных насосов. Процессы в обеих следящих системах протекают практически одновременно.

В режиме автоматического управления рулевая машина действует по тому же следящему принципу – вместо рулевого работает авторулевой. На лопастных рулевых машинах допускается применение авторулевых тех же марок и систем, что и на плунжерных рулевых машинах.

Двухступенчатые следящие системы управления широко распространены в современных ГРМ. Иногда применяют трехступенчатые, однако увеличение числа ступеней ведет к усложнению систем управления и их обслуживания, к накоплению ошибок и снижению точности управления судном. Многоступенчатость систем управления вызывается необходимостью значительного усиления управляющего сигнала для перемещения регулируемого органа насосов.

Рассмотрим действие основных элементов и узлов ГРМ при различных эксплуатационных ситуациях и режимах работы. При отсутствии управляющего сигнала на золотнике 3 потоки рабочей жидкости от вспомогательных насосов В1 и В2 (при отдельной или совместной их работе) проходят через клапаны соответственно БК1 и БК2, фильтры Ф1 и Ф2, клапаны М максимального давления, запорные клапаны 32 и 38 в бак Б. Насосы В1 и В2 берут жидкость из емкостей 20, находящихся в корпусах главных насосов Н1 и Н2. Емкости пополняются из бака Б по магистрали 18. Регулированием клапанов М устанавливают наибольшее необходимое давление в системе управления гидроцилиндром ГЦ, например 1,5 – 2 МПа.

Гидрозамок ГЗ отключает неработающий главный насос от силовой магистрали, в противном случае он работал бы в режиме гидродвигателя под действием второго насоса, что приводило бы к сползанию руля и погрешностям в его управлении, падению давления в гидросистеме и отказу ГРМ.

Гидрозамки ГЗ управляются клапанами БК1 и БК2 следующим образом. Перед выходом в море одновременно с главным насосом включается в работу его вспомогательный насос (например Н1 и В1), поток масла от которого при давлении, установленном редукционным клапаном 28, перебрасывает золотник 29 в левое крайнее положение, перекрывая слив масла из магистрали 30 в трубопровод 31 и направляя его в корпус гидрозамка ГЗ. Под давлением масла сжимается пружина, открывается клапан гидрозамка, при этом насос Н1 сообщается с силовой магистралью лопастного привода. При выключении насосов Н1 и В1 золотник 29 перебрасывается пружиной в правое крайнее положение, и клапан гидрозамка ГЗ под действием своей пружины, выталкивая жидкость через золотник 29 на слив, закрывается.

Для надежной работы гидрозамков в гидросистеме установлены редукционные клапаны минимального давления К1 и К, создающие подпор рабочей жидкости (0,3 – 0,5 МПа), что необходимо в случае резкого падения давления (нагрузки) ниже 0,3 МПа в магистрали гидроцилиндра ГЦ.

Существуют различные конструкции гидрозамков и способы управления ими. В частности, в аналогичных ГРМ есть вариант электрического управления гидрозамками, а также механический способ торможения насосов с помощью храпового колеса.

Для повышения надежности лопастной ГРМ в гидравлической схеме предусмотрены: возможность переключения управляющих золотников З (с помощью клапана 35) и фильтров Ф1, Ф2; взаимозаменяемость главных и вспомогательных насосов, электродвигателей и клапанов; возможность местного управления ГРМ кнопками на золотниках З при выходе из строя электрической дистанционной системы управления или штурвалом на рычажном механизме при выходе из строя обоих вспомогательных насосов; возможность работы аварийным насосом АА при выходе из строя обоих главных насосов, а также защита от перегрузок всех основных узлов ГРМ.

При резком повышении давления в лопастном приводе (сильные удары волн о перо руля, навал льдин и т.д.) срабатывает сдвоенный предохранительно – перепускной клапан ПК и руль сползает, погашая внешнюю нагрузку. При этом обратная связь 25 включает в работу главный насос, и руль возвращается в заданное положение. Главные насосы защищены предохранительными клапанами 21, которые регулируют на давление, несколько большее, чем клапаны ПК.

Резкое сползание руля, заклинивание главных насосов и рычажного механизма могут вызвать скачок давления в цилиндре ГЦ. В таких случаях срабатывают клапаны М1. Вспомогательные насосы, фильтры и золотники защищаются клапанами М.

Возможны различные режимы работы ГРМ: с одним из двух или одновременно с обоими главными (или вспомогательными) насосами и с аварийным насосным агрегатом АА. Для проведения ремонтных работ и профилактических осмотров также предусмотрены различные варианты переключения в гидравлической системе. Основные возможные режимы и соответствующие положения запорных клапанов указываются в инструкции.

Например, клапаны 1 – 8, принадлежащие силовому контуру, должны быть всегда открыты при работе ГРМ. Клапан 9 служит для выпуска воздуха из силового контура при подготовке ГРМ к действию. Клапан 10 является байпасным. Он сообщает магистрали силового контура и используется при ремонтах и профилактических работах. Аналогичное назначение имеет клапан 42 контура управления ГЦ. Клапаны 32 – 34 используются аналогично клапанам 38 – 40 при работе вспомогательного насоса В2. Подпитка силового контура осуществляется с помощью магистрали 19, с клапанами 7, 8 и 17. При заполнении гидросистемы рабочей жидкостью используются клапаны 11, 12 и 16. Работа ГРМ в аварийном режиме обеспечивается агрегатом АА с клапанами 13 – 15. Для подсоединения манометров служат клапаны 36, 41, 43.

В гидросистемах лопастных ГРМ применяют качественные минеральные масла, примерно соответствующие турбинному 46, моторному Т и веретенному АУ.

**Двухконтурная рулевая машина.** Были рассмотрены гидравлические схемы типовых ГРМ, широко применяемых на сухогрузных судах. Однако несколько тяжелых аварий судов танкерного флота, связанных с отказами ГРМ, заставили пересмотреть коренным образом требования к их проектированию и эксплуатации. Так появились «Поправки 1981 г. к СОЛАС – 74», нашедшие отражение в Правилах Регистра СССР и нормативных документах зарубежных классификационных обществ.

В соответствии с новыми требованиями были разработаны отечественными организациями и зарубежными фирмами двухконтурные ГРМ, удовлетворяющие так называемому критерию «единичного отказа». Согласно ему единичное повреждение в гидравлической системе ГРМ должно быть локализовано автоматически (а также вручную) и восстановлена управляемость судна в течение 45 секунд. Новые требования распространяются на танкеры, химо- и газовозы водоизмещением 10 тыс. рег. т и более, а также сухогрузные суда водоизмещением более 70 тыс. рег. т.

Принципиальной особенностью гидравлической схемы отечественной двухконтурной ГРМ типизированного ряда (рис.5.7, см. рис.5.2) являются два идентичных силовых гидравлических контура. В каждый из них (например, левый) входят главный насос Н1 регулируемой подачи, два цилиндра Ц1, Ц2 четырехплунжерного рулевого привода, блок клапанов привода БК1, клапан кольцевания КК1, сдвоенный предохранительный клапан 3 насоса (в блоке БК3) и два гидрозамка ГЗ.

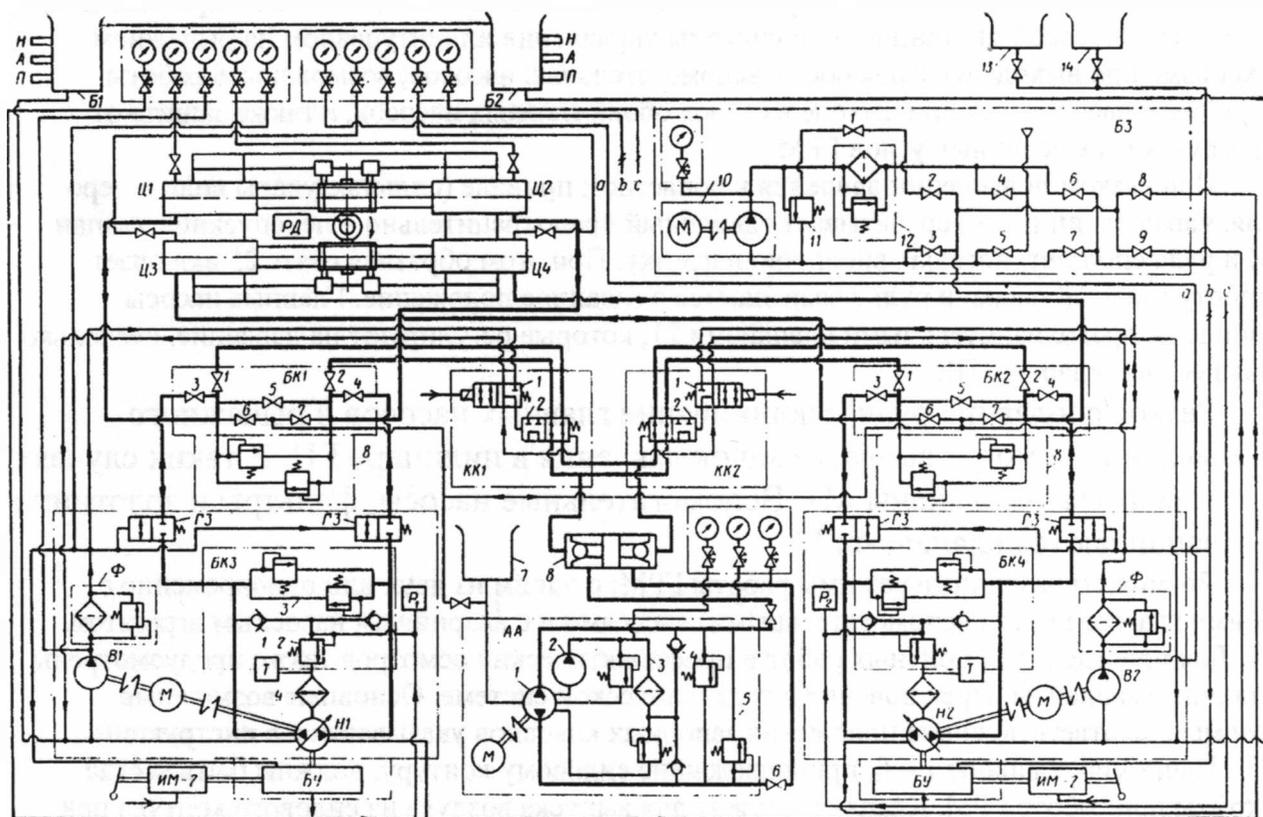


Рис. 5.7. Принципиальная гидравлическая схема двухконтурной ГРМ

В блоке БК1 располагаются запорные клапаны 1 – 7 и сдвоенный предохранительный клапан 8. Из них клапаны 1 – 4 постоянно открыты, а 5 – 7 – закрыты. Байпасный клапан 5 открывают при необходимости сообщения между собой соосных цилиндров (ремонт, аварийная ситуация), а клапаны 6 и 7 – при заправках и осушении привода. Клапан 8 обеспечивает защиту ГРМ и рулевого устройства при максимальных нагрузках (удар волны,

навал льдин), осуществляя автоматически перепуск рабочей жидкости из напорных цилиндров в сливные.

Гидрозамки ГЗ (отсечные клапаны) сообщают главный насос с силовым контуром при его включении и разобщают при выключении. Таким путем исключается вращение насоса в режиме гидродвигателя под действием напора, создаваемого другим насосом. Гидрозамки автоматически открываются давлением рабочей жидкости во вспомогательном контуре и закрываются пружинами при падении этого давления.

Клапаны кольцевания КК1 и КК2 служат для автоматического разобщения двух силовых контуров при аварийных утечках рабочей жидкости из гидросистемы. Каждый из них выполнен в виде блока, состоящего из вспомогательного золотника 1 с электроуправлением и основного золотника 2 с гидравлическим управлением от вспомогательного золотника 1.

Каждый силовой контур обслуживается вспомогательным гидравлическим контуром (управления и подпитки). Он (например левый) состоит из вспомогательного насоса В1 шестеренного типа с приводом от электродвигателя главного насоса, фильтра Ф, блока клапанов БКЗ, маслоохладителя 4 и дополнительного бака Б). Корпус насоса Н1 также является емкостью для рабочей жидкости. Фильтр Ф имеет предохранительный клапан, перепускающий рабочую жидкость при значительном засорении фильтра. В состав блока БКЗ входят подпиточные невозвратные клапаны 1 и предохранительный клапан 2.

Вспомогательный контур наряду с подпиткой обеспечивает работу средств гидроавтоматики: блока управления БУ подачей главного насоса, гидрозамков ГЗ и клапана кольцевания КК1. На трубопроводе подпитки установлен датчик давления  $p_1$ , который в случае падения давления (при больших утечках из системы) подает аварийный сигнал. В случае менее интенсивных утечек возникает также сигнал от датчика аварийного уровня А, установленного на баке Б1. На нем имеются еще два датчика уровней: нижнего Н и предельного П. Обобщенный сигнал «Неисправность гидросистемы» поступает на мостик в виде звукового и светового сигналов. Он также является управляющим электрическим сигналом для клапана кольцевания КК1 (аналогично КК2).

На центральный пост управления поступает обобщенный сигнал, сочетающий падение давления  $p_1$ , предельный уровень П в баке и максимальную температуру рабочей жидкости перед охладителем 4 (от датчика Т). Это позволяет контролировать работу ГРМ и принимать своевременные меры для обеспечения ее надежности.

Рассмотрим эксплуатационные особенности и возможности данной ГРМ.

Управляющий электрический сигнал при режимах «Автомат», «Следящий» или «Простой» поступает с мостика на прибор ИМ-2 и далее на блок управления БУ подачей насоса. Этот блок представляет собой следящую гидравлическую систему управления (см. далее). Значению и знаку управляющего сигнала соответствуют угол наклона люльки насоса, его подача и, следовательно, угол и направление перекладки руля.

При нормальной работе используют один главный насос (например Н1) и четыре цилиндра рулевого привода. Силовые контуры сообщены открытыми клапанами 1 – 4 в блоках БК1, БК2 и клапанами кольцевания КК1, КК2 (см. жирный контур), а насос Н2 отсечен от силового контура своими гидрозамками ГЗ.

В случае возникновения аварийного электрического сигнала он поступает на катушку золотника 1 клапана КК1 и сдвигает золотник вправо, преодолевая действие его пружины. Рабочая жидкость из контура управления поступает через открывшийся золотник 1 к торцу основного золотника 2 и сдвигает его вправо. Исполнение этого действия сигнализируется на мостик с помощью конечного выключателя. При этом левый силовой контур отсекается, оставаясь некоторое время работоспособным, а правый переходит на режим кольцевания, то

есть байпасирования цилиндров Ц3 и Ц4. В противном случае руль был бы заклинен гидравлическим затвором и наступил бы отказ ГРМ. Одновременно автоматически включается насос Н2, открываются его гидрозамки, но он работает сам на себя, так как забайпасирован золотником 2 клапана КК1.

Далее происходит поиск неисправности. Если негерметичность оказалась в контуре насоса Н2, то датчик  $p_2$  показывает пониженное давление, а давление  $p_1$  в контуре подпитки насоса Н1 стабилизируется. При этом щит управления выдает сигнал на остановку насоса Н2. Если же место утечки находится в контуре насоса Н2, то стабилизируется давление в контуре управления насоса Н2. Тогда поступает сигнал на отключение насоса Н1 и его клапана КК1, а клапан КК2 включается. При этом золотник 2 клапана КК2 отсекает исправный силовой контур насоса Н2 от неисправного контура Н1. ГРМ остается работоспособной. Руль переключается с удвоенной скоростью и развивает момент, меньший в 2 раза.

При отказе автоматической системы разделения силовых контуров возможно ручное дистанционное разделение с мостика, а при отказе последней системы это возможно в румпельном помещении на щите управления или рукояткой на самих клапанах КК1 и КК2. Разумеется, рассмотренная автоматическая система обеспечивает поддержание частичной работоспособности ГРМ при единичной неисправности в одном из силовых контуров, но этого может оказаться достаточно для предотвращения аварии судна (столкновения, посадки на мель и т.д.). Одновременно должны быть предприняты энергичные меры для восстановления полной работоспособности ГРМ, а именно: необходимо устранить негерметичность и заполнить гидросистему рабочей жидкостью. Для этой цели предусмотрен блок заправки БЗ, состоящий из насосного агрегата 10, предохранительного клапана 11, фильтра 12, клапанов 1 – 9 и двух резервных цистерн 13 и 14, заполненных рабочей жидкостью и оборудованных необходимыми стационарными трубопроводами. При нормальной эксплуатации блок заправки БЗ также может быть использован для заправки и осушения гидросистемы.

Аварийный агрегат АА состоит из насоса 1 регулируемой подачи, вспомогательного насоса 2 постоянной подачи, фильтра 3, подпиточных невозвратных клапанов 4, сдвоенного предохранительного клапана 5, запорных клапанов 6 и емкости 7 рабочей жидкости. Такой агрегат устанавливают на судне, если главный и вспомогательный рулевые приводы находятся в помещении, полностью или частично расположенном ниже самой высокой грузовой ватерлинии. Сам агрегат расположен в помещении выше палубы переборок. Он должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля при скорости переднего хода не менее 4 уз. Как видим, аварийный агрегат не дублирует двухконтурную ГРМ. Он предназначен для обеспечения частичной управляемости судна на малом ходу в случае полного выхода из строя (например при заливе румпельного помещения) ГРМ.

В данных рулевых машинах используют рабочую жидкость – масло Т46. Допускается замена: Тп46, веретенное АУ, индустриальное И-20А, а также АУП. Рабочая температура 3 – 59 °С, максимальная (в течение не более 10 мин) – 70 °С.

На схеме (см. рис.5.7) обозначены буквами а, б, с манометровые трубы, причем линии б и с имеют разрывы для ее упрощения.

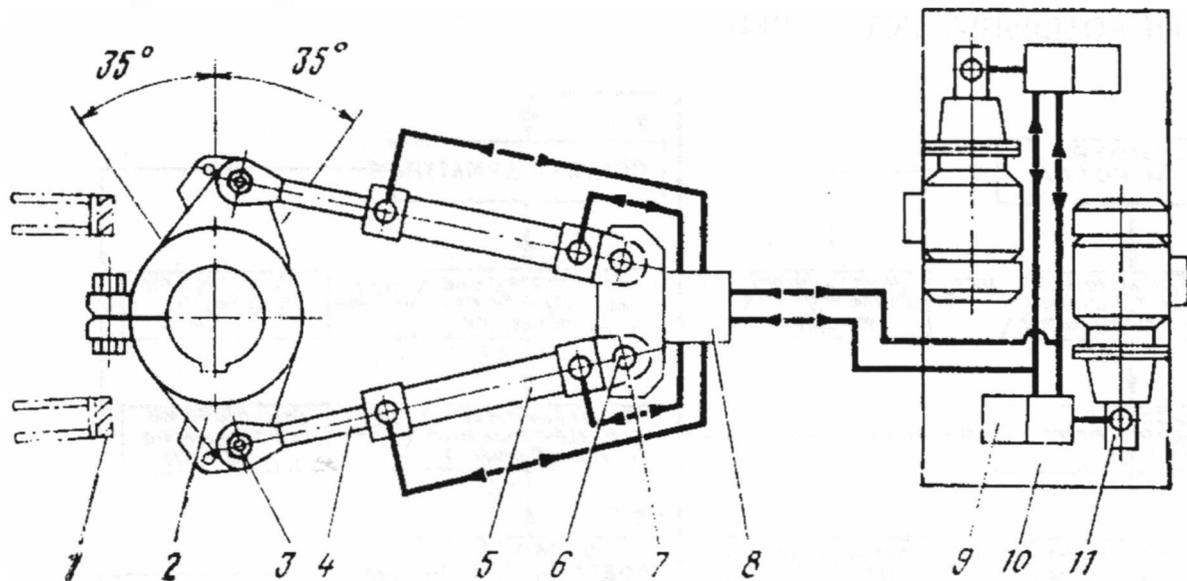


Рис. 5.8. Компоновка поршневой ГРМ

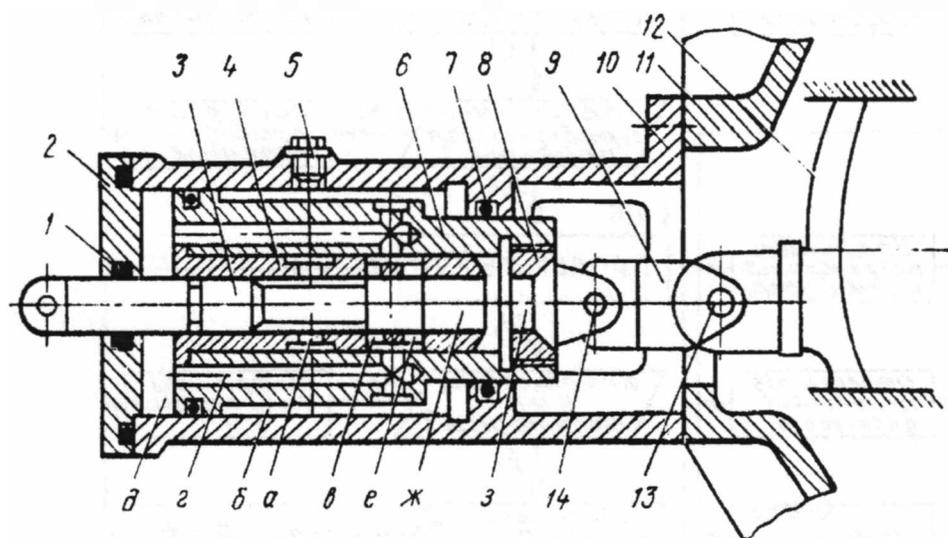


Рис. 5.9. Принципиальная схема следящего гидроусилителя насоса МНП-0,14-6

# СУДОВЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

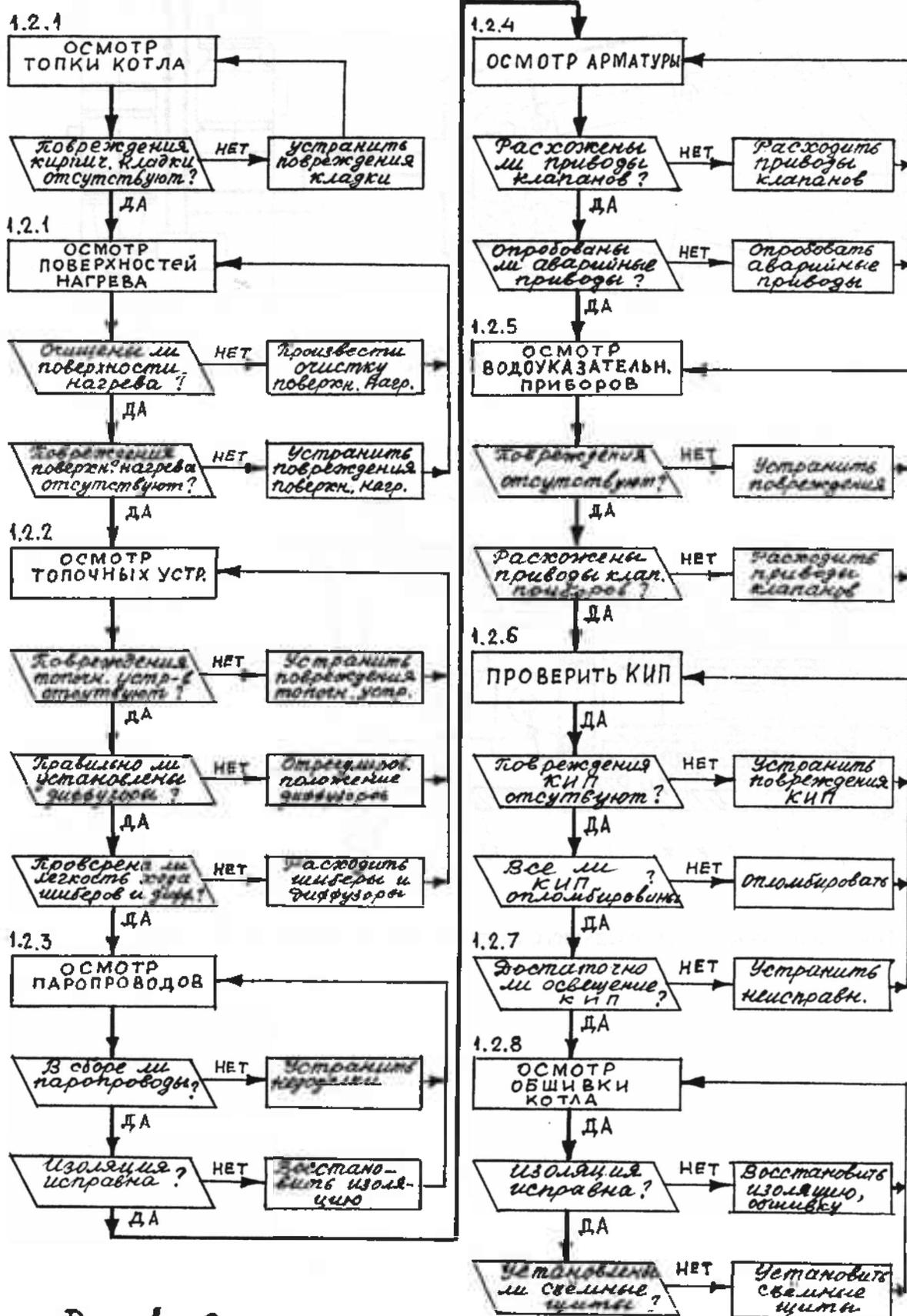


Рис. 1. Осмотр котельной установки

1.2.2

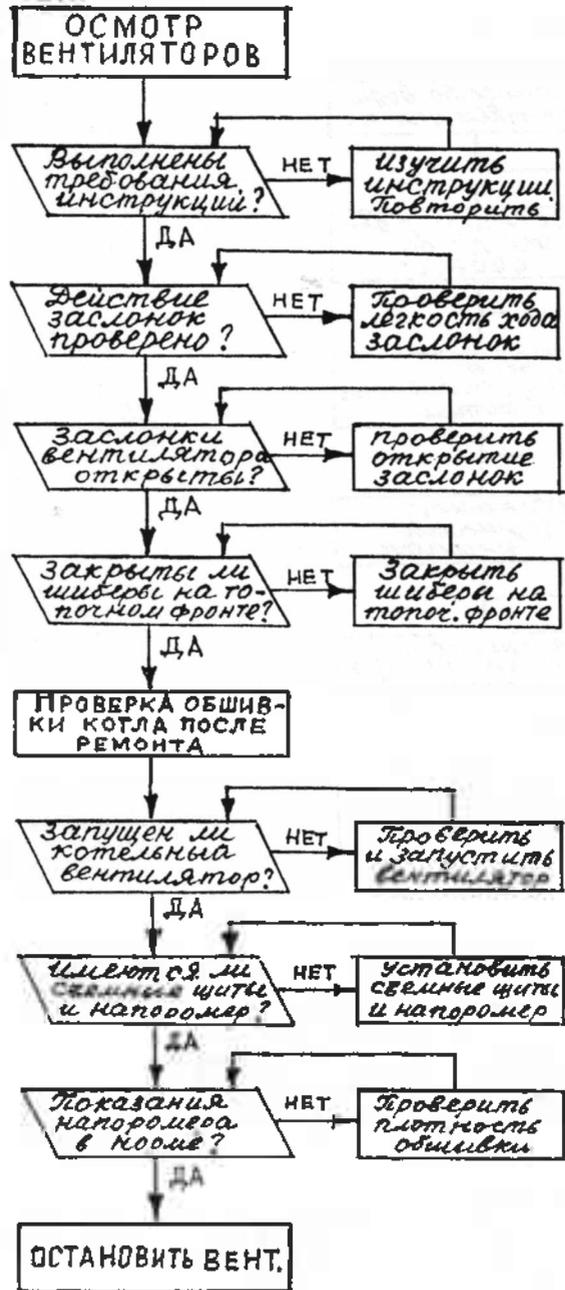


Рис. 2. Подготовка к действию котельных вентиляторов.

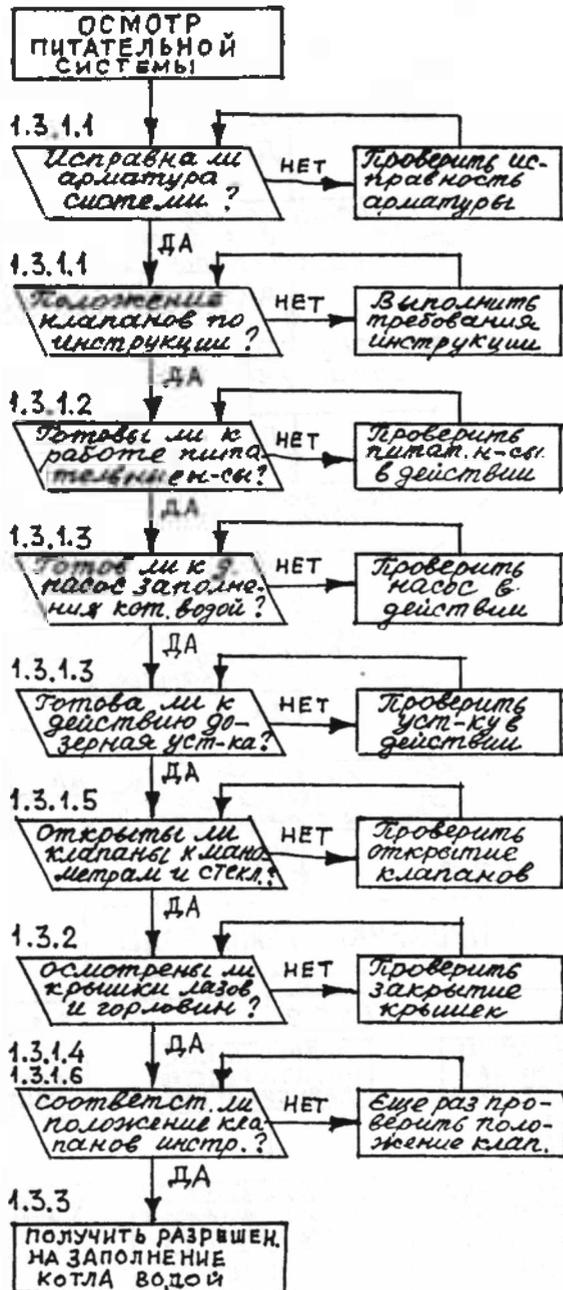


Рис. 3. Подготовка питательной системы

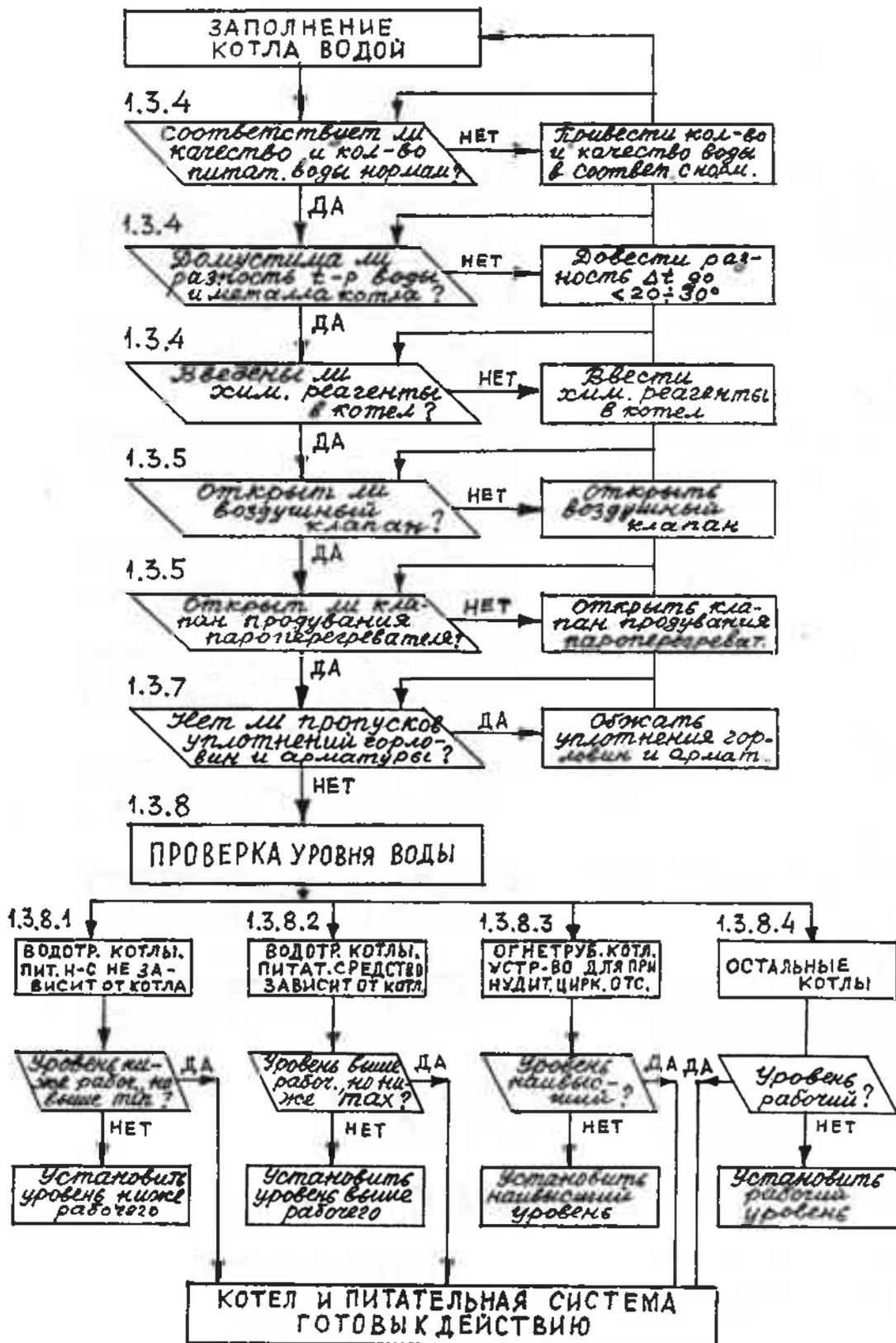
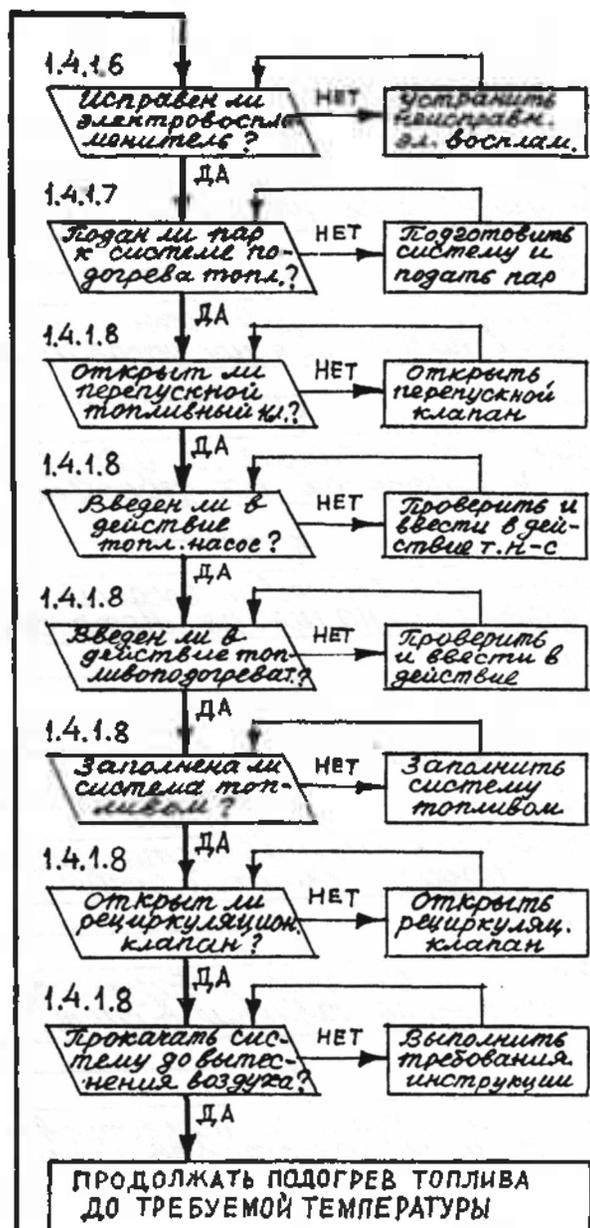
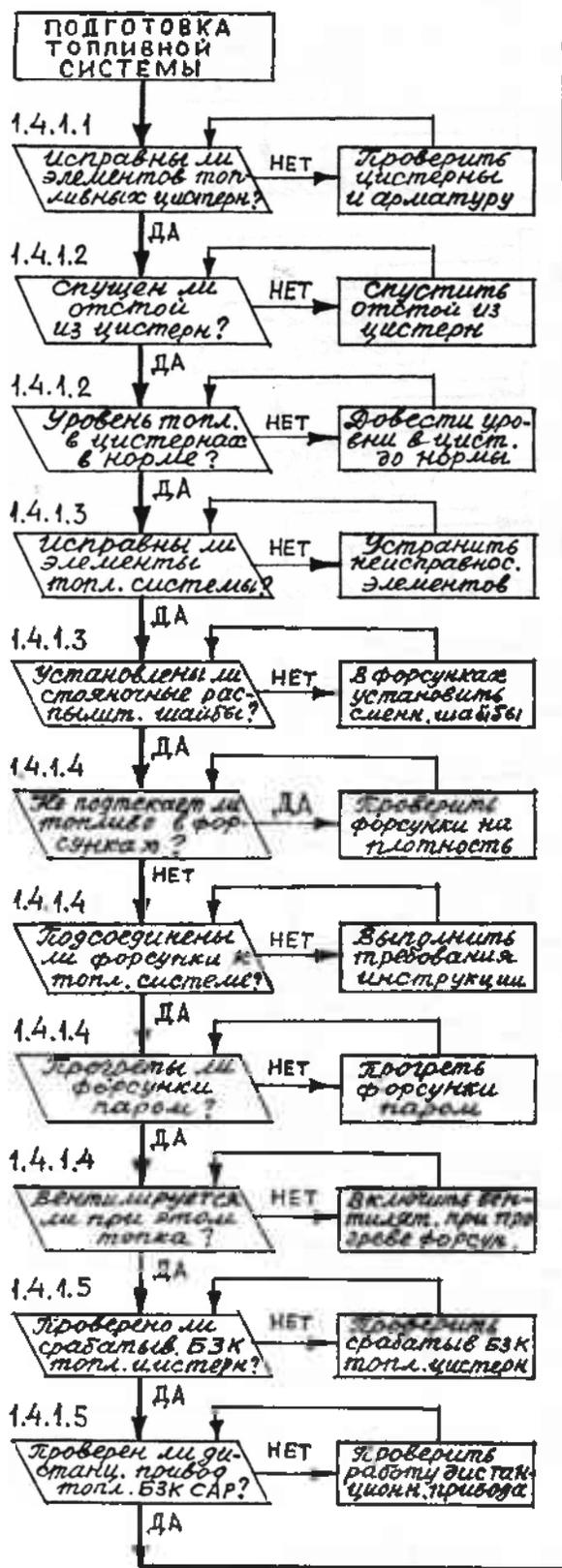


Рис.4. Заполнение котла водой



**Рис.5. Подготовка  
топливной  
системы**

1.5.1.1

Убедитесь в отсутствии повреждений САР и КИП

ДА  
САР И КИП  
ИСПРАВНЫ?

1.5.1.2

Проверить правильность подвода  
испытываемых тр-дов к регул. и датч.

ДА  
Проверили?

1.5.1.3

Установить регуляторы и их  
устр. в полет. "Ручное управление"

ДА  
Выпол-  
нено?

1.5.1.4

Включить питание на ЦХУ, САР,  
ДАУ и проверить их действие

ДА  
Выпол-  
нено?

1.5.1.5

Проверить действие средств за-  
щиты и сигнализ. по инструкции

ДА  
Проверили?

1.5.1.6

Открыть запорные клапаны  
на трубопроводах к регулятор.

ДА  
Выпол-  
нено?

1.5.1.6

Проверить исправность устр-в  
подачи рабочей среды

ДА  
Проверили?

1.5.1.7

Подать в систему рабочую среду  
и проверить давление в сист.

ДА  
Выполнено?

1.5.1.7

Удалить воздух из трубопрово-  
дов и сервомоторов САР

ДА  
Выполнено?

1.5.1.7

Проверить плавность хода и  
отсутствие заеданий сервомоторов

ДА  
Проверили?

1.5.1.7

По шкале указателя хода про-  
верить полноту открытия клапанов

ДА  
Выполнено?

Средства САР готовы к действию

Рис.6. Подготовка средств автоматизации

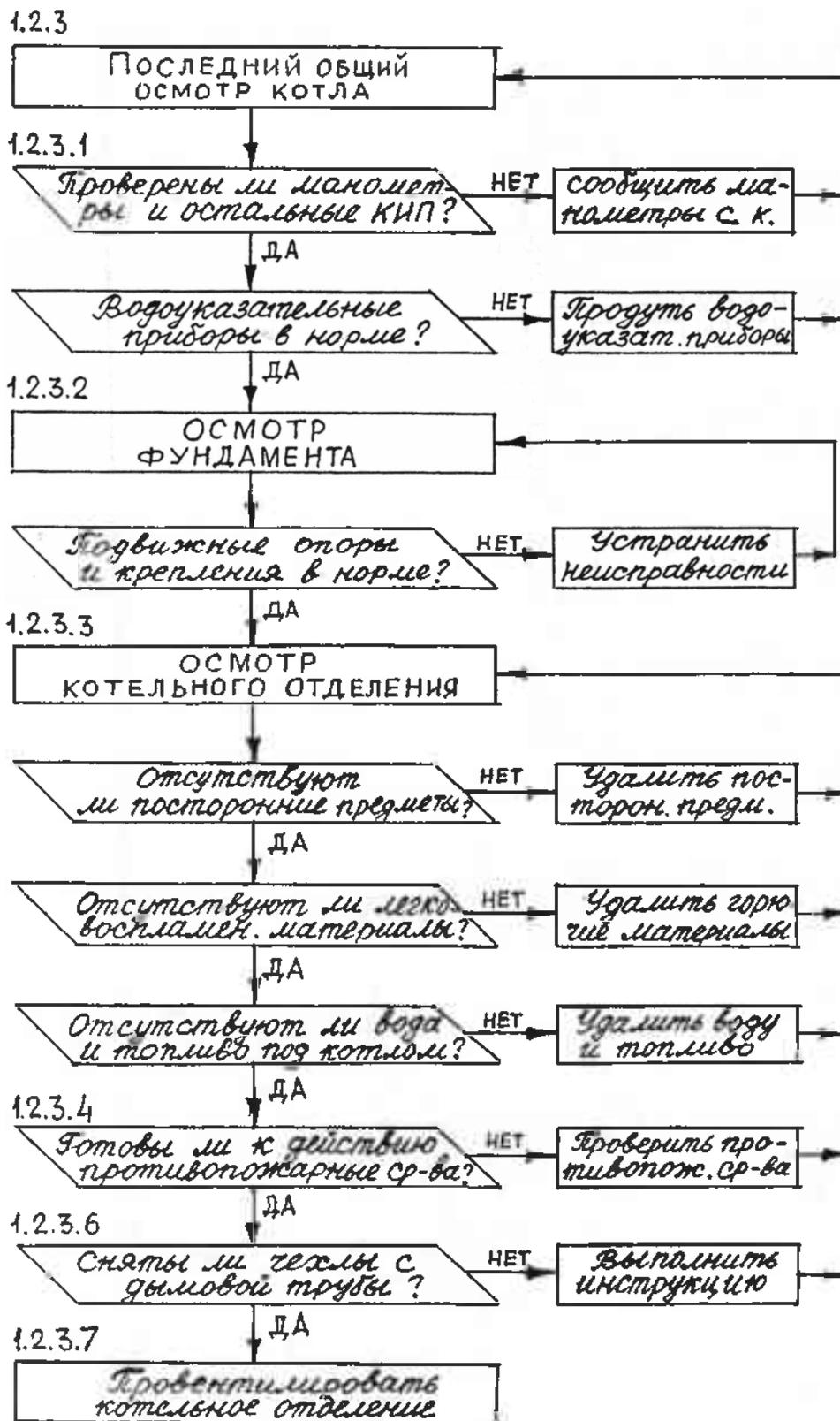


Рис.7. ПРОВЕРКА КОТЛА НЕПОСРЕДСТВЕННО ПЕРЕД РОЗЖИГОМ

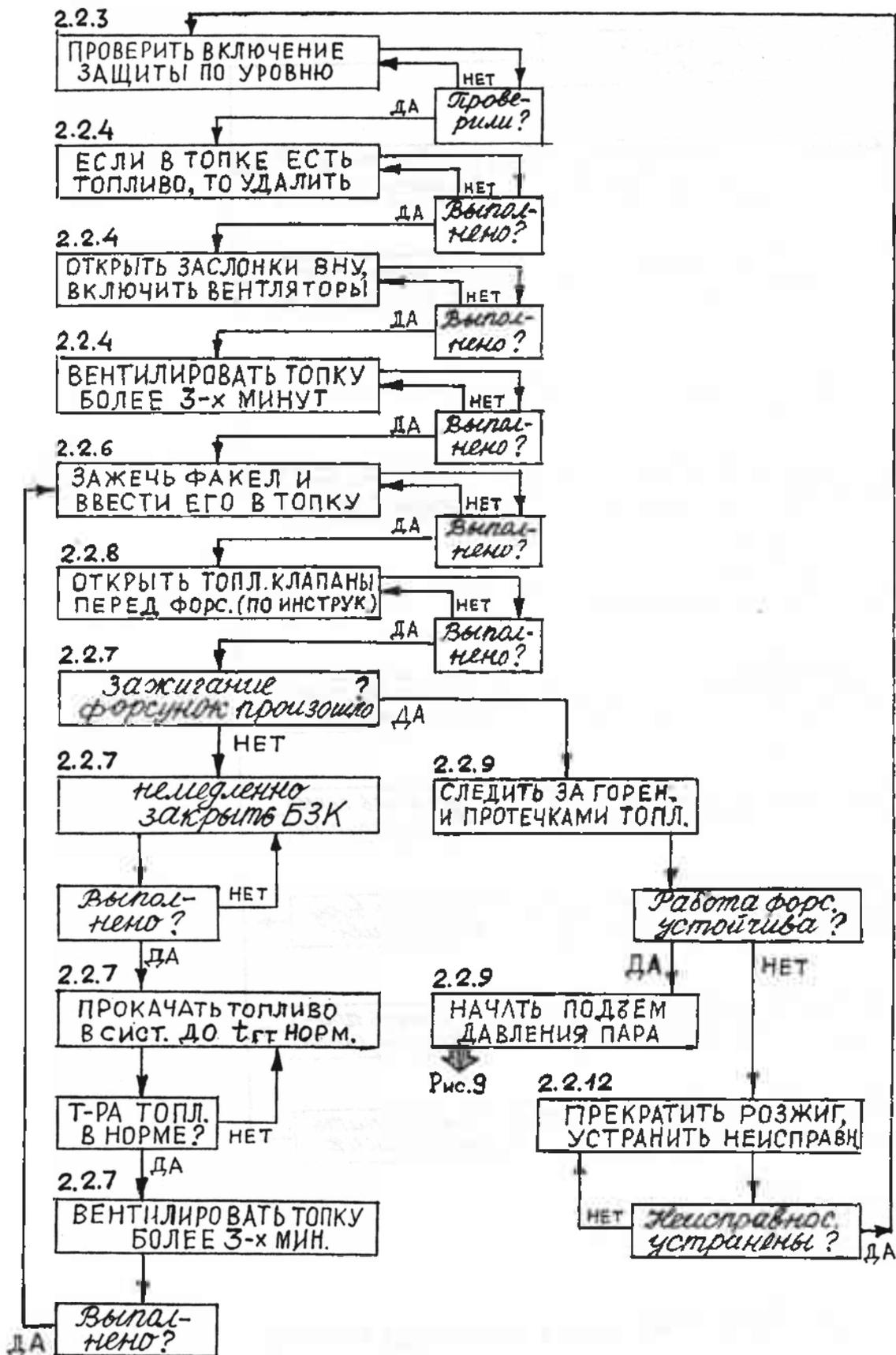


Рис.8. Разводка огня

2.2.12

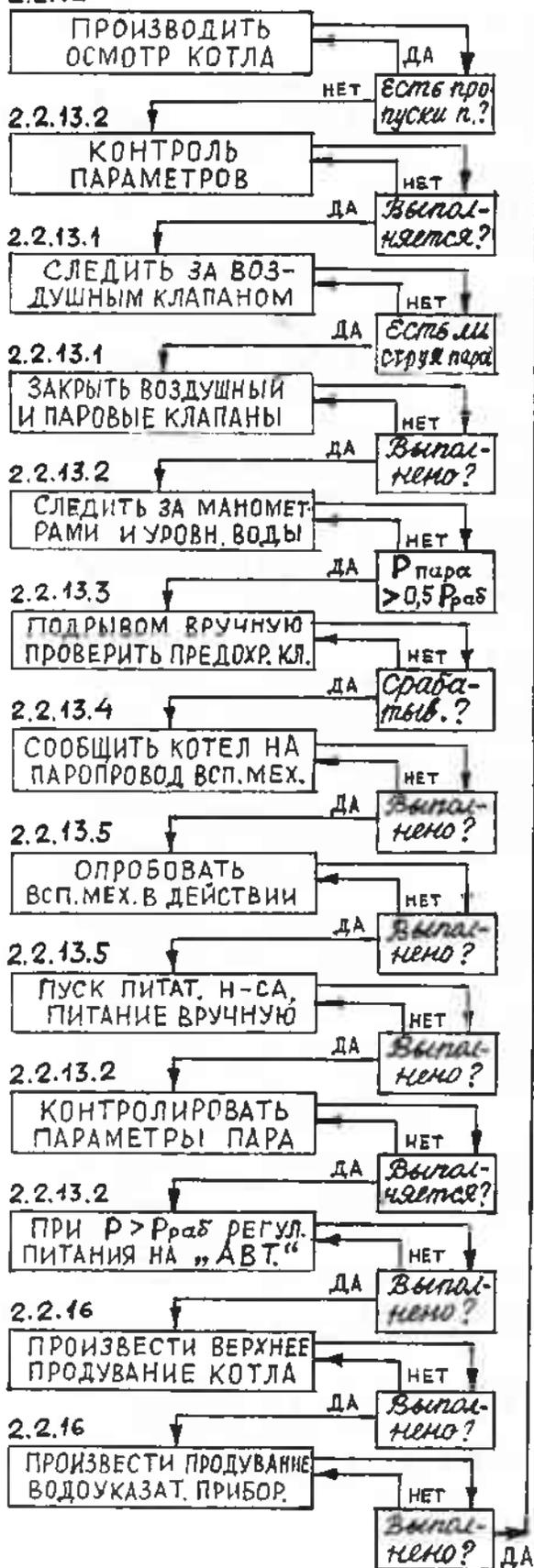


Рис.9. ПОДЪЕМ ПАРА

2.3.1

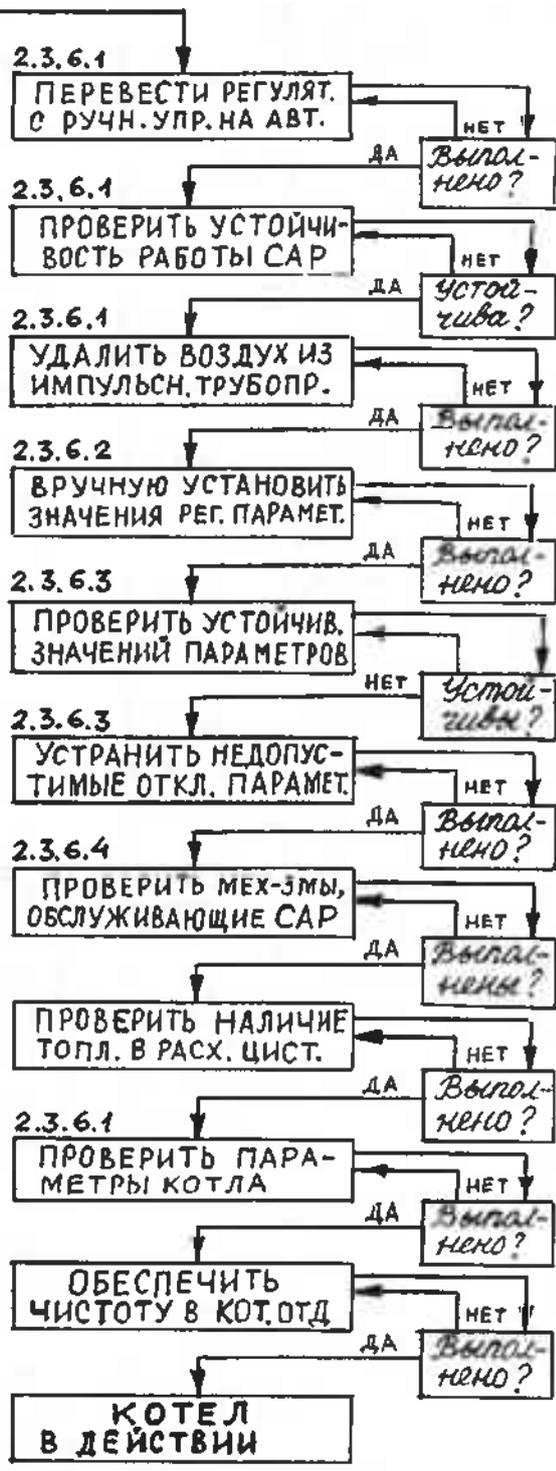
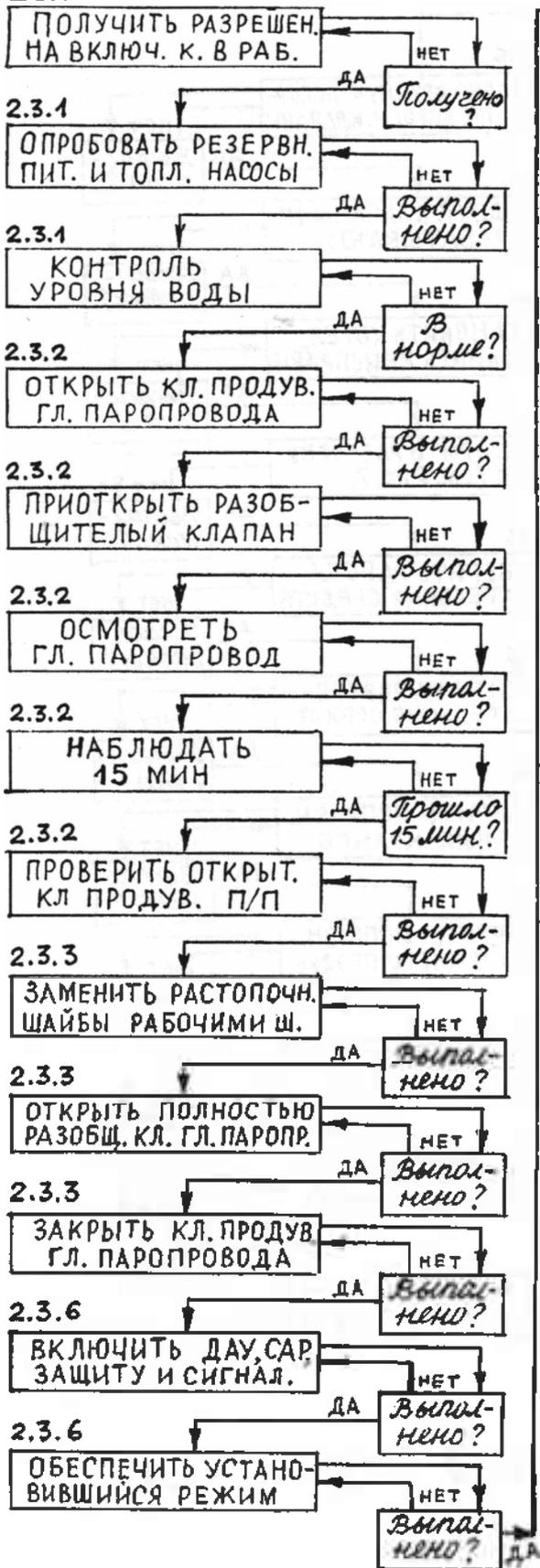


Рис. 10. Включение котла в работу

## **РАЗДЕЛ II**

# **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОНИКА**

# СУДОВЫЕ СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО МОСТОВОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ( схема Ларионова А.Н. )

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение основных характеристик, свойств и электромагнитных процессов шестипульсационной мостовой схемы выпрямления с полупроводниковыми вентилями.

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выпрямитель (рис.1) состоит из питающего трансформатора TV, шести неуправляемых вентилях, активного сопротивления нагрузки  $R_d$  и индуктивного сопротивления нагрузки  $L_d$ . Обмотки трансформатора могут быть соединены по схеме "звезда-звезда" или "звезда-треугольник" (чаще вторичные фазовые обмотки питающего трансформатора соединяются в звезду). На выходе выпрямителя может быть включен фильтр.

Вентили (диоды) соединены между собой по мостовой схеме, причем вентили VD1, VD3, VD5 образуют анодную группу вентилях, а вентили VD2, VD4, VD6 - катодную группу. Общая точка катодной группы представляет положительный полюс выпрямителя, а общая точка анодной группы - отрицательный полюс выпрямителя.

В каждый момент времени, за исключением интервалов коммутации, проводит ток один вентиль анодной группы и один вентиль катодной группы. Причем в катодной группе проводит тот вентиль, анод которого имеет наиболее положительный потенциал относительно общей точки катодов, а в анодной группе проводит тот вентиль, потенциал которого наиболее отрицателен по отношению к общей точке анодов. Интервал проводимости вентилях  $\lambda$  без учета угла коммутации  $\gamma$  составляет  $2/3 \pi$  (120 эл.градусов).

Число пульсаций выпрямленного напряжения за период питающего напряжения равно шести, т.е.  $m = 6$ , и частота основной гармоники составляет 300 Гц (при частоте сети  $f_c$ , равной 50 Гц), а коэффициент пульсации равен 0,057.

Среднее значение выпрямленного напряжения равно:

$$U_{d0} = 2,34 U_{2\phi} = 1,35 U_{2л}$$

где  $U_{2\phi}$  ( $U_{2л}$ ) - действующее значение фазного (линейного) вторичного напряжения трансформатора.

Например, если на вход выпрямителя подается линейное напряжение 220 В, то на выходе выпрямителя напряжение равно 297 В.

Приведем расчетные соотношения, необходимые для выбора вентилях.

Вентили в закрытом состоянии находятся под воздействием линейного вторичного напряжения трансформатора. Поэтому максимальное значение обратного напряжения, приложенного к вентилю, определяется выражением:

$$U_{в.обр. max} = U_{2л max} = 1,41 U_{2л} = 1,045 U_{d0}$$

Средне значение тока, протекающего через вентиль, определяется выражением:

$$I_{в. ср} = \frac{I_d}{3}$$

где  $I_d$  - среднее значение выпрямленного тока.

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_T = 3 (U_{1\phi} I_{1\phi} + U_{2\phi} I_{2\phi}) / 2 = 1,045 P_d, \text{ где } P_d = U_d \cdot I_d$$

Действующее значение тока во вторичной обмотке трансформатора:

$$I_2 = 0,82 I_d$$

Действующее значение тока в первичной обмотке трансформатора:

$$I_1 = k_T \cdot I_2$$

где  $k_T$  - коэффициент трансформации трансформатора, равный  $U_2/U_1$ .

На рис.2 приведены временные диаграммы напряжений мостового трехфазного неуправляемого выпрямителя, а на рис.3 - его внешняя характеристика.

Внешняя характеристика выпрямителя  $U_d = f(I_d)$  имеет несколько на-

клонный характер по причине падения напряжения в диодах и соединительных проводниках и явления коммутации и определяется уравнением:

$$U_d = U_{d0} - \Delta U_R - \Delta U_{\gamma}$$

где  $\Delta U_R$  - падение напряжения в диодах и соединительных проводниках;

$\Delta U_{\gamma}$  - потеря напряжения, обусловленная явлением коммутации.

КПД выпрямителя определяется из соотношения:

$$\eta = (U_d \cdot I_d) / P_1$$

где  $P_1$  - показания ваттметра  $PW_1$ .

Коэффициент мощности питающей сети ( $\cos \varphi$ ) определяется из соотношения:

$$\cos \varphi = P_1 / S_1$$

где  $S_1$  - полная мощность, потребляемая из сети переменного тока выпрямителем, равная  $S_1 = 1,73 U_1 \cdot I_1$

На рис. 4 приведены кривые выпрямленного напряжения при нормальном и несимметричном режиме работы выпрямителя (при дефектах вентилей типа "обрыв"). Обрыв диода имитируется посредством разрыва цепи соответствующего плеча моста (см. рис. I выключатели SA1 - SA5).

При групповом соединении вентилей (последовательное или параллельное соединение вентилей в одном плече) необходимо контролировать степень неравномерности их нагрузки. Для этого одно плечо выпрямителя (рис. I) состоит из двух последовательно включенных вентилей, а другое - из двух параллельно включенных вентилей (для удобства замеров вместо предохранителей FU1, FU2 поставлены шунты RS1, RS2).

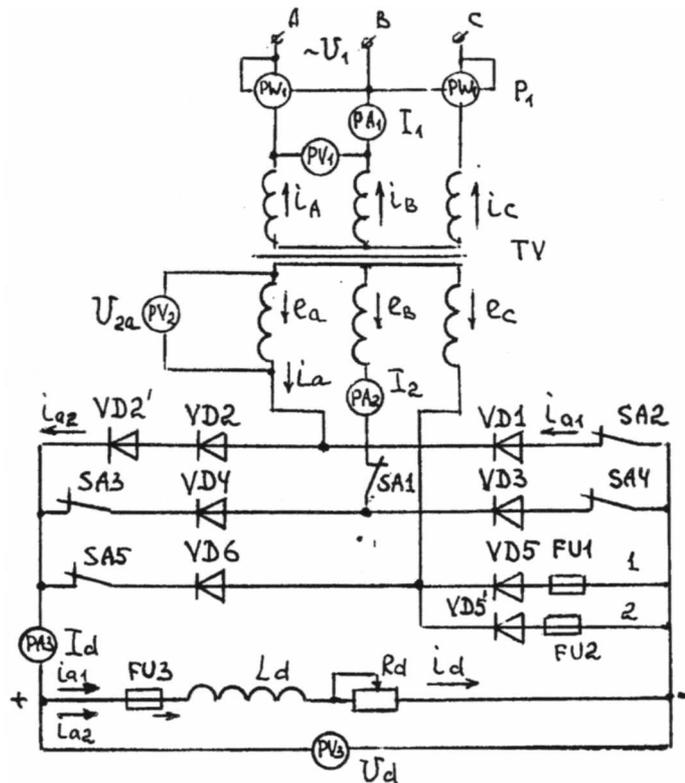


Рис. I. Схема трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя

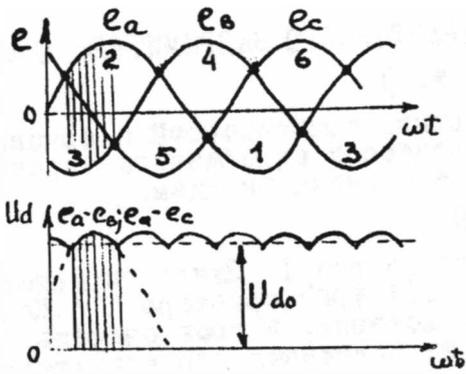


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений

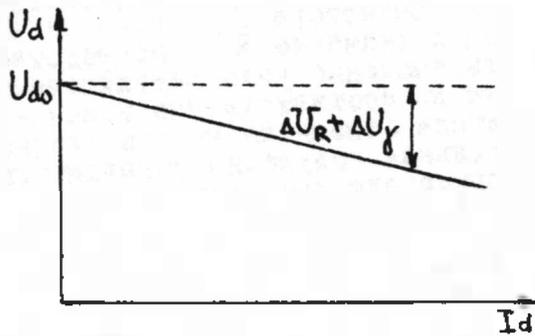


Рис. 3. Внешняя характеристика

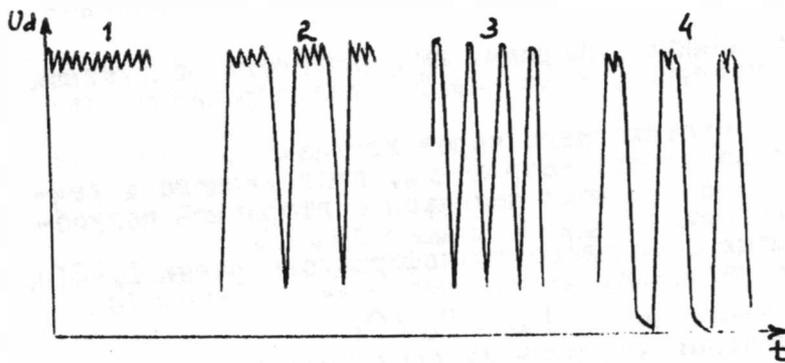


Рис. 4. Кривые выходного напряжения трехфазного мостового выпрямителя в нормальном и несимметричном режимах:  
 1 - нормальный режим;  
 2 - обрыв одного диода;  
 3 - обрыв двух диодов одной фазы (или обрыв фазы питающей сети);  
 4 - обрыв двух диодов одной группы или трех диодов разных групп.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ ( схема Миткевича В.Ф. )

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение характеристик, особенностей и основных электромагнитных процессов однофазного управляемого выпрямителя ( УВ ) с нулевым выводом.

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Схема выпрямителя представлена на рис.1. Здесь тиристоры  $VS_1, VS_2$  включены в цепи обмоток II, III трансформатора TV. Катоды тиристоров соединены в одну точку, которая, в свою очередь, соединена с нагрузкой. В зависимости от положения переключателя SA1 нагрузка может быть активной ( резистор  $R_d$  ) или смешанной ( резистор  $R_d$  и дроссель  $L_d$  ). Нагрузка подключена между средней точкой трансформатора TV и общей точкой катодов тиристоров. Значения активного сопротивления нагрузки и соответственно выпрямленного тока определяются положением движка резистора  $R_d$ .

Угол регулирования  $\alpha$  ( и соответственно средние значения выпрямленного напряжения  $U_d$  и тока  $I_d$  ) изменяется посредством статического фазовращателя, который представляет собой мостовую схему. Двумя плечами мостовой схемы являются обмотки IV и V трансформатора TV, а два других плеча составлены из резистора  $R_\varphi$  ( цепочки  $R_1 - R_2$  ) и конденсатора C1 ( рис.2 ). Меняя значение  $R_\varphi$  ( посредством переключателя SA2 ), можно изменять значение угла регулирования. При изменении значения сопротивления  $R_\varphi$  соответственно изменяется фаза выходного напряжения фазовращателя относительно его входного синусоидального напряжения. Отрицательная полуволна управляющего синусоидального напряжения от фазовращателя проходит на входы транзисторов VT1 и VT2 усилителей-формирователей, а положительная полуволна ограничивается диодами VD5, VD6. Транзисторы работают в режиме насыщения ( ключевом режиме ), кривая выходного напряжения  $U_c = U_{вых}$  имеет вид трапеции ( рис.3 ). После дифференцирования посредством RC-цепей ( C4, R3 и C5, R9 ) положительные импульсы напряжения подаются на управляющие электроды ( УЭ ) тиристоров  $VS_1$  и  $VS_2$ .

Для данной схемы УВ среднее значение выпрямленного напряжения при активной нагрузке определяется выражением:

$$U_d = U_{d_0} (1 + \cos \alpha) / 2$$

а при существенно индуктивном характере нагрузки:

$$U_d = U_{d_0} \cdot \cos \alpha$$

где  $U_{d_0} = 0,9 U_2$  и представляет среднее значение выпрямленного напряжения при  $\alpha = 0$ .

На рис.4 приведены временные диаграммы выпрямленного напряжения при различном характере нагрузки, а на рис.5 - регулировочные характеристики  $U_d = f(\alpha)$ .

Среднее значение тока, протекающего через вентиль:  $I_{a,cr} = I_d / 2$

Максимальное значение обратного напряжения, приложенного к вентилю, равно двукратному максимальному напряжению вторичной полуобмотки питающего трансформатора:  $U_{b,обр} = 2 U_{2,max} = 2,82 U_2$

Типовая мощность питающего силового трансформатора равна  $I_d \cdot 48 R_d$ , где  $P_1 = I_{d_0} U_{d_0}$  - мощность нагрузки, где  $I_{d_0}$  - номинальное значение  $I_d$ .

КПД УВ определяется выражением:  $\eta_{30} = P_d / P_1$

где  $P_1$  - потребляемая активная мощность из сети переменного тока определяется по показаниям ваттметра  $P_{W_1}$ .

Пульсность схемы однофазного 2-х полупериодного выпрямления равна двум ( $m = 2$ ) и, следовательно, частота основной гармоники ( $f_{ог}$ ) выпрямленного напряжения равна двойной частоте сети ( $f_c$ ), т.е. при частоте сети равной 50 Гц  $f_{ог} = 100$  Гц. Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения ( $\alpha = 0$ ) равен 0,67.

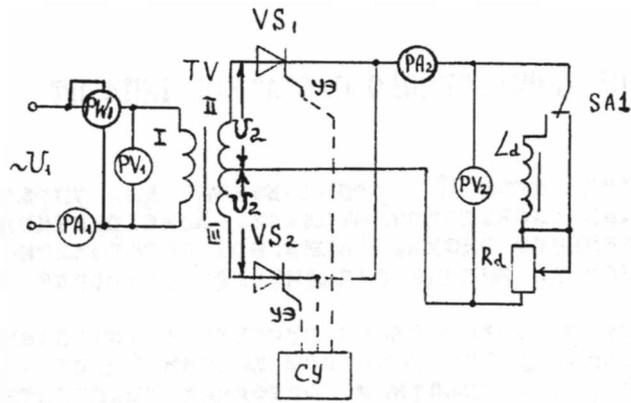


Рис. 1. Схема однофазного управляемого выпрямителя с нулевым выводом (главная цепь)

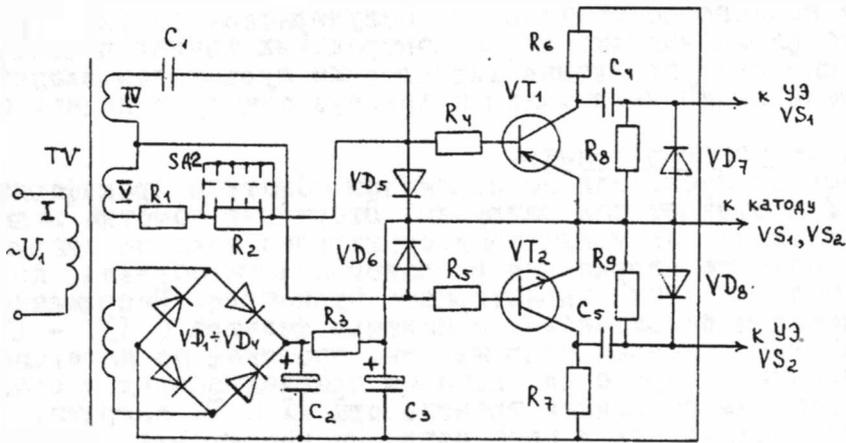


Рис. 2. Схема управления тиристорами

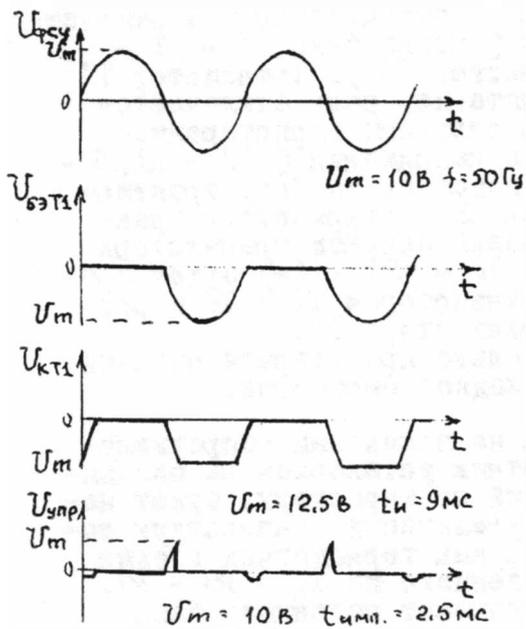


Рис. 3. Карта напряжений в цепях системы управления

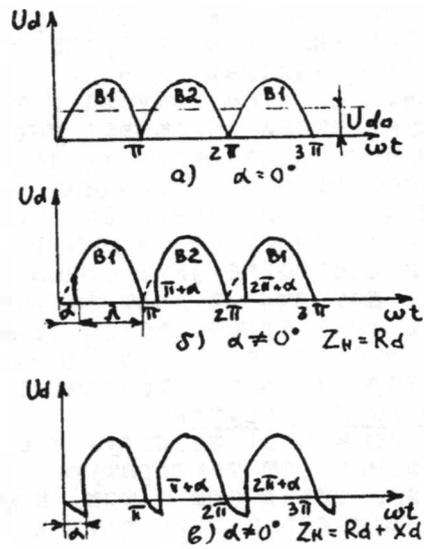
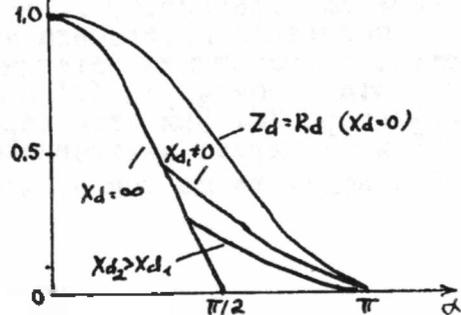


Рис. 4. Временные диаграммы  $U_d/U_{d0}$

Рис. 5. Регулировочная характеристика



## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТИРИСТОРНОГО ПУСКАТЕЛЯ ТИПА ПТ

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тиристорные пускатели типа ПТ предназначены для управления трехфазными асинхронными электродвигателями. Конструктивно пускатель выполнен в виде единого блока. Тиристоры установлены на медные охладители. На одном из нижних охладителей закреплен термодатчик  $T_d$ .

Принципиальная электрическая схема пускателя приведена на рис. 1. Включение пускателя производится нажатием кнопки "Пуск". При этом включается реле Р, так как в исходном состоянии транзистор Т3 открыт (цепь: И1 - Д4 - Д6 - Д7 - эмиттер - база транзистора Т3 - R12 - R11 - I2). При замыкании контактов Р будут формироваться импульсы управления тиристорами (ВУ1 + ВУ2) из анодного напряжения. Они будут поступать на тиристоры синхронно с напряжением сети в начале каждого положительного полупериода. На рис. 2 приведены временные формы напряжений на контрольных точках пускателя.

В состав системы управления тиристорным пускателем входит блок защиты, обеспечивающий максимальную токовую защиту и защиту от перегрузок.

#### Максимальная токовая защита.

При включенном пускателе по первичным обмоткам трансформаторов тока ТТ1 и ТТ2 протекает ток нагрузки. Вторичные обмотки включены встречно-параллельно для увеличения суммарного тока на нагрузочный резистор R13, падение напряжения на котором, таким образом, пропорционально току нагрузки тиристорного пускателя. Напряжение на R13 выпрямляется и сглаживается с помощью фильтра (R10 - C3). Ток, созданный выпрямленным напряжением, протекая по потенциометру R6, создает падение напряжения, которое прикладывается к стабилитрону Cт2. В исходном состоянии транзисторы Т1 и Т2 закрыты.

При коротком замыкании в цепи нагрузки напряжение, снимаемое с потенциометра R6, становится больше напряжения стабилизации стабилитрона Cт2 и на базу Т1 подается отрицательный потенциал по сравнению с потенциалом эмиттера. Транзистор Т1 открывается и шунтирует эмиттерно-базовый переход транзистора Т3 (цепь: база Т3 - Д1 - коллектор Т1 - эмиттер Т1 - Д6 - Д7 - эмиттер Т3). Транзистор Т3 закрывается. При этом катушка Р теряет питание, реле отключается и своими контактами отключает управление силовыми тиристорами.

С открытием транзистора Т1 по делителю напряжения (Д2 - R1, R2 - R7, R8) потечет ток. Потенциал точки 3 подается на базу транзистора Т2. При этом пробивается стабилитрон Cт1, открывается транзистор Т2 и по цепи: (+) - эмиттерно-базовый переход транзистора Т1 - R3 - коллекторно-эмиттерный переход Т2 - Cт1 - (-) будет протекать ток, который не даст закрыться транзисторам Т1 и Т2 и расшунтировать эмиттерно-базовый переход транзистора Т3.

Это является своего рода "памятью". Только при разрыве питания трансформатора Тр схема возвратится в исходное состояние.

#### Защита от перегрузок.

Работа защиты от перегрузок основана на изменении сопротивления термодатчика от температуры. Термодатчик установлен на охладителе силового тиристора и ток, протекающий по тиристорам, будет нагревать охладитель и термодатчик  $T_d$ . При увеличении температуры сопротивление термодатчика уменьшается. Так как термодатчик входит в одно плечо делителя напряжения, составленного из  $T_d - R5 - R7, R8$ , то уменьшение его сопротивления увеличивает потенциал базы транзистора Т2. Транзистор Т2 начинает приоткрываться, что приводит к повышению потенциала эмиттера Т2, и при определенной температуре термодатчика потенциал эмиттера Т2 достигнет такого значения, что стабилитрон Cт1 пробьется и потечет базо-эмиттерный ток транзистора Т2. При этом через резистор R3 открывается транзистор Т1 и шунтирует эмиттерно-базовый переход транзистора Т3. Далее происходит то же самое, что и при срабатывании максимальной



## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО МОСТОВОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** исследование характеристик трехфазного мостового преобразователя.

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Отличие данного выпрямителя, схема главной цепи которого приведена на рис. 1, от трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя заключается в том, что в данной установке применены полупроводящие вентили ( тиристоры ). Характеристики мостового трехфазного выпрямителя с неуправляемыми вентилями аналогичны характеристикам трехфазного управляемого выпрямителя при угле регулирования  $\alpha = 0^\circ$ .

При существенно индуктивной нагрузке ( индуктивность нагрузки  $L_d = \infty$  ) среднее значение выпрямленного напряжения определяется выражением:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha = 2,34 U_{2\varphi} \cos \alpha = 1,35 U_{2L} \cos \alpha \quad (1)$$

где  $U_{2\varphi}$  ( $U_{2L}$ ) - действующее значение фазного ( линейного ) напряжения вторичной обмотки питающего трансформатора.

При активной нагрузке, при  $\alpha < \pi/3$  ( 60 эл.град. ), среднее значение выпрямленного напряжения определяется также выражением (1). При  $\alpha > \pi/3$

$$U_d = U_{d0} [ 1 + \sin(\pi/6 - \alpha) ]$$

На рис. 2 приведены временные диаграммы напряжений управляемого 3-х фазного мостового выпрямителя при чисто активной нагрузке, из которых видно, что режим прерывистых токов ( нежелательный режим при работе выпрямителя на якорную обмотку электродвигателя постоянного тока ) наступает при  $\alpha > \pi/3$ . На рис. 3 приведены регулировочные характеристики при разном характере нагрузки.

Расчетные соотношения по выбору вентилей, питающего трансформатора, расчет КПД выпрямителя и коэффициента мощности сети переменного тока аналогичны 3-х фазному мостовому неуправляемому выпрямителю ( см. практическую работу № 1 ).

Вследствие того, что вентили имеют однонаправленное действие, реверсивный выпрямитель, т.е. выпрямитель, полярность выпрямленного напряжения которого может изменяться, выполняется или с помощью контактного реверсора ( применяется редко ) или посредством применения двухвентильных комплектов нереверсивных выпрямителей  $U_{21}$  и  $U_{22}$  ( рис. 4 ), соединенных встречно-параллельно. Каждый комплект обеспечивает питание цепи нагрузки током своей определенной полярности.

Могут применяться два способа управления вентильными комплектами: раздельное и согласованное.

При раздельном управлении ток проводят лишь вентили одного выпрямителя, в то время как вентили второго комплекта не проводят ( заперты посредством снятия управляющих импульсов ). Это позволяет использовать один комплект системы импульсно-фазового управления ( СИФУ ), однако для перехода тока от одного нереверсивного выпрямителя к другому требуется пауза. В практической работе используется реверсивный управляемый выпрямитель с раздельным управлением вентильными комплектами.

При согласованном управлении комплектами управляющие сигналы подаются на вентили обоих комплектов, причем углы регулирования соответствуют равенству:

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 180 \text{ эл.град. или } \alpha_1 = \beta_2$$

где  $\beta_2$  - угол опережения, равный  $180^\circ - \alpha_2$ .

В этом случае средние значения выходных напряжений комплектов равны, причем один из комплектов работает в выпрямительном режиме, а другой - в инвертерном. Однако мгновенные значения напряжений не равны, поэтому для ограничения неравительных токов между комплектами необходимо включать уравнительные реакторы ( $L$ ). При данном способе управления необходимо иметь два комплекта СИФУ.

На рис.5 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие работу трехфазного мостового инвертора, а на рис.6 - внешние характеристики трехфазного мостового преобразователя.

На рис.7 приведена функциональная блок-схема системы управления тиристорным агрегатом серии АТР, а рис.8 - диаграммы напряжений ( силовых и синхронизирующего ) и сигналов управления на тиристорах силовых блоков.

### АНОМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ И ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТИРИСТОРНЫХ МОСТОВ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Во время эксплуатации выпрямительных агрегатов могут возникать аномальные режимы работы, вызванные неисправностями или в главной цепи ( как правило, в тиристорах ) или в системе управления. Временные диаграммы, приведенные на рис.4 ( практ. работа №1 ) распространяются и на управляемые выпрямители, причем эти аномальные режимы могут быть вызваны и дефектом типа "потеря управляемости тиристора". На рис.9 приведены кривые линейного и выпрямленного напряжения в трехфазной мостовой схеме при несимметричном управлении ( асимметрия управляющих импульсов ), вызванным неидентичной настройкой каналов СИФУ. На рис.10 приведены кривые фазных напряжений и выпрямленного напряжения при неисправностях системы управления, приводящих к потере управляющих импульсов.

Для локализации неисправностей можно использовать блок-схему алгоритма поиска неисправностей тиристорных мостов и СИФУ, приведенной на рис.11.

Характерные неисправности и методы их устранения:

- Агрегат невозможно включить, так как при включении промежуточного коммутационного аппарата силовой цепи автомат, питающий тиристорные мосты отключается.

Вероятная причина: вышел из строя ( пробой ) один или несколько тиристоров; короткое замыкание после автомата, моста или в нагрузке; неисправность в блоке защиты, вырабатываемого сигнал на дистанционный расцепитель автомата.

Первоначально следует замерить сопротивление цепи после автомата. В случае отсутствия короткого замыкания необходимо проверить тиристоры мостов измерением сопротивления и заменить неисправные тиристоры запасными. Если это не устраняет неисправность агрегата следует заменить блок защиты.

- Выходное напряжение агрегата при подаче номинального задающего сигнала не достигает номинального значения.

Вероятная причина: какой-либо из тиристоров не включается; настройка СИФУ неправильная.

С помощью электронного осциллографа проверяются временные диаграммы выпрямленного напряжения и выходные импульсы СИФУ ( предварительно убедившись, что все фазовые напряжения поступают на зажимы тиристорного моста, и напряжение управления синхронизировано с силовым ). На экране осциллографа должны быть видны импульсы, соответствующие рис.8, т.е. на выходе каждого канала СИФУ должны наблюдаться два импульса продолжительностью 3,3 мс и на расстоянии друг от друга 20 мс. Если на каком-либо канале отсутствуют импульсы или импульсы не имеют должную форму, блок СИФУ следует заменить запасным. При наличии импульсов на выходе СИФУ следует убедиться поступают ли они на тиристоры. Для этого необходимо подключить осциллограф поочередно между управляющим электродом и катодом каждого тиристора ( нагрузка моста должна быть отключена, чтобы при включении тиристора током нагрузки не шунтировался переход управляющий электрод-катод ). При отсутствии импульсов на управляющем электроде неисправный импульсный трансформатор следует заменить исправным.

Примечание: не использовать осциллограф с защитным заземлением!

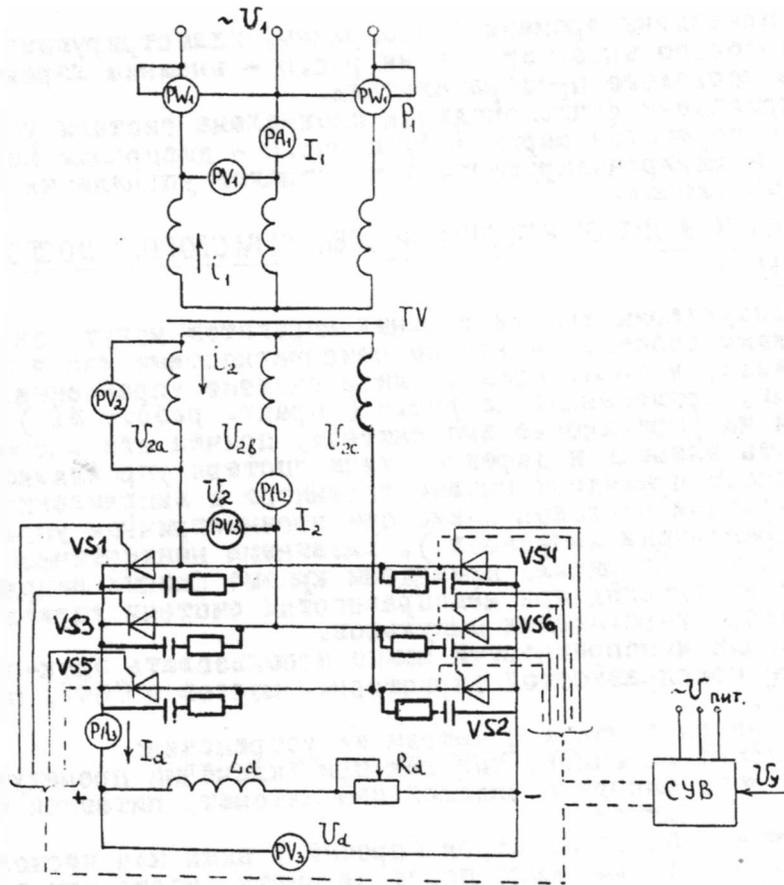


Рис.1. Схема трехфазного мостового управляемого выпрямителя

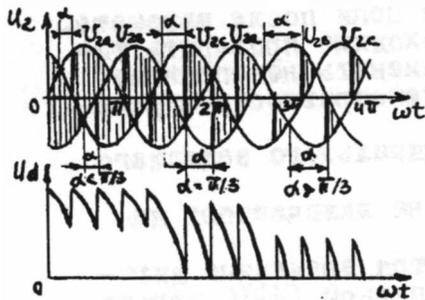


Рис.2. Временные диаграммы напряжений управляемого 3-х фазного мостового выпрямителя, нагрузка - активная,  $d$ -var,  $\gamma = 0^\circ$ .

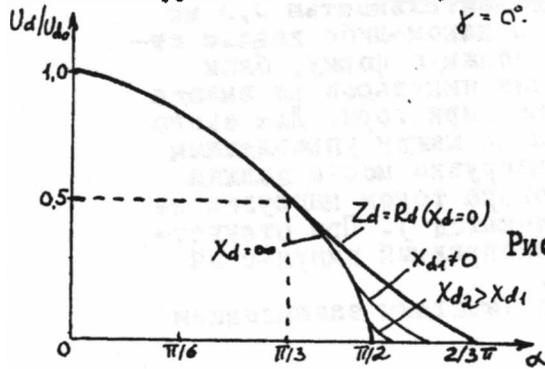


Рис.3. Регулировочная характеристика 3-х фазного мостового УВ

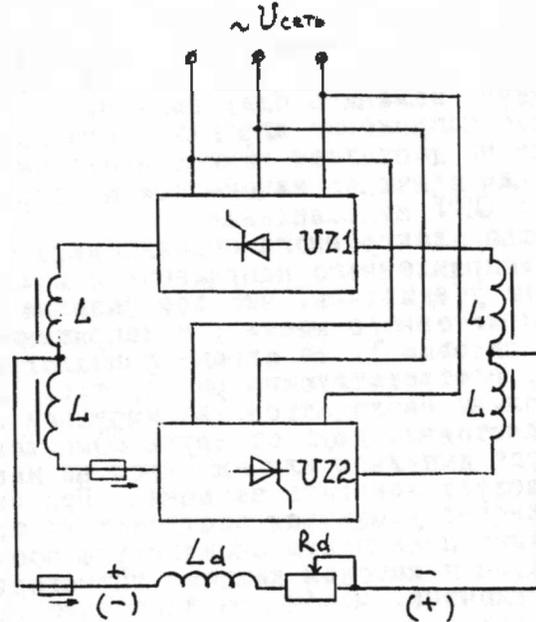


Рис.4. Схема 3-х фазного реверсивного управляемого выпрямителя с согласованным управлением вентилями комплектами

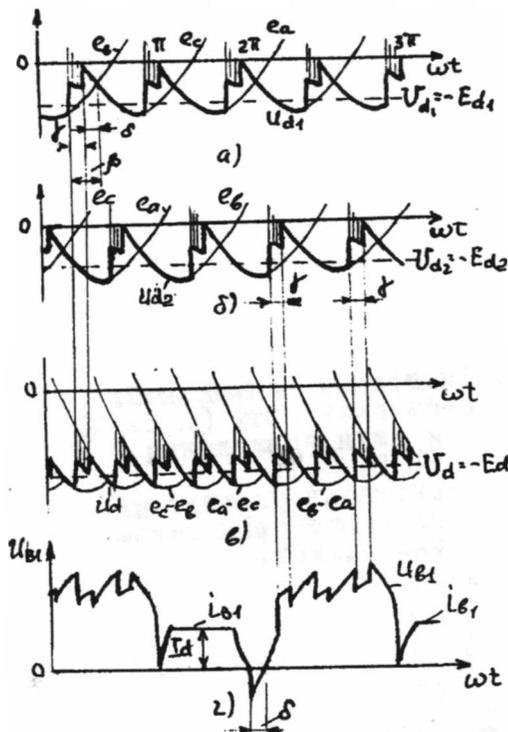


Рис. 5. Временные диаграммы трехфазного мостового инвертора

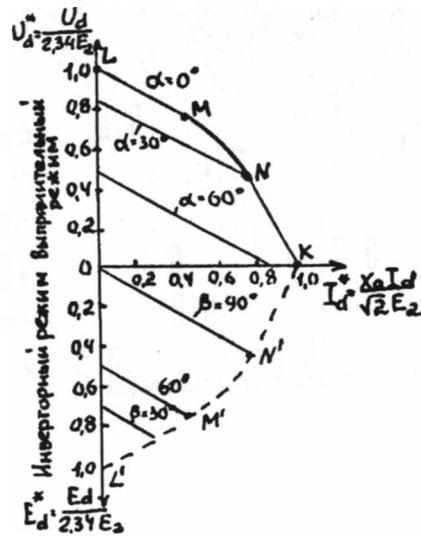


Рис. 6. Внешние характеристики 3-х фазного мостового преобразователя:  $\gamma < \frac{\pi}{3}$  (LM),  $\gamma = \frac{\pi}{3}$  (MN);  $\gamma > \frac{\pi}{3}$  (NK).

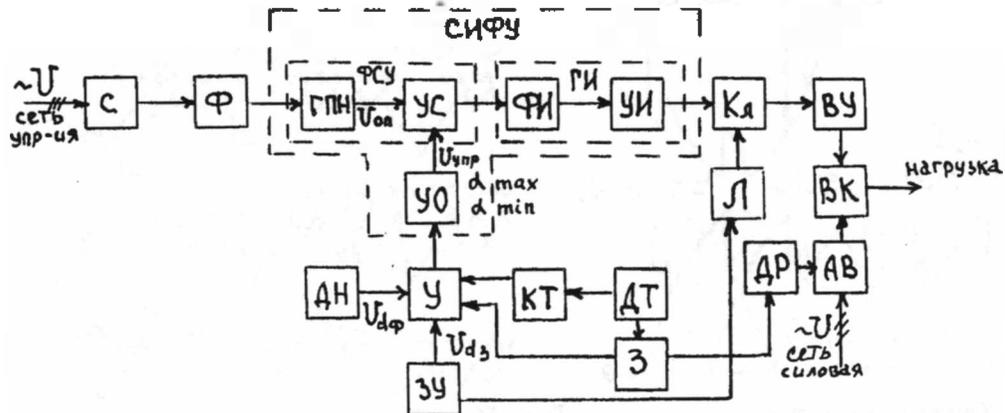


Рис. 7. Функциональная блок-схема системы управления тиристорным агрегатом серии АТР

С - синхронизатор; Ф - фильтр системы управления; ГПН - генератор пилообразного напряжения; УС - узел сравнения; ФСУ - фазосдвигающее устройство; ФИ - формирователь импульсов; УИ - усилитель импульсов; ГИ - генератор импульсов; СИФУ - система импульсно-фазового управления; УО - управляющий орган; У - усилитель; ДН - датчик напряжения; ЗУ - задающее устройство; КТ - корректор и токоограничитель; ДТ - датчик тока; З - устройство защиты (максимальная токовая); Л - блок логики реверса; Кл - блок ключей; ВУ - вводящее устройство; ДР - дистанционный расцепитель; АВ - автоматический выключатель; ВК - вентиляционный комплект.

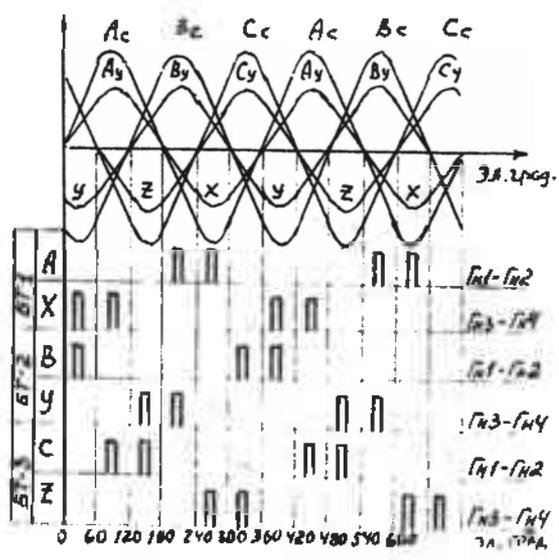


Рис. 8. Диаграммы напряжений: а-силовой сети ( $A_c, B_c, C_c$ ) и сети управления ( $A_y, B_y, C_y$ ); б-сигналов управления на тиристорах силовых блоков.

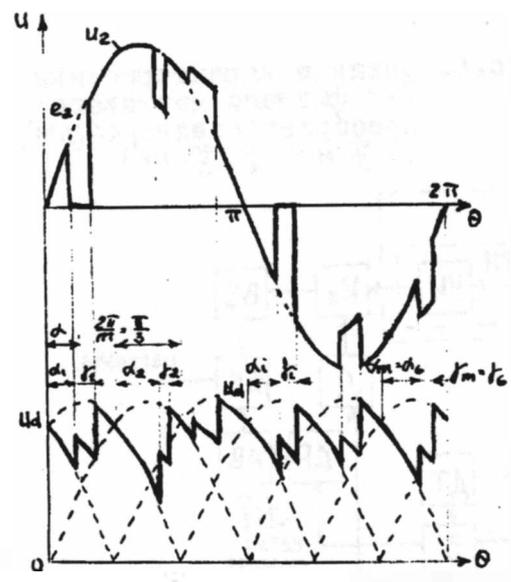


Рис. 9. Кривые линейного и выпрямленного напряжений в 3-х фазной мостовой схеме при несимметричном управлении (асимметрия управляющих импульсов). Причина: не настроена или неисправна СФУ.

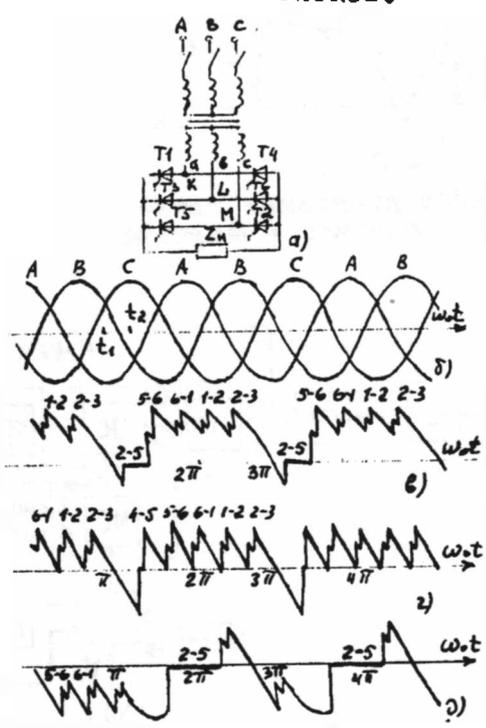


Рис. 10. Принципиальная схема тиристорного возбудителя (а) и кривые фазных напряжений (б) и  $U_d$  (в-д) в  $\alpha = 30^\circ$ , неисправность №1 (отсутствие 2-х управляющих импульсов на одном тиристоре, например, неисправность импульсного узла Т4);  $\alpha = 60^\circ$ , неисправность №2 (отсутствие 1-го управляющего импульса, например, выход из строя канала СФУ, на Т3 не приходит повторный импульс, а на Т4 - отпирающий);  $\alpha = 120^\circ$ , неисправность №1 и №2.

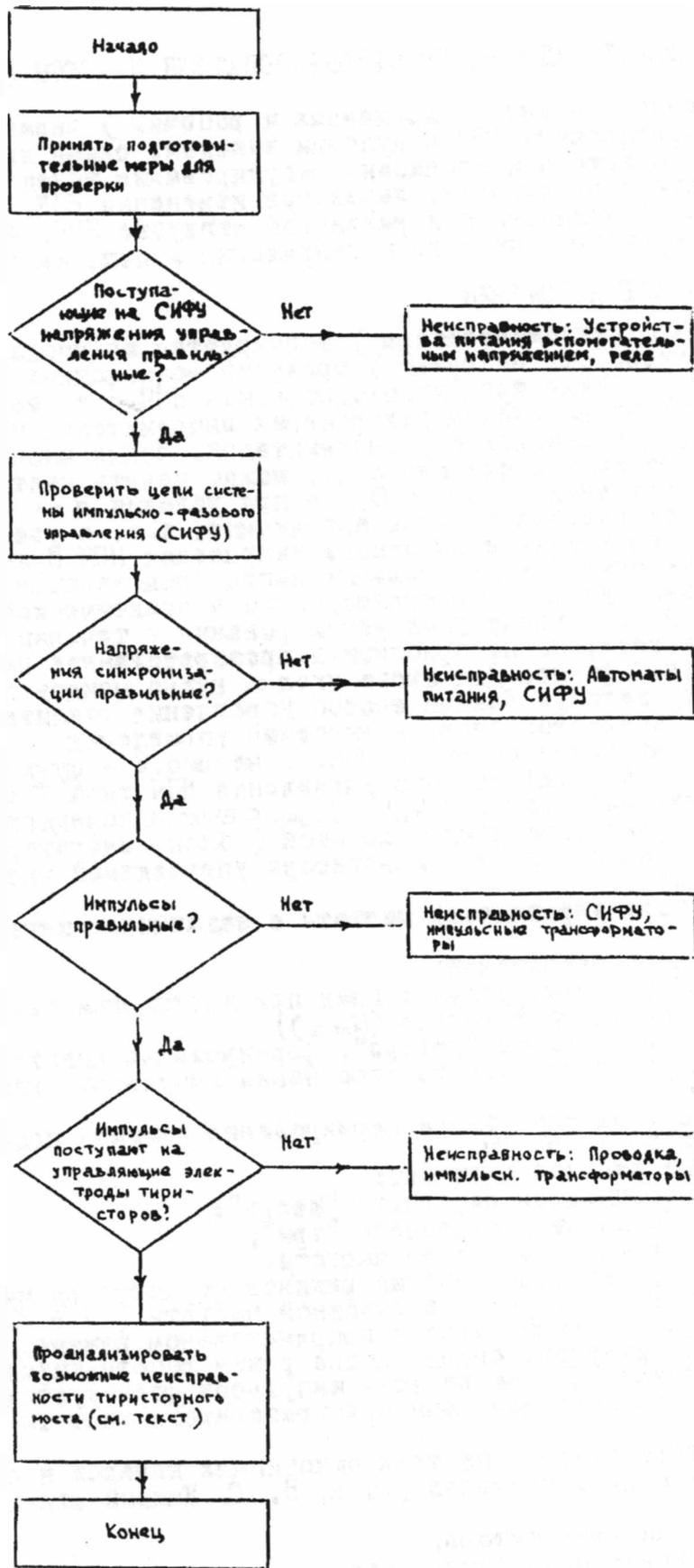


Рис. II. Блок-схема алгоритма поиска неисправностей тиристорных мостов и СИФУ

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ (НПЧ)

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение основных (временных и рабочих) характеристик трехфазного НПЧ с нулевым выводом, схемы включения, характера и диапазона регулирования выходной частоты и напряжения, характера изменения КПД, коэффициента мощности при различной нагрузке НПЧ, временных характеристик тока и напряжения в цепи нагрузки

### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Многофазные НПЧ (циклоконвертеры) формируются из числа равного  $m_2$  ( $m_2$  - число фаз нагрузки) трехфазно-однофазных НПЧ (в našem случае - 3). Схемы трехфазно-однофазных НПЧ с естественной коммутацией аналогичны схемам реверсивных выпрямителей и содержат две группы (два комплекта) выпрямителей. Меняя число участков синусоид, когда вентили проводят, можно менять частоту преобразованного напряжения. При  $\alpha \neq 0$ , но при условии  $\alpha = \text{const}$  получим прямоугольное преобразованное напряжение, т.е. с увеличением угла  $\alpha$  действующее значение выходного напряжения НПЧ будет уменьшаться (данный способ регулирования напряжения заложен в алгоритме работы системы управления исследуемого в практической работе НПЧ типа ТТС-40). Изменяя угол регулирования в течении периода выходной частоты, можно приблизить преобразованное напряжение к синусоидальной форме. Для этого угол  $\alpha$  нужно менять по арккосинусоидальному закону. Данный способ управления реализован в современных НПЧ с микропроцессорной системой управления.

На рис.1 приведена схема стенда с НПЧ, а на рис.2 - функциональная схема системы автоматического управления НПЧ типа ТТС-40.

Напряжение управления частотой НПЧ  $U_{f \text{ зад}}$  с выхода командоконтроллера поступает в узел управления частотой (блок генератора и блок формирования режимов) в блок генератора управляемой частоты, который включает:

- 1) схему генератора управляемой частоты с задатчиком интенсивности на входе;
- 2) схему защиты от сверхтоков;
- 3) пороговую схему, формирующую сигнал при достижении выходным напряжением минимального значения ( $U_{\text{min}}$ );
- 4) схему обработки сигналов "реверс", формирование сигнала "стоп" и генератор частотного заполнения импульсов включения тиристоров.

С блока генератора на вход блока формирования режимов подается импульс частотой  $54 \pm 360$  Гц.

Блок формирования режимов включает:

- 1) счетчик с коэффициентом пересчета "шесть";
- 2) счетчик с коэффициентом пересчета "три";
- 3) формирователь режимов выходной частоты.

На шести выходах блока формирования режимов формируются импульсы длительностью 100 эл.градусов выходной частоты ( $f = 20$  Гц), определяющие время работы тиристоров в выпрямительном режиме, на шести других - 60 эл.градусов, определяющие режим работы тиристоров в инверторном режиме. С помощью этих импульсов формируется диаграмма работы каждой выходной фазы преобразователя частоты (рис.3).

Блок синхронизатора состоит из трех однотипных каналов и служит для формирования синхроимпульсов фаз А, В, С. Каждый канал включает:

- 1) схему фильтра синхронизатора;
- 2) схему формирования синхроимпульсов.

Блок фазосдвигаателя содержит шесть каналов, каждый из которых состоит из схем:

- 1) схема формирования пилообразного напряжения;
- 2) схема амплитудного компаратора;
- 3) триггер;
- 4) схема формирования импульсов.

Блок управления фазой представляет собой коммутатор, на входы <sup>которого</sup> поступают сигналы с различных блоков:

- 1) импульсы длительностью 100 эл.градусов частотой 3-20 Гц (из блока формирования режимов);
- 2) импульсы длительностью 60 эл.градусов частотой 3-20 Гц (из блока формирования режимов);
- 3) импульсы заполнения частотой 5 кГц (из блока генератора);
- 4) сигнал "блокировка" (из блока генератора);
- 5) сигналы реверса (из блока генератора);
- 6) импульсы с переменной длительностью, пропорциональной напряжению управления (импульсы выпрямительного режима; из блока фазосдвигающего  $\alpha$ );
- 7) подвижные узкие импульсы (из блока фазосдвигающего  $\beta$ ).

На выходах блока управления фазой формируются импульсы управления тиристорами силовой схемы, поступающие в блоки выходных каскадов фаз А, В, С. Блок регулятора напряжения включает:

- На блок регулятора напряжения с командоконтроллера поступает  $U_{изг}$ .
- 1) схему усиления сигнала ошибки с задатчиком интенсивности на входе;
  - 2) схему коррекции, обеспечивающей пропорциональное уменьшение выходного напряжения и частоты при уменьшении напряжения питающей сети;
  - 3) схему датчика выходного напряжения;
  - 4) схему датчика тока;
  - 5) схему ограничения тока через преобразователь (в момент переключения режима привода);
  - 6) схему управления импульсами инверторного режима.

Положительный полупериод выходного напряжения <sup>Фазы А, В, С</sup> формируется при поочередной подаче отпирающих импульсов на тиристоры катодной группы ( $V_{S1}, V_{S3}, V_{S5}$ ), отрицательный - при поочередной подаче отпирающих импульсов на тиристоры анодной группы ( $V_{S2}, V_{S4}, V_{S6}$ ). На рис. 3 приведена временная диаграмма выходного напряжения преобразователя при активно-индуктивной (двигательной) нагрузке с паузами между полупериодами и с переводом вентиляных групп из выпрямительного режима в инверторный.

Диапазон регулирования выходной частоты и напряжения НПЧ типа ТТС-40 соответственно 3 + 20 Гц и 50 + 100 В.

Во время проведения практической работы посредством ваттметра РW1, амперметра РА1, вольтметра РV1 и частотомера РF1 производится измерение мощности, тока, напряжения и частоты тока питания НПЧ. Соответственно для измерения выходных (преобразованных) параметров НПЧ предназначены приборы РW2, РА2, РV2, РF2.

В данной работе нагрузкой НПЧ является приводной асинхронный электродвигатель (М), соединенный с нагрузочным генератором (М).

Во время практической работы определяется КПД преобразователя:  $\eta = P_2 / P_1$  где  $P_1, P_2$  - соответственно показания РW1 и РW2.

и коэффициент мощности НПЧ:  $\cos \varphi = P_1 / S_1$

где  $S_1$  - полная потребляемая мощность, равная  $S_1 = 1,73 U_1 I_1$ .

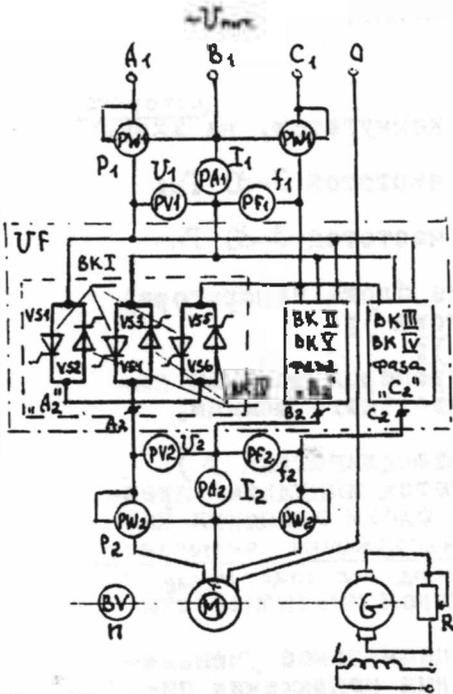


Рис. 1. Схема стенда по исследованию трехфазного непосредственного преобразователя частоты

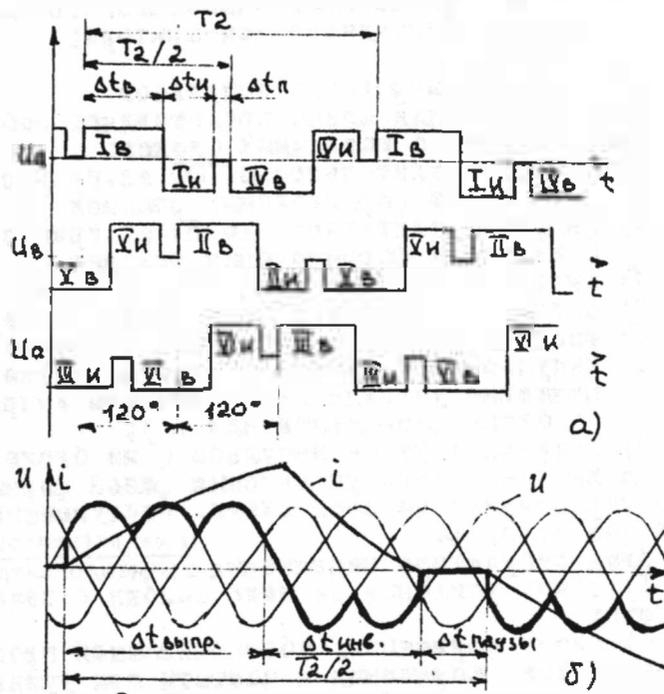


Рис. 3. Диаграмма работы выходной фазы преобразователя частоты: а-алгоритмы управления вентильными комплектами; б-временная диаграмма выходного напряжения и тока ( $\delta = 0^\circ$ )

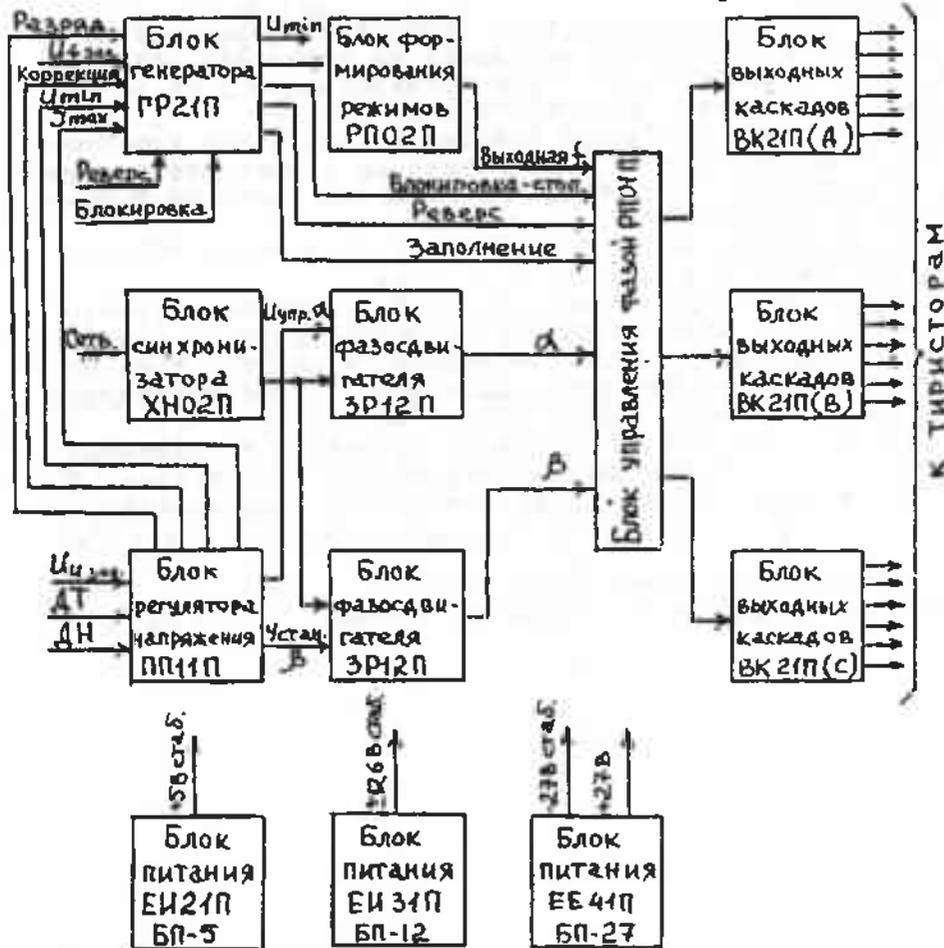


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического управления преобразователя частоты типа ТТС-40

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ТИПА ACS300

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучение основных характеристик трехфазного преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока, характера и диапазона регулирования выходной частоты и напряжения, характера изменения КПД, коэффициента мощности при различной нагрузке преобразователя частоты, а также изучение работы панели управления и алгоритма установки параметров.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ACS 300 – это преобразователь частоты ( ПЧ ) с промежуточным звеном постоянного тока с регулированием выходного напряжения широтно-импульсным способом с синусоидальной модуляцией. ПЧ ACS-300 подключается к трехфазному электродвигателю, обеспечивая регулирование частоты от 0 Гц до 200 Гц.

На рис. I приведен блок-схема ПЧ ACS 300, где:

1. плата управления;
2. панель управления, подключаемая через последовательный интерфейс RS232 ( по заказу );
3. адаптер ( по заказу );
4. адаптеры шин ( по заказу );
5. аналоговый вход конфигурируется через X5;
6. цифровые входы конфигурируются через S1;
7. блок управления;
8. гальваническое разделение;
9. вентилятор;
10. обратная связь по току и напряжению / управление шлюзом;
11. источник питания;
12. тормозящий прерыватель;
13. линейный дроссель ( для мощности свыше 3 кВт );
14. выходной дроссель ( по заказу );
15. радиочастотный фильтр ( по заказу );
16. линейные дроссели ( по заказу );
17. радиочастотный фильтр;
18. выпрямитель;
19. схема предварительного заряда;
20. инвертер;
21. схема главной цепи;
22. тормозной блок ( по заказу );
23. тормозной резистор.

### АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ И УСТАНОВКИ ПАРАМЕТРОВ

#### Панель цифрового управления ( локальное управление )

Панель управления ПЧ типа ACS 300 приведена на рис. 2, где:

1. I6 – значный алфавитно-цифровой жидкокристаллический дисплей:
  - I.1 – сектор дисплея, указывающий на режим работы панели управления ( не мигает – режим выбора параметров, мигает – режим установки параметров );
  - I.2. – сектор дисплея, указывающий на имя параметра;
  - I.3. – сектор дисплея, указывающий на значение параметра.
2. кнопки "Увеличение" и "Уменьшение"; используются для просмотра списков параметров и установки значений параметров;
3. светодиод "Неисправность"; загорается, когда возникает неисправность в электроприводе;
4. светодиод "Дистанционное управление"; горит, когда ACS 300 находится в режиме управления через блок ввода/вывода ( дистанционное управление ); не горит, когда управление ACS 300 осуществляется с панели ( локальное управление );
5. кнопка "Дистанционное управление" ("Remote"); используется

для выбора дистанционного или локального управления; чтобы переключить режим управления, необходимо в течение нескольких секунд держать кнопку нажатой; возвращение в режим дистанционного управления осуществляется при помощи кнопки "Remote".

6. светодиоды "Направление"; указывают направление вращения двигателя или направление, в котором двигатель будет вращаться после запуска; когда ACS 300 остановлен, светодиоды мигают с небольшой частотой; если ACS 300 меняет направление вращения, то светодиоды мигают часто;
7. кнопка "Направление"; позволяет выбрать направление вращения двигателя; светодиоды показывают выбранное направление;
8. кнопка "Пуск/Стоп"; включает или останавливает двигатель;
9. кнопка "Режим"; используется для переключения между режимами выбора и установки параметров.

Программирование и установка параметров ACS 300 выполняется с помощью панели цифрового управления. С помощью панели управления можно выбрать и установить, например, следующие параметры:

- минимальная и максимальная частоты;
- интенсивность разгона и торможения;
- отношение напряжение/частота;
- компенсация омического падения напряжения;
- защита от перегрузки;
- число попыток запуска после неисправности;
- коэффициент передачи и время интегрирования контроллера;
- расширение режима конфигурации ввода/вывода.

Все параметры разделены на четыре страницы, на рис. 3 представлена система меню параметров.

Для того, чтобы перейти к параметру "OUTPUT f" (выходная частота) из текущего отображения любого параметра, необходимо одновременно нажать и держать кнопки "Увеличение" и "Уменьшение" в течение нескольких секунд. Кроме частоты питания двигателя во время работы электродвигателя можно контролировать по дисплею следующие параметры:

- вычисленная скорость двигателя;
- ток двигателя;
- вычисленная температура двигателя;
- счетчик времени работы;
- последние три сообщения о неисправности.

### Панель аналогового управления

При выборе режима дистанционного управления (нажатием кнопки "Remote") ACS 300 будет работать под управлением устройств, подключенных к блоку соединений XI на плате управления. В зависимости от положения переключателя SI и параметра PARAM SET (стр. №3) можно реализовать восемь конфигураций цифровых входов и получить 8 режимов управления. При стандартном режиме (заводская установка) функции цифровых входов следующие: Пуск/Стоп, реверс, три постоянные скорости и скорость в соответствии с опорным напряжением на аналоговом входе.

### Последовательность действий при вводе в эксплуатацию

Перед включением ПЧ типа ACS 300 на электродвигатель необходимо проверить и установить параметры, определяющие характеристики преобразователя частоты, электродвигателя и сети питания, в соответствии со "Страницами" параметров I ÷ 4. Указываются следующие параметры электродвигателя и сети питания:

- NOM PBN = номинальная скорость вращения двигателя;
- NOM FREQ = номинальная частота двигателя;
- NOM VOLT = номинальное напряжение двигателя;

COS PHI = косинус  $\varphi$  двигателя;  
 SUPPLY VOLT = напряжение питания.

Если выбрать "SET FACTORY DEF" и нажать кнопку "Режим", то все параметры примут значения заводской установки.

### Поиск неисправностей

ACS 300 постоянно контролирует состояние системы. Если возникает состояние отказа, то загорается светодиод "Неисправность", и прежде, чем продолжить работу, ACS 300 ожидает от оператора подтверждения об обнаружении отказа. Отказ можно сбросить, нажав кнопку "Пуск/Стоп" панели управления; отключив вход "Пуск" на дистанционном пульте управления или отключив на время входное напряжение. Если причина отказа устранена, то ACS 300 вернется к нормальной работе. В противном случае защита сработает опять.

При обнаружении отказа информация о нем запоминается, и эту информацию можно вывести на дисплей позже. Сообщения о последних трех отказах хранятся в параметре первой страницы "FAULT MEMORY".

Таблица I

Перечень возможных отказов ACS 300

Индикация	Возможная причина	Рекомендуемые действия
1. OVER VOLTAGE Перенапряжение	Напряжение на шине постоянного тока превысило $130\%U_{ном}$ . Обычно возникает при генераторном режиме работы эл.двигателя в приводах с большим моментом инерции, а время замедления мало. Повышение напряжения питания.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- В случае кратковременного повышения питающего напряжения, сбросьте отказ и запустите снова.</li> <li>- Используйте большее время замедления или функцию останова по инерции (COASTING).</li> <li>- Если необходима быстрая остановка используйте внешний резистор торможения.</li> <li>- Проверьте напряжение (400 В).</li> </ul>
2. UNDER VOLTAGE Недостаточное напряжение	Напряжение на шине постоянного тока упало ниже $65\%U_{ном}$ . Наиболее вероятная причина - обрыв фазы или снижение сетевого напряжения.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- В случае кратковременного снижения питающего напряжения, сбросьте отказ и запустите снова.</li> <li>- Проверьте сетевое напряжение.</li> </ul>
3. OVER CURRENT Перегрузка по току	Недостаточная мощность эл.двигателя. Ток слишком велик из-за: <ul style="list-style-type: none"> <li>- большего момента инерции системы или малого времени Ramp;</li> <li>- резкого изменения нагрузки;</li> <li>- неисправности двигателя или кабеля.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Проверьте значение времени Ramp.</li> <li>- Устраните механическую причину перегрузки.</li> <li>- Проверьте кабели и двигатель.</li> <li>- Используйте дополнительный выходной дроссель.</li> <li>- Уточните необходимую мощность, используйте более мощные ACS 300 и двигатель.</li> </ul>
4. MOTOR TEMP Температура двигателя	ACS 300 рассчитал перегрев двигателя. Так как это расчетное значение, двигатель может находиться в диапазоне допустимых температур.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Проверьте температуру двигателя. Если она в пределах допустимого диапазона, измените значение параметров TEMP LIM и I LIMIT и запустите снова.</li> </ul>

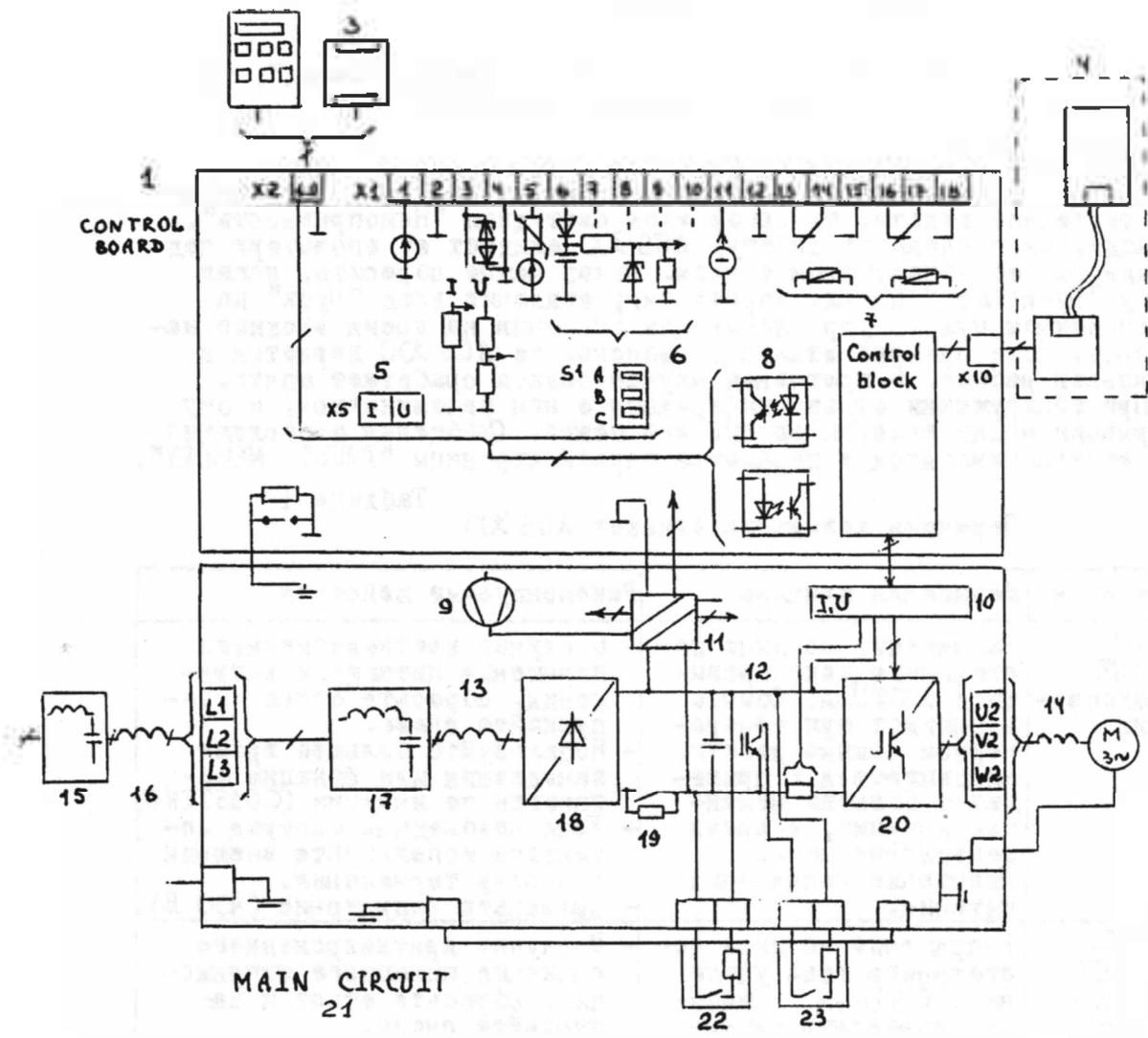


Рис.1. Блок-схема преобразователя частоты типа ACS 300

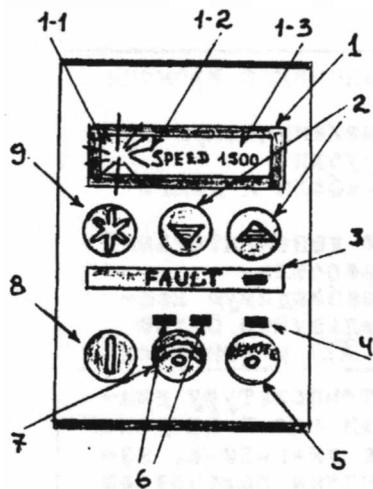


Рис.2. Панель управления ACS 300

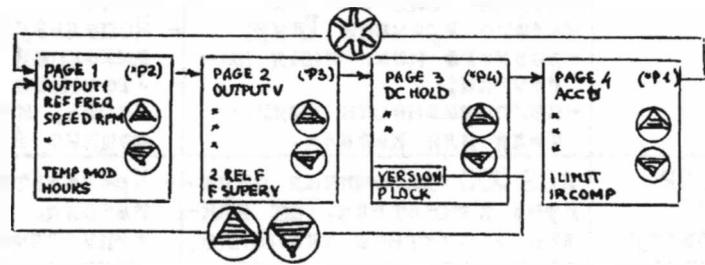


Рис.3. Система меню параметров

## СУДОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

### **Назначение и классификация преобразователей электроэнергии**

Назначение преобразователей электроэнергии: преобразование электроэнергии с одними параметрами в электроэнергию с другими параметрами.

#### Параметры электроэнергии:

- род тока (постоянный, переменный);
- величина напряжения;
- частота тока;
- количество фаз (однофазные, трехфазные, многофазные сети).

### **Классификация ПЭЭ:**

- электромагнитные преобразователи;
- электромашинные преобразователи;
- полупроводниковые преобразователи.

### **Электромагнитные преобразователи (трансформаторы)**

#### **Назначение силовых трансформаторов:**

- преобразование величины напряжения,
- гальваническое разделение цепей

Трансформатор состоит из корпуса, магнитопровода, обмоток, выводов обмоток, контактных зажимов и изоляторов.

#### Требования Регистра к трансформаторам:

- применение только сухих трансформаторов,
- первичная и вторичная обмотка должны быть электрически разделены,
- должны выдерживать 10% перегрузки в течение 1 часа и 50% перегрузки в течение 5 минут,
- изменение напряжения в пределах между хх и номинальной нагрузки при активной нагрузке не должно превышать 5% (для мощностей до 6,3 кВА) и 2,5% на фазу для трансформаторов большей мощности,
- при параллельной работе номинальная мощность меньшего трансформатора не должна быть менее 0,5 от номинальной мощности наибольшего трансформатора

Требования по защите трансформаторов:

- на фидерах питания первичных обмоток должны быть установлены устройства защиты от к.з. и перегрузки;
- у трансформаторов, предназначенных для параллельной работы, необходимо применять выключатели, отключающие первичную и вторичную обмотки.



Рис. 1. Обозначение трехфазных трансформаторов

#### Включение трансформаторов:

- убедиться в отсутствии пыли, грязи, воды, масла, посторонних предметов,
- проверить состояние наружных соединений,
- проверить сопротивление изоляции (при включении после ремонта или длительного нахождения в нерабочем состоянии),
- включение производится сначала со стороны первичной, а затем вторичной обмотки (отключение производится в обратном порядке)

#### Во время эксплуатации производится контроль:

- напряжения вторичной сети,
- нагрузку,
- при параллельной работе - равномерность распределения нагрузки,

- нагревание обмоток, контактных соединений, кожуха,
- гудения трансформатора (исправный трансформатор гудит равномерно и однообразно, тон гудения изменяется в зависимости от нагрузки)

## Таблица 1. Неисправности трансформаторов и способы их устранения

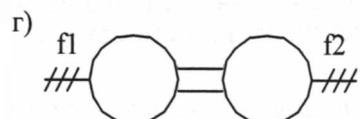
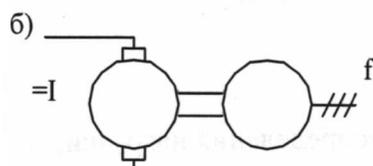
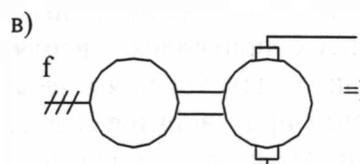
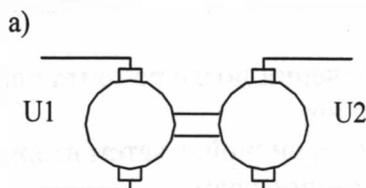
Признаки неисправности	Причины	Способы устранения
Перегрев обмотки. Трансформатор потребляет большой ток даже при отключенной нагрузке	Замыкание витков обмоток из-за повреждения изоляции	Определить место замыкания и устранить его
Перегрев контактных соединений	Ослабление контактов	Очистить и поджать контакты
Сильное гудение трансформатора	Ослабление креплений болтовых соединений сердечника и кожуха	Подтянуть крепление
	Загрязнение поверхностей магнитопровода	Протереть поверхность чистой ветошью
Отсутствие напряжения на вторичной обмотке	Не подведено питание	Проверить первичную цепь
	Обрыв в проводах, монтажных и внешних соединениях обмоток	Определить место и устранить обрыв
	Обрыв в первичной или вторичной обмотке	Проверить мегомметром или контрольной лампой и устранить обрыв

Сопротивление изоляции обмоток силовых и осветительных трансформаторов относительно корпуса судна и между обмотками при рабочей температуре должно быть не менее 0,7 МОм для трансформаторов мощностью до 100 кВА и напряжением до 500 В.

### Электромашинные преобразователи

#### Назначение:

- преобразование постоянного тока с одним напряжением в постоянный ток с другим напряжением (рис. 2, а),
- преобразование постоянного тока в переменный (рис. 2, б),
- преобразование переменного тока в постоянный (рис. 2, в),
- преобразование переменного тока с одними параметрами в переменный ток с другими параметрами (рис. 2, г)



## Рис. 2. Электромашинные преобразователи

### Недостатки электромашинных преобразователей:

- низкий КПД,
- высокая стоимость,
- значительный уровень вибрации и шума,
- необходимость постоянного тех. обслуживания,
- большие масса и габариты

### **Полупроводниковые преобразователи электроэнергии (ПП)**

#### Недостатки вакуумных и газонаполненных вентилей:

- высокие потери,
- высокие масса и габариты,
- низкое быстродействие,
- высокая стоимость,
- низкая надежность

#### Этапы становления силовой электроники:

1897 г. - открытие электрона (Дж. Томпсон),

1930 г. - создание первых селеновых (Se) и медно-закисных ( $\text{CuO}_2$ ) диодов,

1948 г. - изобретение биполярного транзистора (У. Шокли, У. Брайтон, Дж. Бардон),

1952 г. - разработка германиевых (Ge) и кремниевых (Si) силовых диодов,

1959 г. - изобретение тиристора (Л. Эсаки),

1970-е - создание новых полупроводниковых приборов (запираемых тиристоры, биполярных транзисторов с изолированным затвором, тиристоры с полевым управлением и т.д.).

#### Физические основы электротехники

В зависимости от значения электропроводности твердые тела делятся на проводники (металлы), изоляторы (диэлектрики) и полупроводники (вещества с промежуточным значением электропроводности).

Различают полупроводники n-типа и p-типа. Основным свойством электронно-дырочного перехода является, односторонняя проводимость. Зависимость тока через электронно-дырочный переход от приложенного напряжения называется вольт-амперной характеристикой (ВАХ) p-n перехода (рис. 3). Увеличение обратного напряжения приводит к пробоему p-n перехода.

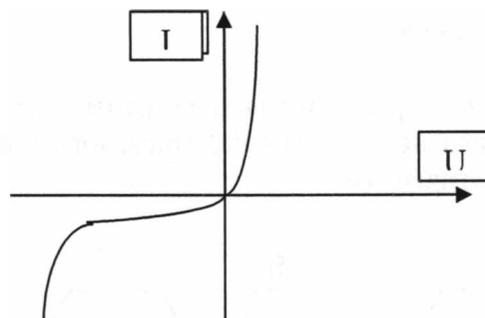


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) p-n перехода

#### Полупроводниковые приборы

Полупроводниковым прибором называют электронное устройство, действие которого основано на электронных процессах в полупроводниках. В силовой преобразовательной технике применяют силовые дискретные полупроводниковые приборы, к которым относятся диоды, транзисторы и тиристоры.

#### Полупроводниковые диоды

Принцип действия определяется свойством односторонней проводимости p-n перехода.

Обозначение диода:



**Транзистор** (transfer of resistor - преобразователь сопротивления) - полностью управляемый полупроводниковый прибор, обладающий свойствами усиления электрических сигналов.

**Биполярный транзистор** - полупроводниковый прибор с двумя электронно-дырочными переходами и тремя выводами (эмиттер, коллектор, база). Работа зависит от носителей зарядов обеих полярностей (биполярные). Достоинства: незначительные потери, высокие мощности. Недостаток низкое быстродействие.

**Полевой транзистор** - полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающих через проводящий канал и управляемых электрическим полем. Работа транзистора зависит от носителей заряда одной полярности (униполярные). Управляются электрическим полем (полевые). Имеют три или четыре вывода: исток И, сток С, затвор З, подложка П. Через исток носители втекают в канал, через сток - вытекают, затвор является управляющим электродом.

Достоинства полевых транзисторов: большое входное сопротивление, высокая скорость переключения. Недостатки: высокие потери, что ограничивает их мощность. Транзисторы, основными исходными материалами в которых являются металл, диэлектрик (окисел), полупроводник получили название МДП - или МОП- транзисторы.

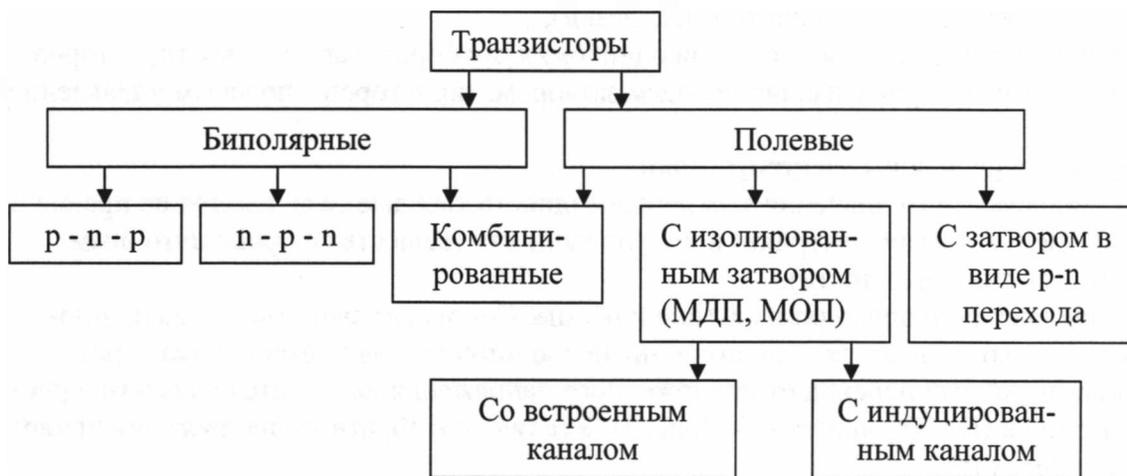


Рис. 4. Классификация транзисторов

**Комбинированные транзисторы** - биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT транзистор - Insulated Gate Bipolar Transistor). Достоинства: незначительные потери, высокое входное сопротивление.

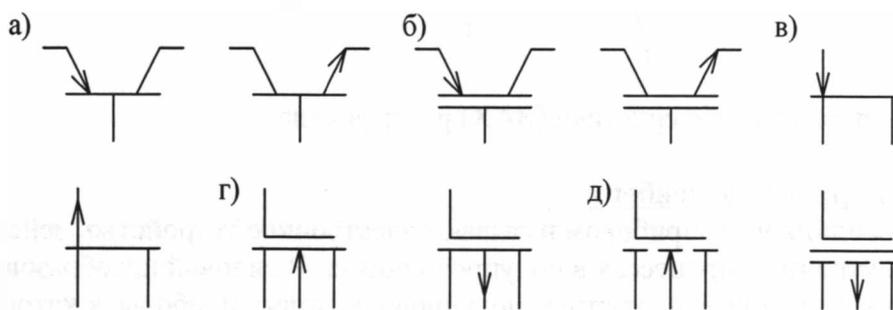


Рис. 5. Обозначения транзисторов: а - биполярного, б - комбинированного, в - полевого с затвором в виде p-n перехода, в - полевого со встроенным, г - полевого с индуцированным каналом

Режимы работы транзисторов: режим насыщения (большой ток и малое напряжение), отсечки (малый ток и большое напряжение) и активный режим. В преобразовательной технике транзисторы находятся в состоянии насыщения или отсечки, то есть работают в ключевом режиме.

**Тиристор** - многослойный полупроводниковый прибор, обладающий двумя устойчивыми состояниями: с высоким сопротивлением (закрытое состояние) и с низким сопротивлением (открытое состояние). Процесс переключения из закрытого состояния в открытое - процесс отпирания и обратный процесс - процесс запираения.



Рис. 6. Классификация тиристоров

Однооперационные (незапираемые) тиристоры - по цепи управляющего электрода осуществляется только операция отпирания тиристора. Двухоперационные (запираемые) тиристоры (GTO - тиристор, Gate Turn-off) - по цепи управляющего электрода осуществляется отпирание и запираение тиристора. Симметричные тиристоры - способны переключаться в открытое состояние в обоих направлениях.



Рис. 7. Обозначение однооперационного (незапираемого) и двухоперационного (запираемого) тиристора

По способу управления тиристоры делятся на обычные (управляются внешним электрическим сигналом по управляющему электроду), фототиристоры (управляются с помощью внешнего светового сигнала) и оптотиристоры (управляются с помощью внутреннего светового сигнала от светодиода, встроенного в корпус тиристора).

Полевой тиристор - управляется напряжением. Управляющий электрод подобен изолированному затвору полевого транзистора. Требуется значительно меньшая мощность на переключение и обладает высоким быстродействием.

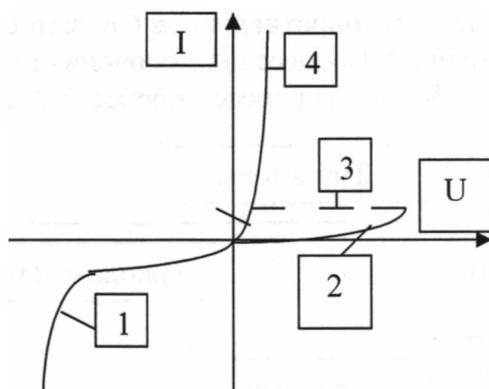


Рис. 8. Вольт-амперная характеристика однооперационного тиристора

ВАХ тиристора (рис. 8) содержит четыре участка: 1 - обратная ветвь ВАХ, аналогичная диодной, 2 - прямая ветвь в закрытом состоянии, 3 - неустойчивая часть переключения из закрытого в открытое состояние, 4 - прямая ветвь открытого состояния.

Ток управления, при котором ВАХ тиристора становится подобной прямой диодной ветви, называют током управления. Ток запирающий - ток, при котором тиристор запирается, переходя в закрытое состояние.

Условия запирающего однооперационного тиристора:

- уменьшения тока управления до нуля,
- снижение анодного тока до значения меньшего, чем ток удержания,
- поддержание тиристора в данном состоянии в течение времени, необходимого для запирающего.

Идеальный силовой полупроводниковый прибор (СПП):

- сопротивление во включенном состоянии равно нулю,
- сопротивление в выключенном состоянии равно бесконечности,
- мгновенное переключение из одного состояния в другое,
- минимальная энергия для переключения,
- проводит электроэнергию в обоих направлениях

Реальный СПП:

- во включенном состоянии – падение напряжения,
- в выключенном состоянии – ток утечки,
- накапливание энергии при переключении,
- проводят электроэнергию только в одном направлении

Реальные СПП необходимо:

- охлаждать (принудительное воздушное или водяное охлаждение),
- защищать от перенапряжений (RC-цепи, разрядники),
- защищать от токов к.з. и перегрузки (предохранители, АВ и т.д.)

Составляющие мощности потерь СПП: потери мощности в переходных процессах, во включенном и выключенном состояниях, в цепи управления. Дополнительные потери энергии в режимах переключений (коммутации) называют коммутационные потери.

Выделяющаяся в СПП электрическая мощность рассеивается в виде тепла, которое должно быть отведено системой охлаждения, в состав которой входят охладитель и охлаждающая среда (воздух, масло, вода). Различают естественное и принудительное охлаждение. Принудительное охлаждение позволяет рассеивать мощность в 3-4 раза больше, чем естественное. Воздушные охладители - радиаторы.

### Виды отказов СПП:

- электрический пробой (наступает при приложении к СПП напряжения, превышающего допустимое значение по амплитуде и продолжительности), является обратимым,
- тепловой пробой (наступает при превышении током допустимой величины или нарушении режима охлаждения), является необратимым,
- потеря управляющей способности тиристоров – самопроизвольное переключение (наступает при увеличении прямого напряжения, увеличении скорости нарастания напряжения, нагрев СПП, снижение сигнала управления, наличие помех, старение СПВ),
- механические повреждения (обрыв управляющего электрода, нарушение пайки электродов и т.д.)

### Зависимость максимального допустимого тока от частоты следования импульсов

С возрастанием частоты выше 50 Гц мощность потерь увеличивается из-за потерь при переключениях, возрастает температура СПП. При снижении частоты из-за сильного колебания мгновенного значения температуры полупроводниковой структуры относительно среднего значения за период токовая нагрузка должна быть снижена.

### Перегрузка СПП.

СПП являются наиболее слабыми элементами цепи токовой перегрузки вследствие низких значений максимальной допустимой рабочей температуры (перегрузочная способность СПП ограничена несколькими секундами). Тиристор теряет управляющую способность при превышении максимально допустимой температуры.

### Способы включения полупроводниковых вентилей

Последовательное соединение вентилей применяется в случае, когда напряжение, прикладываемое к вентилю, превышает номинальное напряжение на вентиль. Из-за разброса ВАХ отдельные СПП могут перегружаться по напряжению. В динамических режимах приложение прямого напряжения из-за разброса времени восстановления запирающей способности к тиристорам с меньшим временем восстановления может прикладываться полное напряжение всей цепи, и тиристор может самопроизвольно включиться.

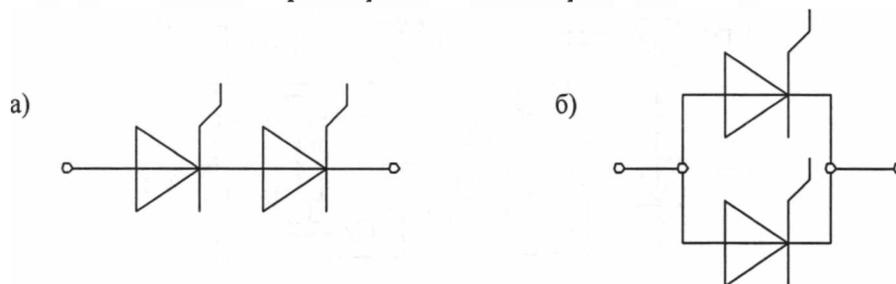


Рис. 9. Способы соединения вентилей  
а - последовательное соединение, б - параллельное соединение

При последовательном соединении применяют меры, обеспечивающие равномерное деление напряжения (подбор приборов одного класса с близкими значениями обратных токов и токов утечки или устанавливают специальные делители и схемы управления). Самое большое напряжение воспринимает прибор с наибольшим внутренним сопротивлением. Вольт-амперная характеристика тиристоров при последовательном соединении представлена на рис. 10.

В качестве выравнивающих устройств в статических режимах используют активные делители, в переходных - активно-емкостные делители (рис. 11, а, б). Применение активных делителей сопровождается потерями энергии, значение которой увеличивается с уменьшением сопротивления резисторов. В активно-емкостных делителях последовательно с конденсатором включается низкоомный (несколько десятков Ом) резистор,

служащий для ограничения тока разряда конденсатора, через включающий тиристор.

Параллельное соединение необходимо, если ток вентильного плеча превышает допустимый ток вентиля. В связи с тем, что ВАХ полупроводниковых элементов имеют статический разброс, равенство полных сопротивлений ветвей практически не существует. В динамических режимах тиристор, имеющий меньшее время включения, воспринимает весь ток цепи и может выйти из строя из-за теплового пробоя.

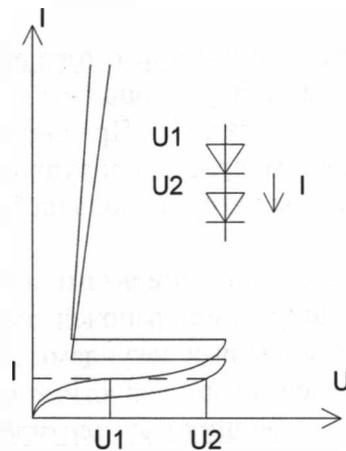


Рис. 10. Вольт-амперная характеристика тиристора при последовательном соединении

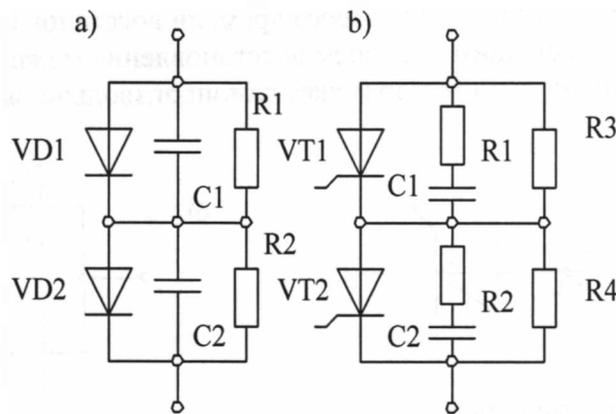


Рис. 11. Схемы цепей, выравнивающих напряжение в статических и динамических режимах

При параллельном соединении основной задачей является равномерное распределение тока между параллельными ветвями в статических и переходных режимах с учетом следующих требований:

- равномерное распределение тока в рабочем режиме,
- при обрыве цепи или отключении одного или нескольких вентилях, распределение тока между оставшимися в работе не должно существенно нарушаться,
- в режиме протекания аварийного тока распределение нагрузки должно быть таким, чтобы протекающий через любой из вентилях ток не превосходил максимально допустимой величины.

Для выравнивания характеристик ветвей применяют следующие методы:

- подбор приборов одного типа с одинаковыми характеристиками,

- принудительное деление тока с помощью дополнительных устройств (установка индуктивных делителей тока, включение последовательно с каждым вентиляем выравнивающих сопротивлений) (рис. 12).

**Обычно допускается недоиспользование нагрузочной способности СПП не более 10 %.**

В индуктивных делителях незначительны потери, но усложняется конструкция преобразователя. Активные делители проще, но не экономичны.

Групповое соединение вентиляей (рис. 13) применяется не только для увеличения допустимых значений тока и напряжения в ветвях, но так же для повышения надежности полупроводниковых преобразователей.

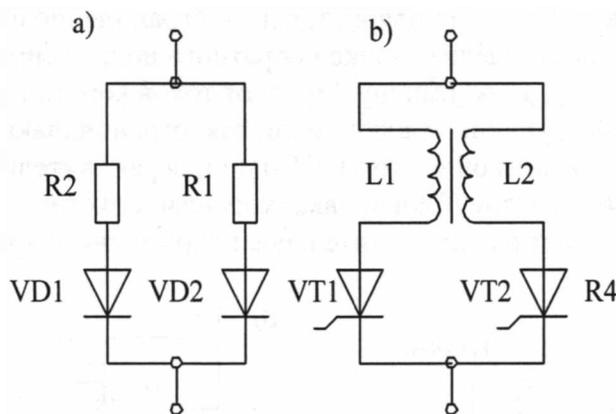


Рис. 12. Схемы выравнивания прямых токов при параллельном включении полупроводниковых приборов

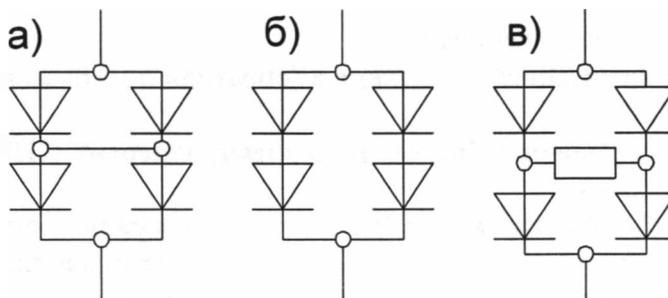


Рис. 13. Схемы группового соединения вентиляей

а - параллельно-последовательное, б - последовательно-параллельное, в - последовательно-параллельное соединение с выравнивающими сопротивлениями

При соединении вентиляей параллельно-последовательно:

- выход из строя одного из вентиля отражается на работу только одной ветви, следовательно, надежность данного способа соединения вентиляей будет выше,
- деление тока между ветвями более равномерное, вследствие статического распределения прямых падений напряжений в вентиляях.

Недостатки последовательно-параллельного соединения вентиляей:

- необходимость точного подбора вентиляей по ВАХ,

- снижение надежности соединений, т.к. выход из строя одного из вентилях отражается на работу всей группы.

Недостаток - необходимость использования отдельных РС – цепей для каждой ветви.

Достоинства последовательно-параллельного соединения с сопротивлениями, выравнивающими потенциалы отдельных вентилях:

- общая РС – цепь для всей группы вентилях,
- сохраняется преимущество параллельно-последовательного соединения в отношении равномерного распределения тока между ветвями.

Для уменьшения потерь в защитных РС цепях применяют “однополярные” РС - цепочки, представленные на рис. 14.

Назначение цепочек: с “прямой поляризацией” – ограничение прямых напряжений, с “обратной поляризацией” - ограничение скачков обратного напряжения.

Виды защиты полупроводниковых приборов: от токов коротко замыкания (плавкие предохранители, быстродействующие выключатели, токоограничивающие дроссели), перенапряжений (LC-фильтры низкой частоты, РС-цепи, ограничители напряжений).

Бесконтактная защита: снятие (блокировка) управляющих импульсов, перевод установки в рекуперативный режим, принудительное прерывание аварийного тока и т.д.

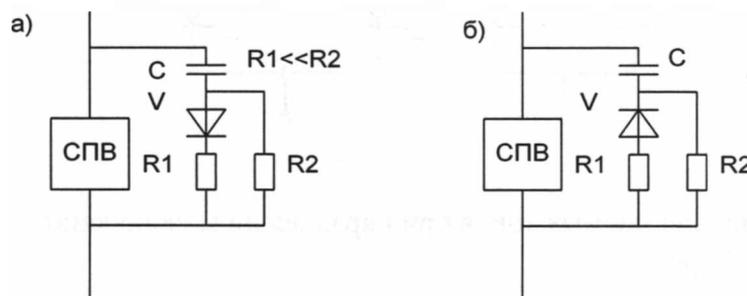


Рис. 14. “Однополярные” РС - цепочки  
а – схема с “прямой поляризацией”, б – схема с “обратной поляризацией”

### Полупроводниковые преобразователи электроэнергии (ППЭ)

#### Область применения:

- питание силовой нагрузки СЭС,
- сварочные агрегаты,
- системы возбуждения ЭМ,
- электропривод,
- зарядные агрегаты,
- катодная защита корпуса судна,
- валогенераторные установки,
- ГЭУ

#### Классификация ППЭ:



Рис. 15. Классификация полупроводниковых преобразователей электроэнергии

Требования Регистра к ППЭ:

- применение вентилях кремневого типа,
- коэффициент нелинейных искажений судовой сети, обусловленной работой ППЭ не должен превышать 10%,
- силовые ППЭ должны иметь световую сигнализацию о включенном и выключенном состоянии силовых цепей и цепей управления,
- длительное отклонение токов в параллельных ветвях не должно превышать 10% величины среднего тока,
- работа ППЭ не должна нарушаться при выходе из строя отдельных вентилях,
- при выходе из строя вентилях должна срабатывать звуковая и световая сигнализация,
- автоматическое снижение нагрузки на вентилях при превышении допустимых пределов и т.д.

Общие требования к системам защиты ППЭ:

- максимальное быстродействие в целях ограничения аварийных токов по длительности и амплитуде, определяемое перегрузочной способностью СПП,
- ограничение всех видов внешних и внутренних перенапряжений,
- безотказность работы при различных видах повреждений,
- отключение поврежденных участков без дополнительной нагрузки на оставшиеся в работе вентилях и перенапряжений на них,
- применение автоматического повторного включения преобразователя после срабатывания защиты при условии ликвидации аварийного процесса и т.д.

Аварийные режимы ППЭ:

- внешние аварии, вызванные к.з. в нагрузке или в распределительной сети,
- внутренние аварии, вызванные повреждениями вентилях или СУ ПП,
- “сквозные” и ”несквозные” срывы или опрокидывание инвертора (к.з. источника постоянного тока через инвертор при сквозном срыве или к.з. через обмотку трансформатора при несквозном срыве),
- появление уравнивающих токов в реверсивных ППЭ или ПП частоты с непосредственной связью (НПП) и т.д.

**Выпрямители**

Основные характеристики:

- среднее значение выпрямленного напряжения и тока ( $U_d, I_d$ ),
- коэффициент полезного действия,
- коэффициент мощности,
- внешняя характеристика -  $U_d=f(I_d)$ ,
- регулировочная характеристика –  $U_d=f(\alpha)$ , где  $\alpha$  - угол управления,
- коэффициент пульсаций – отношение амплитуды гармонической составляющей выпрямленного напряжения (тока) к среднему значению выпрямленного напряжения (тока).

Классификация выпрямителей

- однофазные,      - однотактные (со средней точкой),      - простые,      - управляемые,
- трехфазные,      - двухтактные (мостовые),      - составные,      - неуправляемые

### Режимы работы выпрямителей

- на активную нагрузку,
- на активно-индуктивную (активно-емкостную нагрузку),
- на противо - ЭДС

Основные схемные решения выпрямителей представлены на рис. 16. Назначение трансформатора - преобразование величины входного напряжения, электрическое разделение цепей, преобразование числа фаз.

На рис. 17, 18 представлены временные диаграммы напряжений и токов однофазного нулевого и мостового и трехфазного мостового выпрямителя при работе на активную нагрузку.

Процесс перехода ток от одной ветви схемы к другой, в результате чего меняется контур электрического тока, называется коммутацией. Наличие индуктивностей задерживает выключение вентилей и обуславливает появление интервала коммутации, который называется углом коммутации. Коммутация сопровождается внутренним междуфазным коротким замыканием. Процесс коммутации снижает величину среднего значения выпрямленного напряжения, а так же ухудшает гармонический состав выпрямленного напряжения и потребляемого из сети тока.

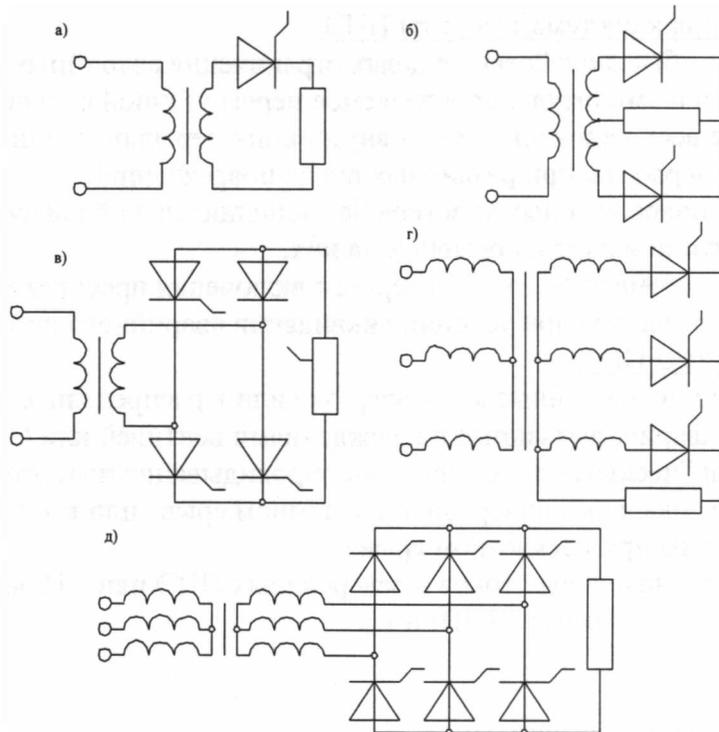


Рис. 16. Основные схемные решения выпрямителей

а – однофазный однополупериодный, б – однофазный со средней точкой, в - однофазный мостовой, г – трехфазный со средней точкой, д – трехфазный мостовой

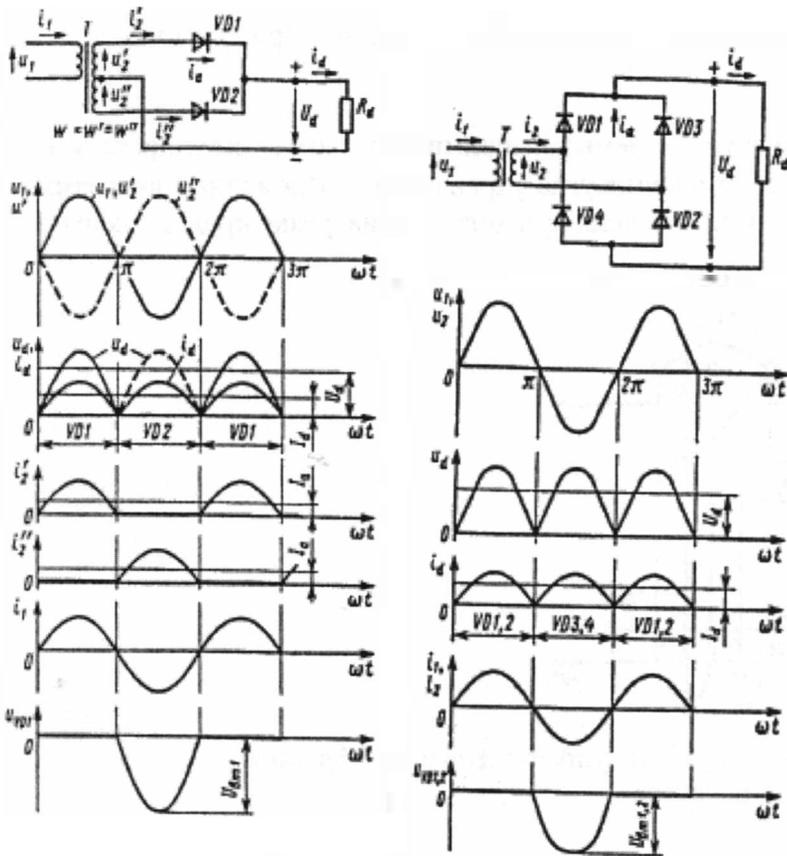


Рис. 17. Схема и временные диаграммы напряжений и токов нулевого и мостового однофазного выпрямителя

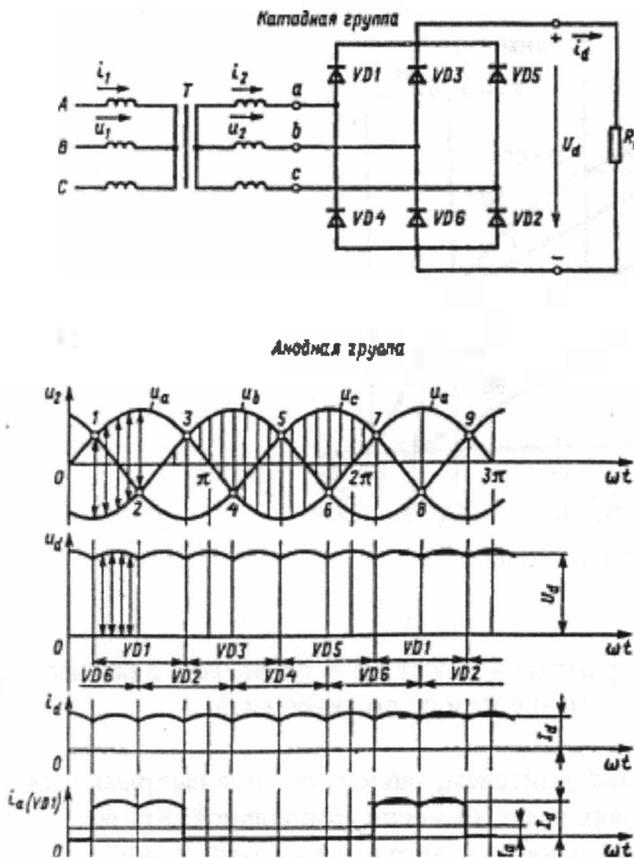


Рис. 18. Схема и временные диаграммы напряжений и токов мостового трехфазного Выпрямителя

Среднее значение напряжения в управляемых выпрямителях может регулироваться способом фазового управления, путем изменения угла управления  $\alpha$ . Временные диаграммы управляемого трехфазного мостового выпрямителя при активной нагрузке представлены на рис. 19.

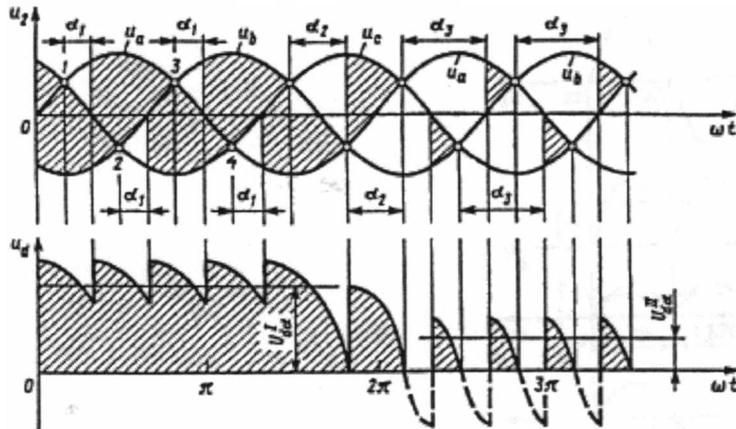


Рис. 19. Временные диаграммы режимов работы управляемого трехфазного мостового выпрямителя при активной нагрузке

На рис. 20 приведены регулировочная и внешняя характеристики данного выпрямителя. Падение напряжения в выпрямителе вызвано: процессом коммутации, обусловленное анодной индуктивностью, падением напряжения на активных сопротивлениях и падением напряжения на полупроводниковых вентилях.

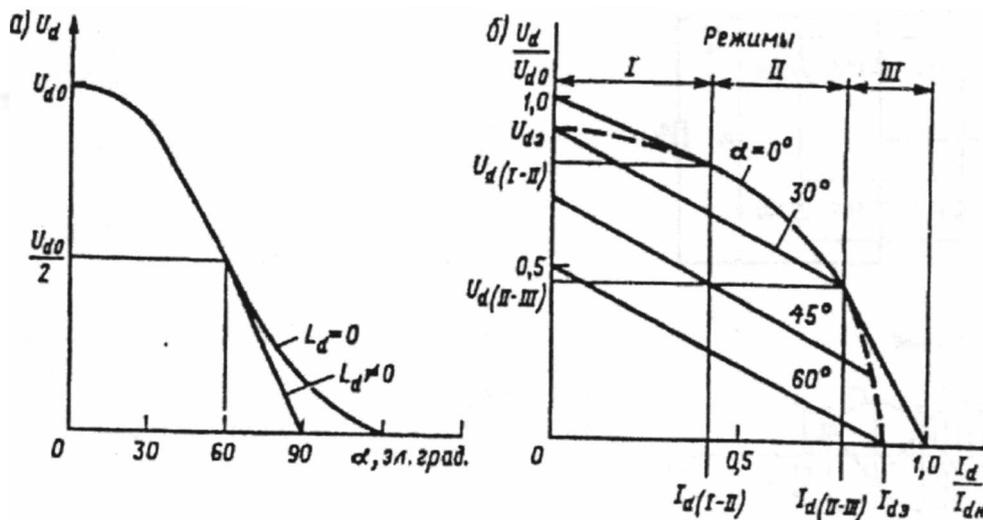


Рис. 20. Характеристики управляемого выпрямителя  
а – регулировочная, б - внешняя

Трехфазный полностью управляемый выпрямитель может быть переведен в режим работы ведомого сетью инвертора для возврата в сеть энергии от потребителей. (рекуперативное торможение).

Кривая первичного тока, потребляемого выпрямителем, зависит от типа выпрямителя и характера нагрузки, и практически во всех случаях является несинусоидальной. Кривая первичного тока содержит основную гармоническую составляющую с частотой равной

частоте сети, и некоторый спектр высших гармонических составляющих, что вызывает дополнительные потери в питающей сети (рис. 21).

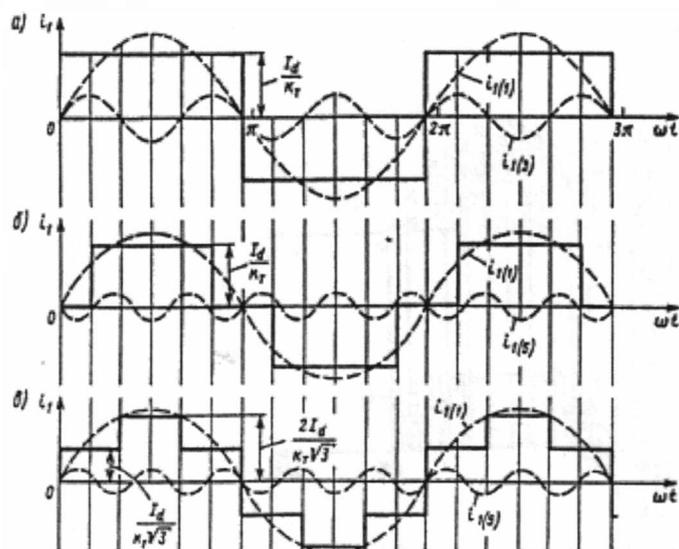


Рис. 21. Временные диаграммы тока, первой гармоники тока и старшей высшей гармоники тока  
 а – однофазный выпрямитель, б, в – трехфазный шестипульсовый выпрямитель

Выпрямители с фазовым управлением имеют коэффициент мощности меньше 1. Они обмениваются с источником питания реактивной мощностью, что вызывает дополнительные потери в генераторах, трансформаторах, линиях электропередач, нагреву электрооборудования. Снижение обмена реактивной энергией с сетью может быть осуществлено у выпрямителей на запираемых вентилях путем применения секторного регулирования (рис. 22).

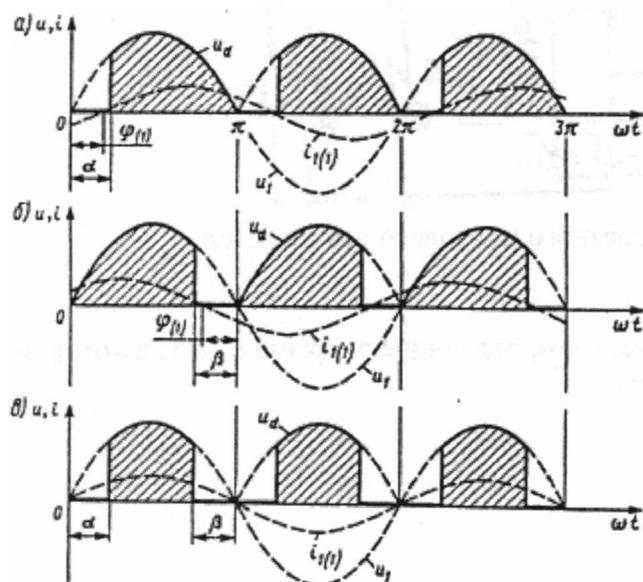


Рис. 22. Временные диаграммы секторного регулирования однофазным выпрямителем

Снижение потребляемой реактивной мощности и уменьшение искажения формы потребляемого тока можно осуществить при многократном включении и отключении вентилях в каждом плече схемы выпрямителя в течение одного периода напряжения

питающей сети (рис. 23). В этом случае возможны различные алгоритмы переключения вентилей, при которых на основе модуляции в каждой фазе формируется ток заданной формы с требуемым сдвигом фазового угла основной гармонической составляющей. Такие выпрямители относятся к импульсным.

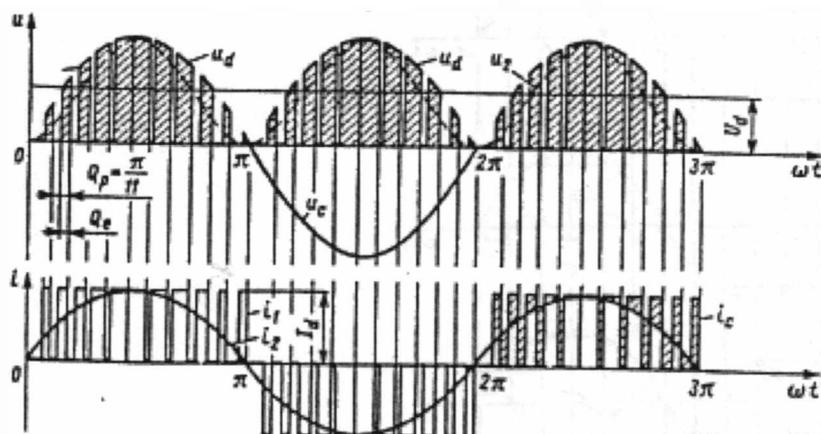


Рис. 23. Временные диаграммы импульсного однофазного мостового выпрямителя

#### Аварийные режимы работы выпрямителей

Аварийные режимы возникают вследствие недопустимых перегрузок, выхода из строя вентилей элементов схемы (пробой вентилей и т.д.), нарушение в системе управления и регулирования. Внутренние аварии (рис. 24, 1) возникают при повреждениях вентилей силовой схемы, внешние (рис. 24, 2, 3, 4) - в случае возникновения к.з. в сети переменного или постоянного, тока перегрузке или к.з. у потребителя.

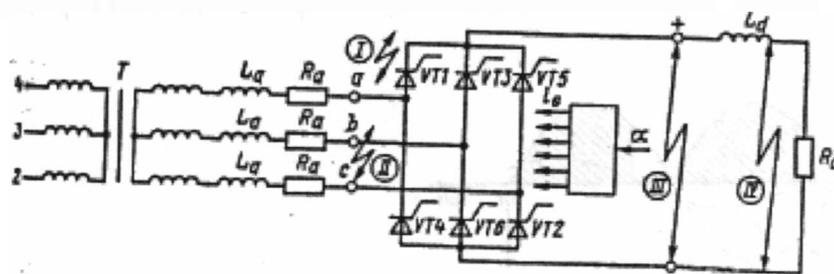


Рис. 24. Аварийные режимы трехфазного мостового выпрямителя

#### **Инверторы, ведомые сетью**

Инверторы, ведомые сетью - инверторы, отдающие энергию в сеть, в которой имеется источник ЭДС переменного тока.

Ведомые инверторы выполняются по тем же схемам, что и управляемые выпрямители (рис. 25). Элементной базой ведомых инверторов являются не запираемые вентили (тиристоры). Управление инверторами осуществляется таким образом, чтобы обеспечивалась коммутация тиристоров благодаря ЭДС сети.

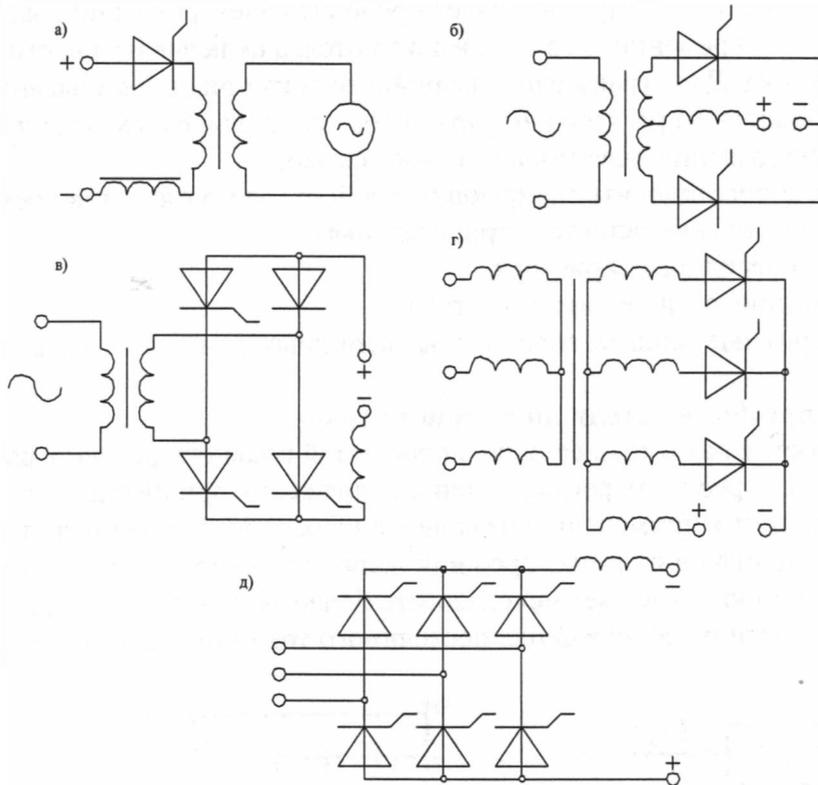


Рис. 25. Основные схемные решения ведомых инверторов  
 а – однофазный однополупериодный, б – однофазный со средней точкой, в - однофазный мостовой, г – трехфазный со средней точкой, д – трехфазный мостовой

Зависимость среднего значения напряжения инвертора от угла открытия тиристоров (угла опережения включения тиристоров  $\beta$ ) называется регулировочной характеристикой (рис.26). При изменении угла от 0 до  $\pi/2$  преобразователь работает как выпрямитель, а при изменении от  $\pi/2$  до  $\pi$  - как ведомый инвертор. Зависимость напряжения, подводимого от источника постоянного тока с ЭДС  $E$  от тока инвертора, называется входной (внешней) характеристикой (рис.26).

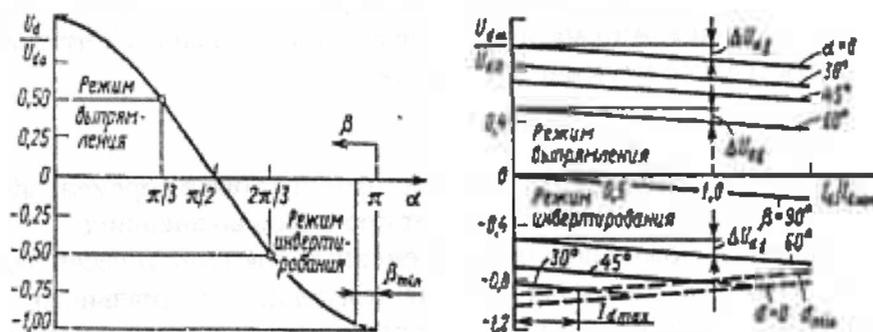


Рис. 26. Регулировочная и внешние характеристики выпрямительно-инверторного преобразователя

### Аварийные режимы работы ведомых инверторов

Специфичным аварийным режимом ведомого инвертора является опрокидывание.

Опрокидывание наступает в случае, если тиристор после токопроводящего периода не запирается, а снова вступает в работу и начинает проводить электрический ток. При этом ЭДС сети постоянного и переменного тока не вычитаются, а складываются, что приводит к резкому возрастанию тока. Для ограничения аварийного тока при опрокидывании инвертора индуктивность сглаживающего реактора выбирают гораздо больше, чем в выпрямителях

Причины опрокидывания инвертора ведомого сетью:

- тиристор не успевает восстановить запирающие свойства за промежуток времени, в течение которого напряжение остается отрицательным,
- пропуск отпираания очередного тиристора,
- уменьшение напряжения сети переменного тока.

Остальные аварийные режимы аналогичны аварийным режимам в выпрямителях.

### **Импульсные преобразователи постоянного тока**

Применение постоянного тока связано с проблемой плавного регулирования напряжения нагрузки. Потребность регулирования напряжения при питании от сети постоянного тока приводит к применению неэкономичных способов, основанных на применении токоограничивающих резисторов или делителей напряжения. Применение полупроводниковой техники позволяет использовать более экономичный, надежный и эффективный способ регулирования в цепях постоянного тока - импульсное регулирование (рис. 27).

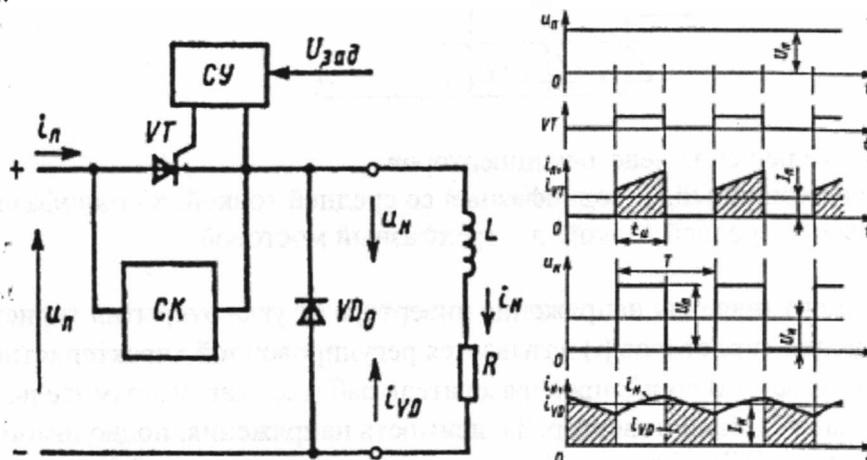


Рис. 27. Схема и временные диаграммы импульсного преобразователя постоянного тока

СК – схема коммутации, СУ – система управления

Принцип импульсного регулирования заключается в периодическом подключении источника постоянного тока к нагрузке. Автоматическое задание длительности интервала позволяет плавно регулировать среднее значение напряжения.

### **Автономные инверторы**

Автономные инверторы (АИ) - преобразователи постоянного тока в переменный, коммутация тока в которых осуществляется независимо от процессов во внешних электрических цепях. На выходе АИ можно получить переменный ток теоретически любой частоты при плавном регулировании частоты и напряжения от нуля до максимального значения. В качестве элементной базы в АИ могут применяться полностью управляемые СПП (запираемые тиристоры, силовые транзисторы) или не полностью управляемые СПП (однооперационные тиристоры), дополненные узлами принудительной коммутации.

По характеру обмена электроэнергией между источником питания и потребителем различают автономные инверторы напряжения (АИН) и тока (АИТ). АИН питаются от источника напряжения, форма кривой напряжения не зависит от характера нагрузки, реактивный ток нагрузки замыкается через обратные диоды. Для АИТ характерно значительное колебание напряжения на входе инвертора при постоянном токе источника, зависимость формы кривой напряжения на выходе и входе инвертора от нагрузки.

На рис. 28 представлена схема мостового АИН.

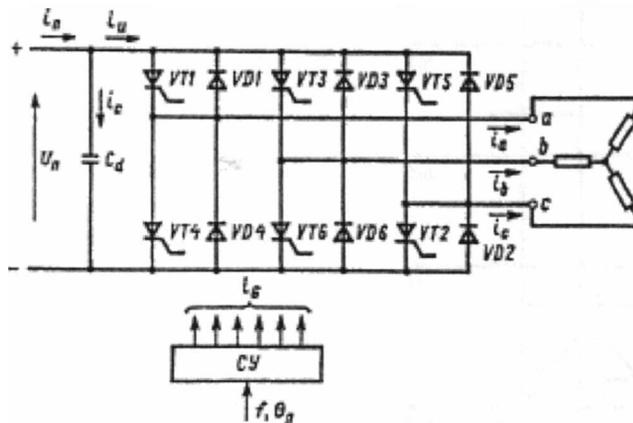


Рис. 28. Трехфазный мостовой инвертор напряжения

Частота выходного напряжения задается схемой управления в результате изменения длительности цикла переключения тиристорных ключей. Временные диаграммы напряжения и токов при однократном переключении тиристоров на интервале одного периода выходной частоты представлены на рис. 29. Применяя многократное включение и выключение тиристоров на интервале одного периода (многоимпульсная модуляция) можно задавать ток нагрузки требуемой формы при плавном регулировании величины выходного напряжения. Применяют различные алгоритмы многоимпульсной модуляции. Наиболее широкое распространение находит широтно-импульсная модуляция (ШИМ) с формированием огибающей в виде прямоугольника, трапеции или синусоиды (рис. 30). Прямоугольную модуляцию называют широтно-импульсным регулированием (ШИР).

Максимальная выходная частота АИТ ограничена и значительно меньше, чем у АИН. Это связано с продолжительным временем коммутации, которое в основном зависит от емкости коммутирующих конденсаторов. Вследствие этого в АИТ трудно получить широтно-импульсное регулирование выходного тока. Для АИТ возможно только амплитудное регулирование. С внедрением в преобразовательную технику полностью управляемых вентилях достоинства АИН пред АИТ становятся все более очевидными.

Для автономных инверторов характерны те же аварийные режимы, что и для инверторов ведомых сетью. При этом все виды аварий приводят к опрокидыванию инвертора.

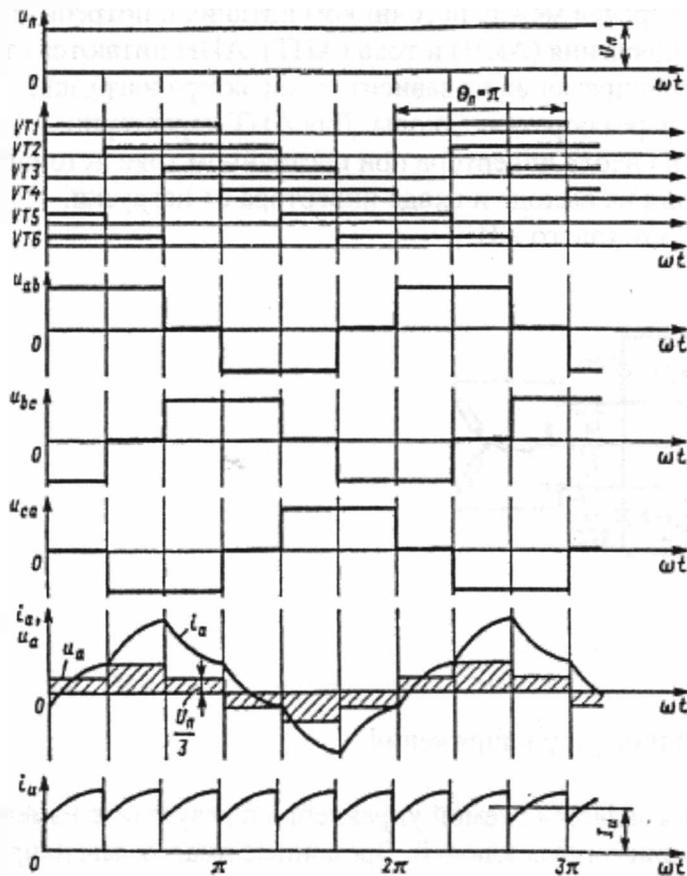


Рис. 29. Временные диаграммы напряжения и токов АИН при однократном переключении тиристоров на интервале одного периода выходной частоты

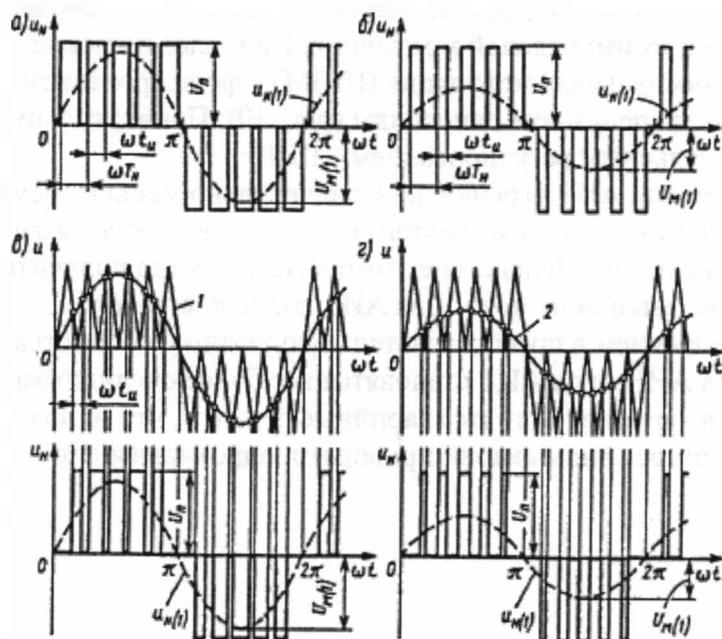


Рис. 30. Временные диаграммы напряжения и токов АИН при регулировании методом многоимпульсной модуляции  
 а, б – прямоугольный закон, в, г – синусоидальный закон  
 1 – опорное напряжение, 2 модулирующая синусоида

## Преобразователи переменного тока с одними параметрами в переменный ток с другими параметрами

Классификация преобразователей переменного тока представлена на рис. 31.



Рис. 31. Классификация преобразователей переменного тока по функциональному назначению

Основным назначением регуляторов напряжения является плавное изменение напряжения на нагрузке. Схема и временные диаграммы трехфазного тиристорного регулятора напряжения при работе на резистивную нагрузку представлена на рис. 32.

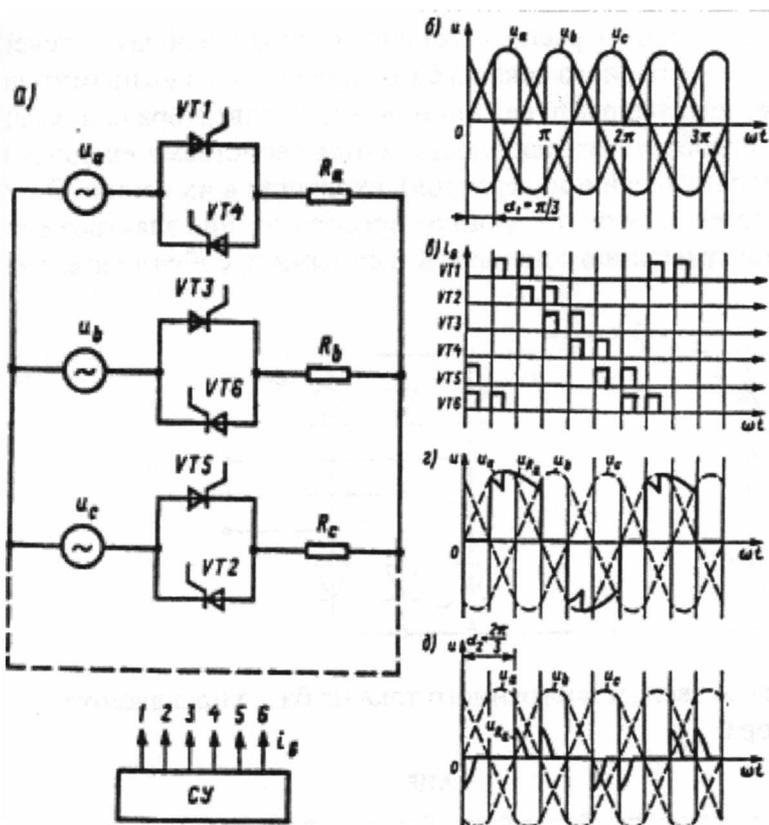


Рис. 32. Схема и временные диаграммы трехфазного тиристорного регулятора напряжения при работе на резистивную нагрузку

В диаграммах напряжения можно выделить две характерные зоны: с непрерывным напряжением на нагрузке и прерывистом напряжении. Во второй зоне регулирования напряжение на нагрузке в течение одного полупериода прерывистое, поэтому в этой зоне на тиристоры необходимо подавать двойные импульсы управления с интервалом  $\pi/3$  или сигналы управления длительностью более  $\pi/3$ .

Классификация полупроводниковых преобразователей частоты представлена на рис.

33.

Преобразователи частоты

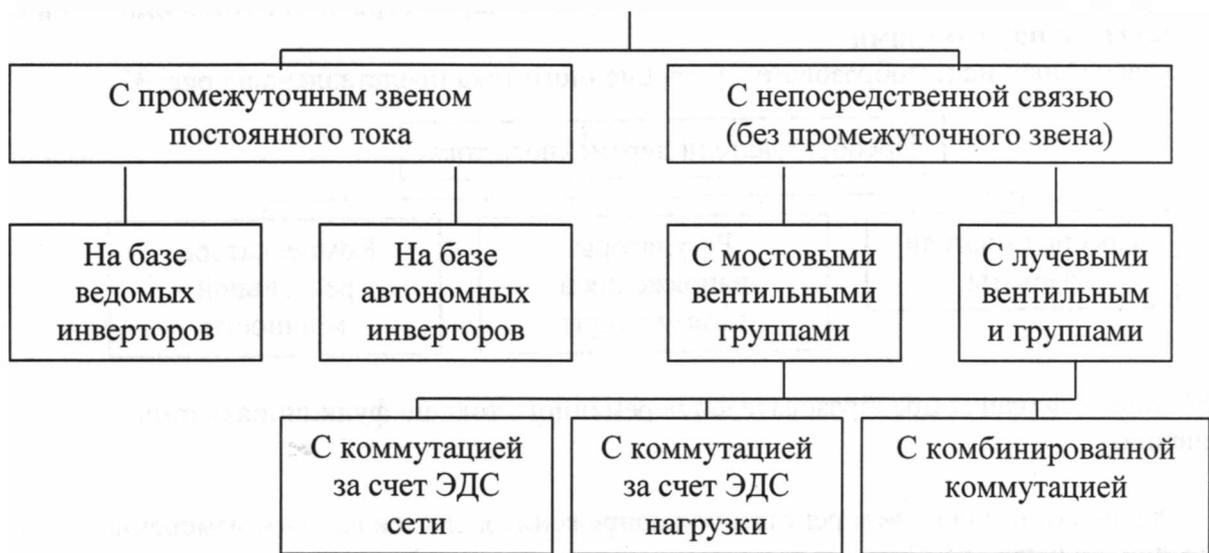


Рис. 33. Классификация полупроводниковых преобразователей частоты

На рис. 34, 35 представлены наиболее распространенные типы преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе управляемого выпрямителя - ведомого инвертора и неуправляемого выпрямителя - автономного инвертора напряжения. Свойства и особенности данных преобразователей определяются свойствами входных и выходных преобразователей (выпрямителей и инверторов), входящих в их состав. Одна из особенностей данных преобразователей является двойное преобразование электроэнергии, что несколько снижает их КПД по сравнению с непосредственными преобразователями частоты (НПЧ).

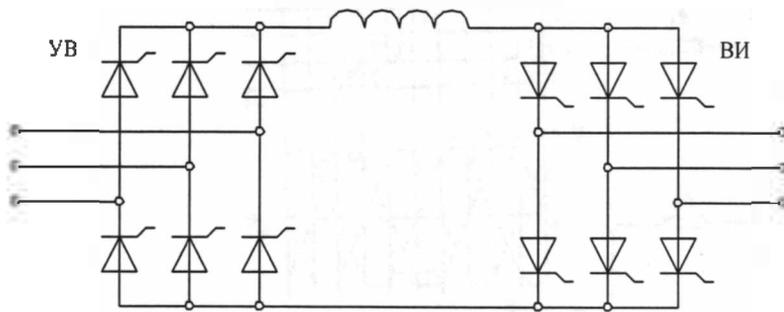


Рис. 34. Преобразователь частоты со звеном постоянного тока на базе управляемого выпрямителя и ведомого инвертора

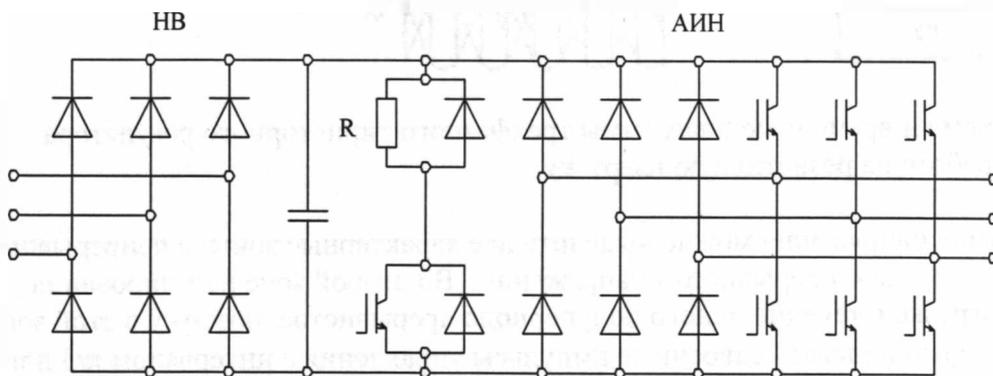


Рис. 35. Преобразователь частоты со звеном постоянного тока на базе неуправляемого выпрямителя и автономного инвертора напряжения

На рис. 36 представлен однофазно-однофазный НПЧ и временные диаграммы напряжений и токов.

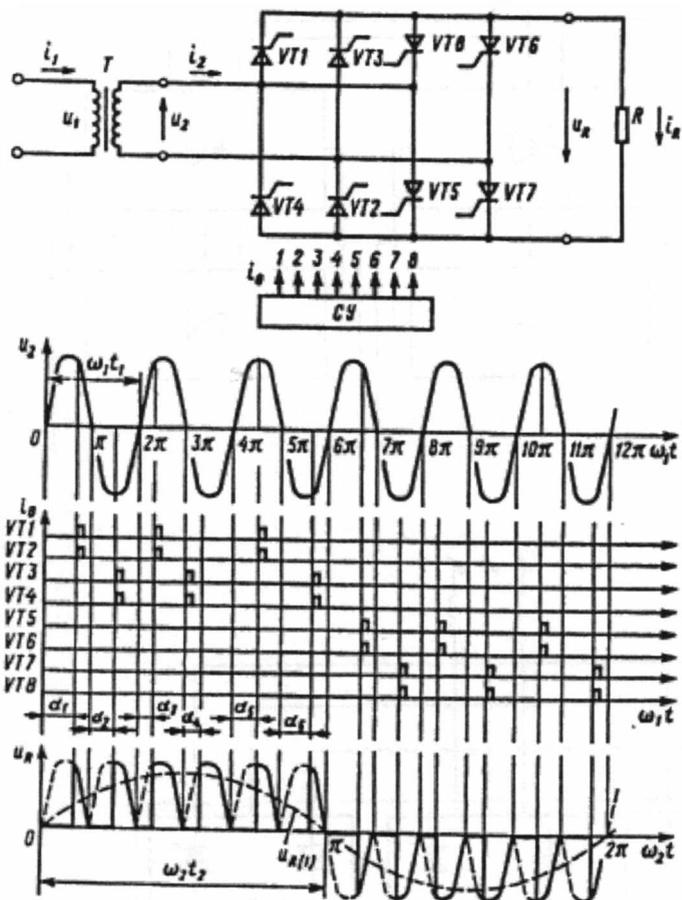


Рис. 36. Схема и временные диаграммы однофазно-однофазного мостового НПЧ

Частота выходного напряжения меняется дискретно. При активно индуктивной нагрузке в конце каждого полупериода выходного напряжения ток нагрузки продолжает протекать в прежнем направлении под действием ЭДС самоиндукции. Для обеспечения нормальной работы НПЧ при активно-индуктивной нагрузке используют два алгоритма управления тиристорами: с заданием начала формирования кривой напряжения очередного полупериода по сигналу от датчика перехода тока нагрузки через нуль и с непрерывным заданием управления тиристорами обеих групп без датчика нуля тока нагрузки. Алгоритм управления с контролем перехода тока через нуль исключает одновременное включение тиристоров в катодной и анодной группах и предотвращает к.з. трансформатора. Наличие датчика нуля усложняет схему НПЧ. В схеме НПЧ без датчика нуля тока предусматривается непрерывное управление тиристорами обеих групп. При этом, чередуясь, одна группа тиристоров работает в выпрямительном, а вторая в инверторном режиме, что приводит к к.з. трансформатора, сопровождающимся протеканием уравнивающего тока, который возникает под действием разности мгновенных значений выходного напряжения обоих мостов. Для ограничения уравнивающего тока используют уравнивающие реакторы с выведенной средней точкой.

Для питания трехфазной нагрузки применяют НПЧ, выполненный из трех самостоятельных мостовых групп (рис. 37).

Схема трехфазного НПЧ с нулевыми вентильными группами на 18 тиристорах представлена на рис. 38.

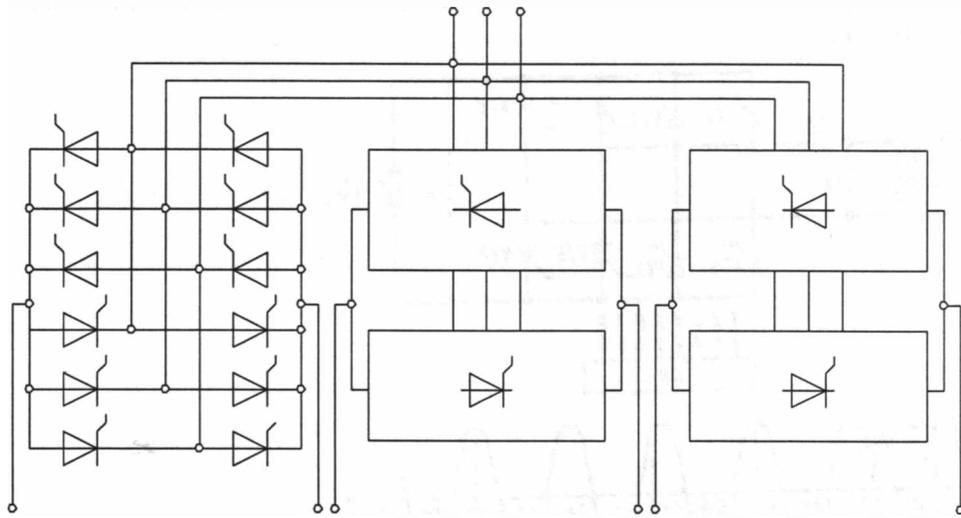


Рис. 37. Трехфазный мостовой НПЧ

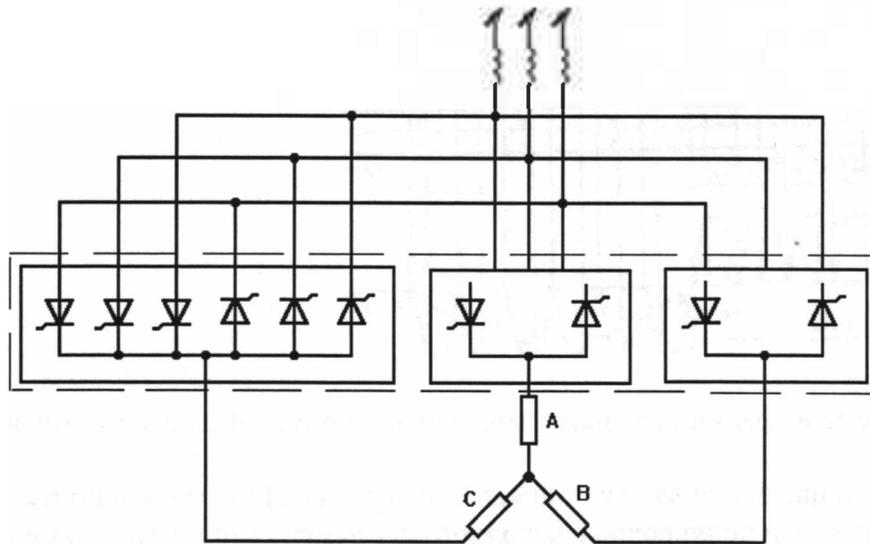


Рис. 38. Схема трехфазного НПЧ с нулевыми вентильными группами на 18 тиристорах

К достоинствам НПЧ, выполненных с использованием трехфазных мостов, следует отнести то, что амплитуда пульсаций в кривой выходного напряжения по сравнению с трехфазной нулевой схемой уменьшается примерно в два раза при одновременном увеличении вдвое частоты пульсаций. К недостатком - большое количество вентилей, более сложная система управления, появление уравнивающих токов, что приводит к необходимости применения дополнительных средств для их снижения.

### Системы управления ПП

**Назначение:** формирование управляющих импульсов определенной формы и длительности, распределение по вентилям с изменением момента подачи

#### Требование к СУ:

- формирование управляющих импульсов заданной амплитуды напряжения и тока (тиристоры – 10–20 В, 20–2000 мА, транзисторы 0,5–3 В, 0,1–2 А),
- формирование импульсов заданной крутизны фронта (до 10 В/мкс),
- широкий диапазон регулирования,

- симметрия управляющих импульсов ( несимметрия в большинстве случаев не должна превышать 1,5-2,5 эл. град.),
  - высокое быстродействие СУ, которое не должно влиять на быстродействие ПП
- Функции СУ:**

- формирование алгоритма переключения вентилей,
- формирование интервалов проводимости вентилей,
- управление интервалами проводимости путем воздействия на СУ внешними управляющими сигналами и сигналами обратной связи,
- управление вентиляльными комплектами и т.д.

**Классификация СУ**

- одноканальные, - горизонтальные, - синхронные, - цифровые - замкнутые.
- многоканальные - вертикальные - асинхронные - аналоговые, - разомкнутые

**СИФУ** (системы импульсно-фазового управления) – системы управления, в которых управляющий сигнал имеет форму импульса, фазу которого можно регулировать.

**ФСУ** (фазосмещающее устройство) - узел, выполняющий функцию изменения углов управления вентилей.

Вертикальная схема и временные диаграммы одноканальной СУ однофазным мостовым выпрямителем представлены на рис. 39

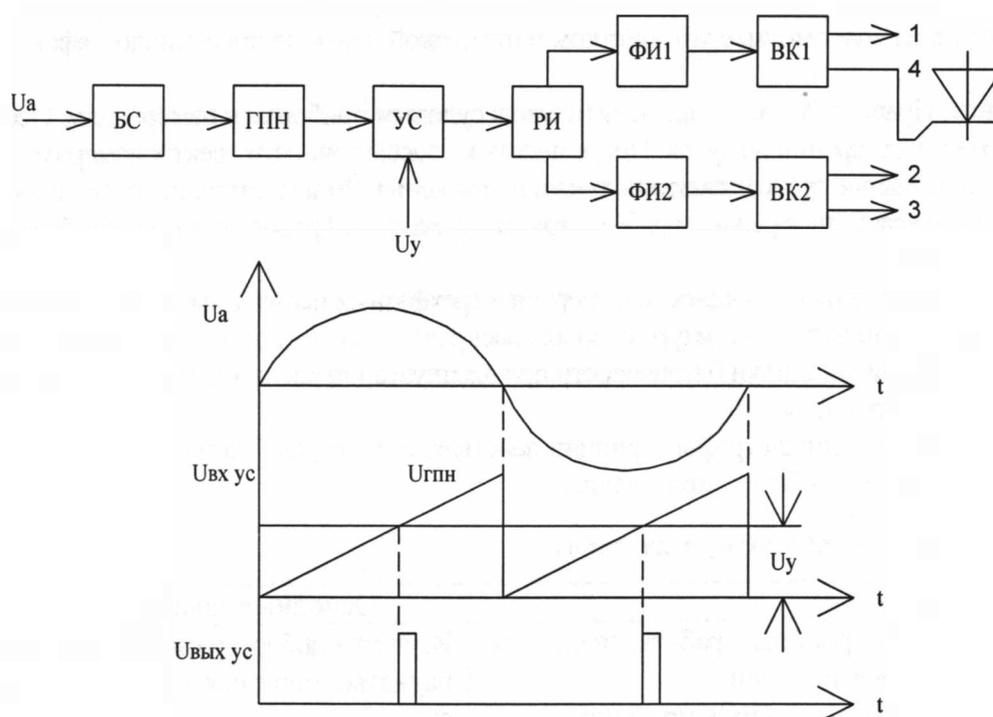


Рис. 39. Вертикальная схема и временные диаграммы одноканальной СУ однофазным мостовым выпрямителем

БС – блок синхронизации, ГПН – генератор пилообразного напряжения, УС - устройство сравнения, РИ – распределитель импульсов, ФИ1, 2 – формирователь импульсов, ВК1, 2 – выходной каскад

## СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА (СЭТ)

**Краткие методические указания при изучении СЭТ.** Вводная лекция знакомит слушателей с назначением, устройством судовых электроизмерительных приборов, их принципами действия и эксплуатацией. При использовании электроизмерительных приборов, расположенных на главном распределительном щите (ГРЩ) необходимо рассмотреть преимущества и недостатки того или иного прибора в условиях эксплуатации на судне.

Следует обратить внимание на большое значение осциллографирования переходных процессов для изучения режимов работы гребных электрических установок, судовых электроприводов, электрических станций и др.

Необходимо обратить внимание на систематическое измерение тока, напряжения, мощности, сопротивления изоляции и других электрических и неэлектрических величин при эксплуатации судовых энергетических установок.

Следует показать, что эксплуатация судовой электроизмерительной аппаратуры требует соблюдения правил техники безопасности.

**Рекомендации по выполнению лабораторных работ.** Практическое ознакомление с устройствами и применением приборов всех принципов действия, установленных на ГРЩ.

Следует достигнуть ясного понимания определения значения абсолютной погрешности измерений, исходя из класса точности приборов.

Использование осциллографов для контроля эксплуатационных характеристик оборудования предусматривает знакомство с устройством и практикой применения осциллографов.

**Содержание.** Правила Регистра применительно к судовым приборам и измерениям. Особенности работы средств измерений на судах. Погрешность и классы точности электроизмерительных приборов.

Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Виды и причины погрешностей. Нормальные и аварийные режимы работы трансформаторов. Требования техники безопасности при их эксплуатации.

Измерение активной мощности и энергии в трехфазных цепях. Измерение сопротивления изоляции. Измерительная аппаратура судовых распределительных щитов, схемы соединения, назначение и правила техники безопасности при эксплуатации электроизмерительных приборов и распределительных щитов.

Электронные осциллографы. Принцип действия, структурная схема, назначение блоков, свойства, особенности, область применения.

### Содержание лабораторных работ

№	Тема	Основные задачи
1	Изучение устройства и работы стенда для испытания и поверки электроизмерительных приборов.	Изучить приборы разных принципов действия, научиться определять их эксплуатационные свойства.
2	Измерительные трансформаторы тока и напряжения.	Показать нормальные и аварийные режимы работы трансформатора.
3	Измерение электрических величин в трехфазных цепях.	Изучить методы и средства измерений, обеспечивающие безаварийный режим работы электроэнергетической установки.
4	Изучение электронно - лучевого осциллографа.	Ознакомиться с измерением различных электрических величин осциллографом.

Литература:

1. Семенов С.П., Горелейченко А.В., Богачев Э.Ю. Судовые электроизмерительные приборы и информационные системы: Учебник. - М., Транспорт, 1982.

2. Бишард Е.Г. и др. Аналоговые электроизмерительные приборы: Учебное пособие для вузов. - М., Высшая школа, 1991.

# 1. Изучение устройства и работы стенда для испытания и поверки электроизмерительных приборов

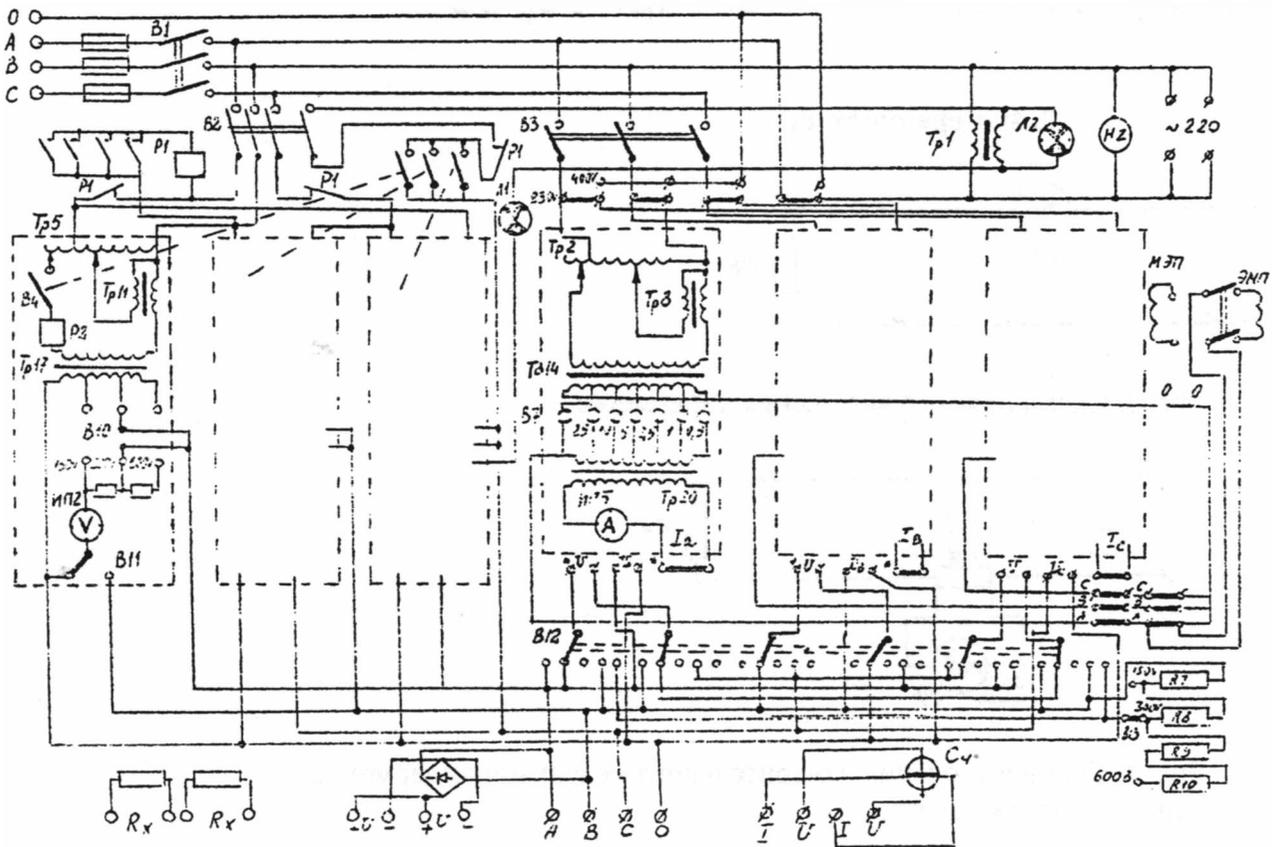
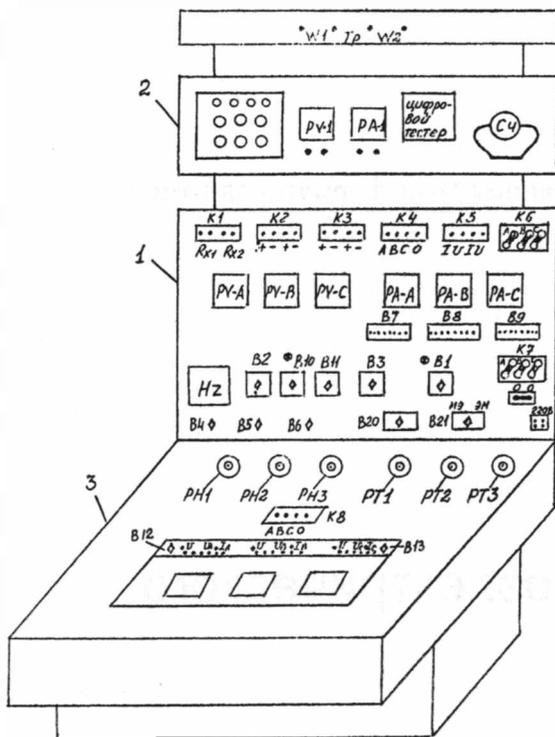


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема для испытания и поверки электроизмерительных приборов



## Рис. 2. Стенд для испытания и поверки электроизмерительных приборов

### 2. Измерение тока

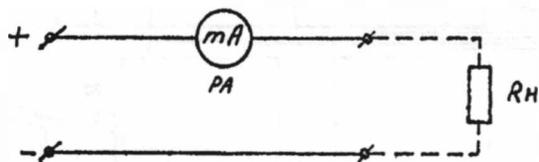


Рис. 3. Схема прямого включения амперметра

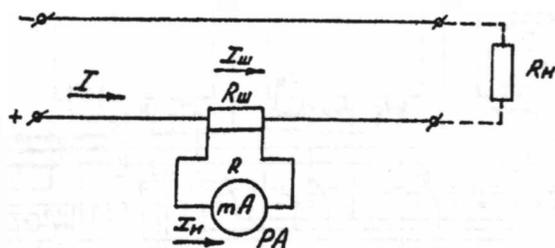


Рис. 4. Схема включения измерительного механизма амперметра с использованием шунта.

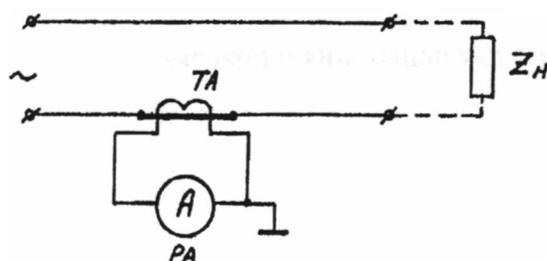


Рис. 5. Измерения переменного тока с использованием трансформаторов тока и электромагнитного амперметра

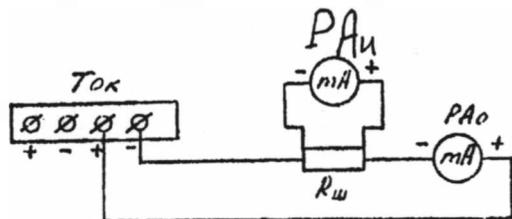


Рис. 6. Схема поверки магнитоэлектрического прибора

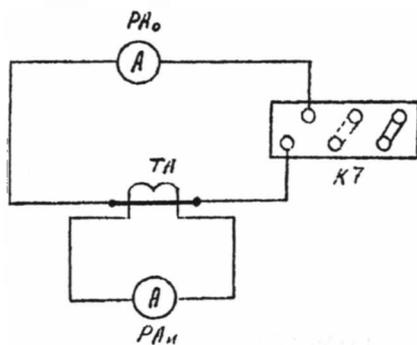


Рис. 7. Схема поверки электромагнитного прибора  
**3. Измерение напряжений**

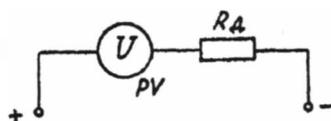


Рис. 8. Измерения напряжения магнитоэлектрическим прибором с добавочным резистором

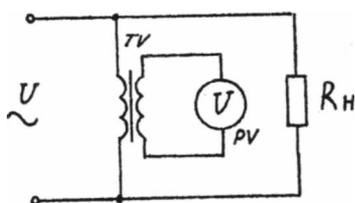


Рис. 9. Измерения напряжения в цепях переменного тока с использованием трансформатора напряжения

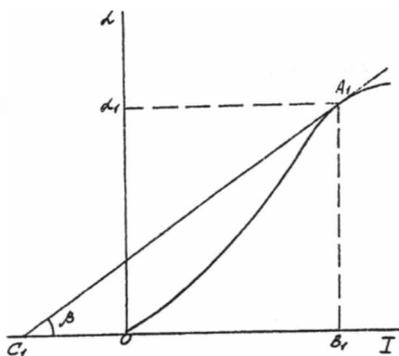


Рис. 10. Кривая для определения чувствительности вольтметра

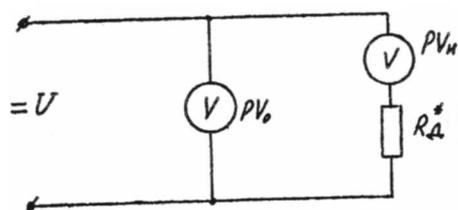


Рис. 11. Схема поверки магнитоэлектрического вольтметра с добавочным резистором

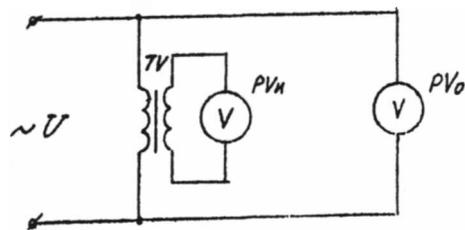


Рис. 12. Схема проверки электромагнитного вольтметра с использованием трансформатора напряжения

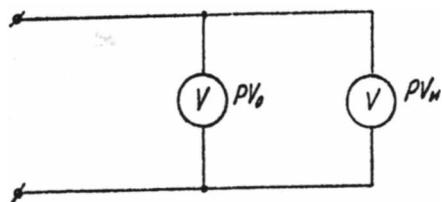


Рис. 13. Схема градуировки измерительного механизма вольтметра

#### 4. Измерение сопротивлений в судовых цепях

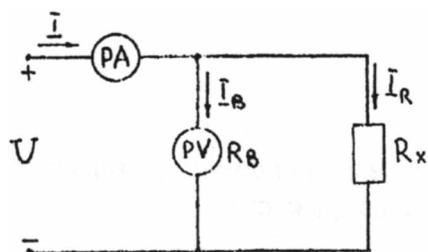


Рис. 14. Метод амперметра и вольтметра

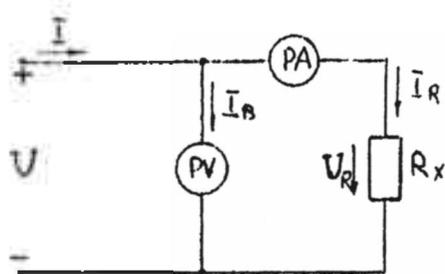


Рис. 15. Метод амперметра и вольтметра

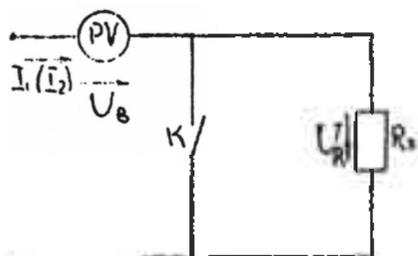


Рис. 16. Метод одного вольтметра

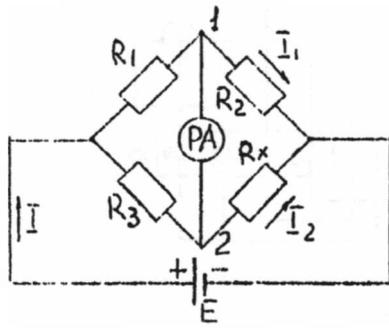


Рис. 17. Измерительный мост

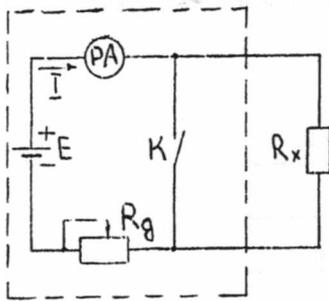


Рис. 18. Омметр с механическим противодействующим моментом

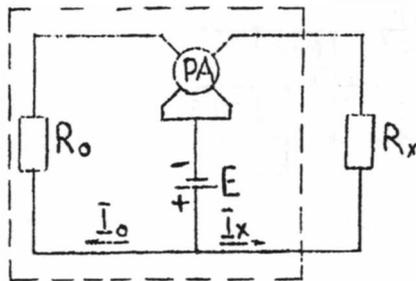


Рис. 19. Логометрический омметр

## 5. Исследование индукционных приборов

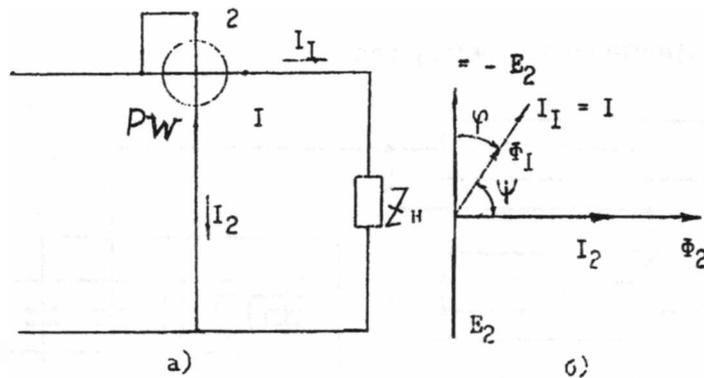


Рис. 20. а). схема включения индукционного счетчика;  
б). упрощенная векторная диаграмма

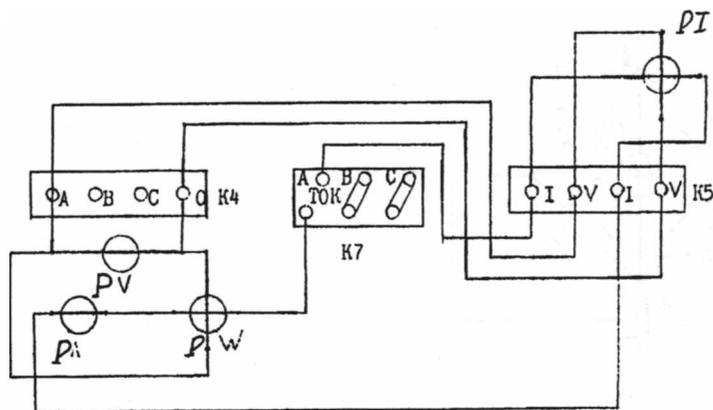


Рис. 21. Схема установки для поверки счетчика активной энергии

### 6. Измерение мощности в трехфазных цепях

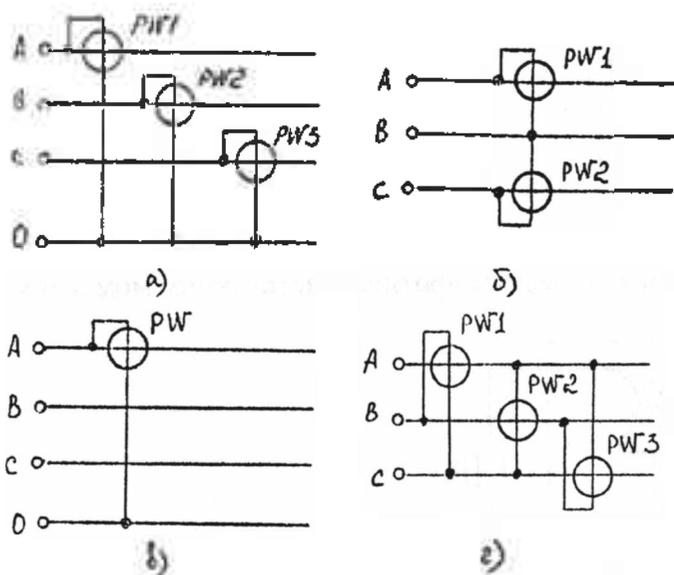


Рис. 22. а) Схема измерения активной мощности в трехфазной цепи с нулевым проводом; б) Схема измерения активной мощности методом двух ваттметров; в) Схема измерения активной мощности методом одного ваттметра при симметричной и равномерной нагрузке; г) Схема измерения реактивной мощности

### 7. Исследование электронного осциллографа.

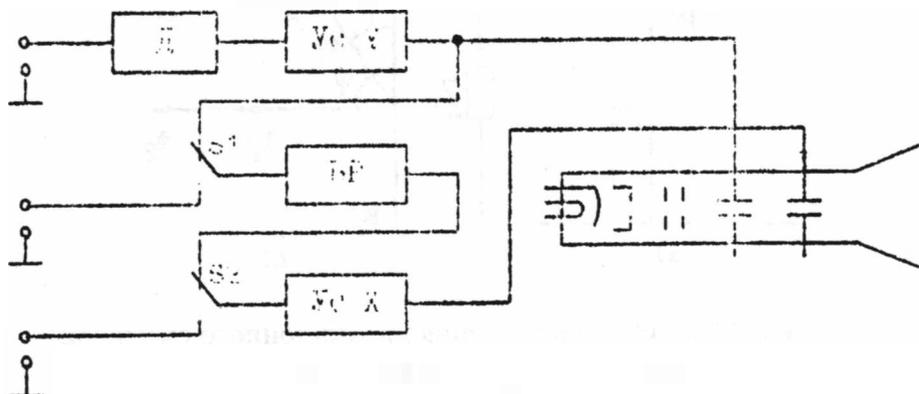


Рис. 23. Упрощенная структурная схема электронно-лучевого осциллографа

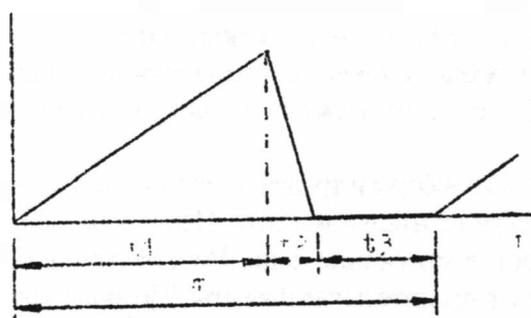


Рис. 24. Вид выходного напряжения блока развертки

### Измерительная аппаратура судовых распределительных щитов и правила безопасности при ее эксплуатации.

**Общие сведения.** Измерение электрических величин в судовых энергетических установках выполняется регулярно и в наибольшем объеме с помощью измерительных приборов, установленных на главном распределительном щите (ГРЩ) судовой электростанции.

На шины главного распределительного щита поступает электроэнергия, вырабатываемая генераторами станции. Отсюда она подается на распределительные щиты, установленные в различных помещениях судна, на палубах и т. д. От распределительных щитов энергия поступает к потребителям.

Состав электроизмерительных приборов ГРЩ регламентирован Правилами Регистра. Он зависит от рода тока, вида энергетического объекта и особенностей его эксплуатации, в частности от того, предусматривается ли параллельная работа генераторов станции. Измерительные приборы, аппараты управления, контроля работы генераторов и потребителей энергии группируются на секциях ГРЩ, называемых панелями, в зависимости от их принадлежности к тем или иным энергетическим объектам судна. В соответствии с этим признаком ГРЩ, как правило, имеет генераторные и распределительные, а иногда и другие панели.

На генераторных панелях устанавливаются автоматические выключатели, рубильники и их приводы, электроизмерительные приборы, аппараты контроля цепей генераторов, а на распределительных - аналогичная аппаратура и измерительные приборы потребителей энергии, питаемых от данной панели.

Все электроизмерительные приборы, применяемые на судах, должны иметь пломбы завода-изготовителя или предприятия, выполнившего ремонт прибора, а также клеймо поверяющей организации. Снятие пломб и ремонт электроизмерительных приборов силами судового персонала запрещаются.

Для обеспечения необходимой достоверности измерительной информации щитовые электроизмерительные приборы должны проверяться не реже, чем раз в два года. Контрольные приборы проверяют не реже одного раза в год.

Для обеспечения безопасной эксплуатации судовые распределительные щиты заземляют. Металлические корпуса измерительных приборов, установленных на щитах, должны быть также электрически соединены со щитом. Следует обратить внимание на заземление приборов, имеющих амортизаторы, так как последние часто являются изоляторами. Для увеличения безопасности обслуживающего персонала вокруг щитов напряжением выше 36 В палубу покрывают рифленой маслостойкой диэлектрически прочной резиной.

В процессе эксплуатации аппаратуру, установленную на судовых щитах, в том числе измерительную, надо подвергать профилактическому осмотру не реже одного раза в три месяца. Судовые электротехнические установки напряжением до 1000 В согласно правилам техники безопасности разрешается осматривать одному лицу из электротехнического персонала судна. При

осмотре распределительных устройств, щитов и т. п. запрещается снимать ограждения, касаться токоведущих частей, устранять обнаруженные в них неисправности. Правилами техники безопасности, однако, разрешается заменять перегоревшие плавкие вставки предохранителей вольтметров без снятия напряжения (в случае невозможности отключения цепи вольтметра). Эту работу надо выполнять в предохранительных очках, пользуясь изолирующими клещами, или в диэлектрических перчатках и галошах. В этом случае смену предохранителей может производить одно лицо.

Отключать или заменять измерительные приборы и трансформаторы можно только при полностью или частично отключенном распределительном щите. Непосредственно перед началом работ необходимо отключить соответствующие цепи. Во избежание подачи напряжения к месту выполнения работ надо вывесить предупредительные плакаты "Не включать – работают люди!" на рукоятках рубильников и приводов выключателей, разъединителей, а также на пусковых кнопках аппаратов, с помощью которых может быть подано напряжение на отключенную установку. Если работы по отключению или замене измерительной аппаратуры выполняются без применения переносных заземлений, то должны быть приняты дополнительные меры предупреждения ошибочной подачи напряжения к месту работ: механический запор приводов отключенных рубильников, выключателей и т. п., установка изолирующих прокладок между контактами рубильников, автоматов, препятствующих их замыканию даже в случае попытки включения этих аппаратов.

После отключения щита необходимо убедиться в отсутствии напряжения между разноименными полюсами (фазами), а также между каждым полюсом (фазой) и заземленными предметами. В установках напряжением до 220 В проверять отсутствие напряжения разрешается с помощью контрольной лампы, а при более высоком напряжении – специальным индикатором напряжения. Показания измерительных приборов, установленных на поверяемом щите, свидетельствующие об отсутствии напряжения на его токоведущих частях, недостаточны для того, чтобы можно было начать работы по отключению или ремонту измерительной аппаратуры.

Убедившись в отсутствии напряжения, отключенные токоведущие части заземляют с помощью переносных перемычек. Последние присоединяют к токоведущим частям со всех сторон, откуда может быть подано напряжение к месту выполнения работ. Перемычка сначала должна быть присоединена к заземляющей шине, соединенной с металлическим корпусом судна, и только после этого – к заземляемым частям электромеханической установки: шинам, рубильникам, выключателям и т. п. Для предотвращения подачи напряжения к месту выполнения работ через силовые или измерительные трансформаторы необходимо отключить не только их первичные, но и вторичные обмотки.

Убедившись в выполнении всех перечисленных мер безопасности, судовой электрик может приступить к отключению или замене электроизмерительной аппаратуры. Если отключаются приборы, включенные во вторичную цепь трансформаторов тока, то вторичные обмотки этих трансформаторов должны быть замкнуты накоротко токоведущими перемычками до размыкания этих цепей. По окончании работ вторичные обмотки трансформаторов тока обычно замыкаются обмотками приборов (амперметров, последовательных цепей ваттметров и т. п.). В случае отключения всех приборов данного трансформатора тока его вторичную обмотку следует оставить замкнутой накоротко токоведущей перемычкой.

При эксплуатации судовых электрических установок иногда возникает необходимость выполнения работ по замене или проверке аппаратуры в частично отключенной электромеханической установке. В этом случае токоведущие детали, соприкосновение с которыми необходимо при выполнении работ, также должны быть отключены. Токоведущие части, доступные случайному прикосновению при любом положении работающего, должны быть либо отключены, либо надежно ограждены. Приведенные мероприятия, обеспечивающие безопасность выполнения работ при полном отключении установок должны быть выполнены при частичном отключении в той же последовательности и с такой же тщательностью.

В некоторых аварийных случаях возникает необходимость в проведении работ, требующих соприкосновений обслуживающего персонала с частями установки, находящимися под

напряжением. Правилами техники безопасности допускается как исключение проведение таких работ в установках с напряжением не свыше 380 В судовыми электриками с разрешения электромеханика или главного механика при соблюдении нижеследующих условий.

1. Работа должна выполняться электриком под непосредственным наблюдением лица, имеющего электротехническую квалификацию. Электрик должен быть в диэлектрических галошах (или стоять на диэлектрическом коврик), в комбинезоне с застегнутыми рукавами и в головном уборе.

2. Работать можно только на токоведущих частях одной фазы (или полюса), не касаясь токоведущих частей другой фазы (или полюса). Токоведущие части других фаз (или другого полюса) должны быть предварительно ограждены резиновыми диэлектрическими ковриками, миниконитовыми листами и т. п.

3. Электрик не должен касаться окружающих предметов, даже не находящихся под напряжением, а также людей, стоящих на неизолированной палубе.

4. При работе можно пользоваться только монтерским инструментом с изолированными рукоятками, не применяя ножовки, напильники и металлические метры.

Защитные средства – диэлектрические перчатки и галоши, изолирующие клещи, указатели напряжения - надо систематически проверять. Они должны иметь клеймо, указывающее дату их последней проверки, а также напряжение установок, в которых допускается их применение. Применение защитных средств, не соответствующих хотя бы одному из указанных требований Правил техники безопасности, запрещается.

Твердое знание и неуклонное выполнение Правил техники безопасности при эксплуатации судовых электрических установок и электроизмерительных приборов является обязанностью электромеханического персонала судна.

#### **Расположение аппаратов и измерительных приборов.**

Аппараты, измерительные и контрольные приборы, относящиеся к соответствующим генераторам и другим крупным ответственным устройствам, следует устанавливать на распределительных устройствах, относящихся к этим генераторам и устройствам. Это требование может быть не выполнено для генераторов, если имеется центральный пульт управления, на котором установлены коммутационная аппаратура и измерительные приборы нескольких генераторов.

Для каждого генератора постоянного тока должны устанавливаться на главном и аварийном распределительных щитах по одному амперметру и вольтметру.

Для каждого генератора переменного тока должны быть установлены на главном распределительном щите и для аварийного генератора – на аварийном распределительном щите следующие измерительные приборы:

1. амперметр с переключателем для измерения тока в каждой фазе;
2. вольтметр с переключателем для измерения фазных или линейных напряжений;
3. частотометр (допускается применение одного двоянного частотометра для генераторов, работающих параллельно, с переключателем на каждый генератор);
4. ваттметр (для мощности свыше 50 кВА);
5. другие необходимые приборы.

В цепях ответственных потребителей с номинальным током от 20 А и более должны устанавливаться амперметры. Эти амперметры допускается устанавливать на главном распределительном щите или у постов управления. Допускается установка амперметров с переключателями, но не более чем на 6 потребителей.

На главном распределительном щите в фидере питания от внешнего источника электрической энергии должны быть предусмотрены:

1. коммутационные и защитные устройства;
2. вольтметр или сигнальная лампа;
3. устройство защиты от обрыва фаз.

На главных и аварийных распределительных щитах для каждой сети изолированных систем должно быть установлено переключаемое или для каждой сети отдельное устройство для изменения сопротивления изоляции. Ток утечки на корпус, обусловленный работой измерительного устройства, в любых случаях не должен превышать 30 мА. Должна быть предусмотрена визуальная и звуковая сигнализация о недопустимом понижении сопротивления изоляции. На судах без постоянной вахты в машинном помещении такая сигнализация должна устанавливаться также в центральном посту управления судном.

Измерительные приборы должны иметь шкалы с запасом по делениям, превышающие номинальные значения измеряемых величин. Следует применять измерительные приборы с пределами шкал не менее следующих:

1. вольтметры - 120% номинального напряжения;
2. амперметры для генераторов, не работающих параллельно, и потребителей - 130% номинального тока;
3. амперметры для генераторов, работающих параллельно, - предел шкалы тока нагрузки 130% номинального тока и предел шкалы обратного тока 15% номинального тока (последнее только для генераторов постоянного тока);
4. ваттметры для генераторов, не работающих параллельно, - 130% номинальной мощности;
5. ваттметры для генераторов, работающих параллельно, - предел шкалы мощности нагрузки 130% и предел шкалы обратной мощности 15%;
6. частотомеры -  $\pm 10\%$  номинальной частоты.

Указанные пределы шкал могут быть изменены по согласованию с Регистром.

## **РАЗДЕЛ III**

# **ОСТОЙЧИВОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СУДНА**

## КОРПУС СУДНА И ЕГО ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Корпус металлического морского судна является сложным инженерным сооружением, которое представляет собой водонепроницаемую оболочку из тонких листов, соединенных электросваркой. Внутренние объемы, образуемые этой оболочкой, разделяются продольными и поперечными вертикальными переборками, горизонтальными палубами и платформами, образующими отдельные помещения. Тонкие листы оболочки, а также листы палуб, настила второго дна, продольных и поперечных переборок подкрепляются набором, который образует каркас (скелет) корпуса судна. Этот каркас состоит из отдельных прокатных или составных сварных балок, идущих в разных направлениях и соединенных между собой листовыми элементами в виде книц или бракет. Схема расположения балок набора при поперечной и продольной системах набора представлена на рис. 1.

С корпусом, ограниченным верхней непроницаемой палубой, соединяются надстройки, расположенные над верхней палубой, внутри которых, как и в корпусе судна, устанавливаются продольные и поперечные вертикальные переборки, выгораживающие отдельные служебные и жилые помещения. Надстройки могут быть одноярусными (одноэтажными) и многоярусными, а по ширине могут занимать пространство от борта до борта или только часть ширины судна (в последнем случае их называют рубками).

Листы наружной обшивки, подкрепленные балками набора, в зависимости от местонахождения в корпусе судна образуют бортовые, днищевые и палубные перекрытия. Каждое перекрытие ограничивается другим перекрытием. Корпус судна, симметричный относительно диаметральной плоскости (ДП), вместе с надстройками представляет собой сооружение, поперечные и вертикальные размеры которого намного меньше продольных.

Поперечные сечения корпуса современных транспортных судов в средней части имеют почти прямоугольное сечение со скруглениями у днища, называемыми скулами. Ближе к оконечностям корпуса поперечные сечения в нижней их части постепенно становятся более острыми, а в носовой и кормовой частях напоминают треугольники (рис. 1). Передняя заостренная часть судна, ограниченная форштевнем, называется носом, а задняя, ограниченная ахтерштевнем, - кормой. В корме располагаются движители (винты). Листы, образующие горизонтальные плоскости оболочки корпуса: палубы, второе дно, платформы - принято называть настилами с добавлением названия части корпуса, например настил второго дна.

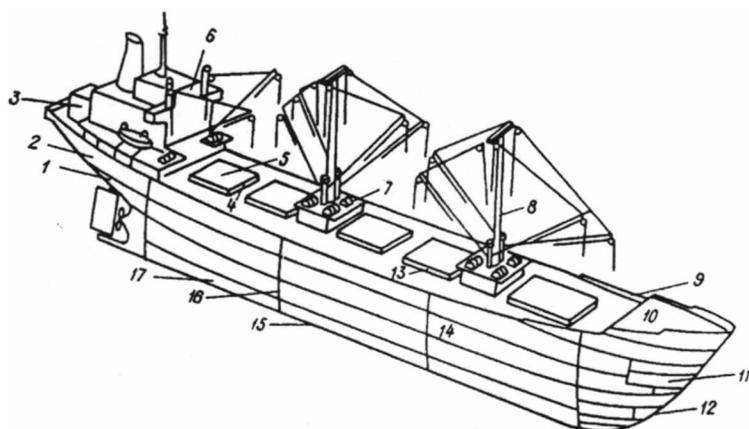


Рис. 1. Основные конструктивные элементы корпуса судна 1 - ахтерштевень; 2 - кормовая оконечность с ахтерштевнем; 3 - надстройка юта (ют); 4 - поперечный комингс люка; 5 - грузовой люк; 6 - штурманская рубка и навигационный мостик; 7 - лебедочные ростры; 8 - одноствержневая мачта; 9 - переходная кница надстройки; 10 - надстройка бака; 11 - носовая оконечность; 12 - наклонный ледакольный форштевень; 13 - продольный комингс люка; 14 - бортовая обшивка; 15 - днище; 16 - секционный сварной шов; 17 - скула

Нижняя поверхность судна называется днищем. Большинство современных судов в средней части имеют горизонтальное днище, однако по мере приближения к носу и корме поперечные сечения постепенно приобретают более острые обводы и появляется килеватость, т. е. подъем днища от ДП к бортам. Боковые поверхности судна называются бортами. Они идут от скуловых закруглений у днища до верхней палубы, соединяющей верхние кромки бортов.

Листы водонепроницаемых, нефтенепроницаемых и проницаемых переборок вместе с набором образуют перекрытия. Первые два типа переборок предотвращают распространение воды или жидкого груза в соседние отсеки и обеспечивают непотопляемость судна при получении пробоин. Переборки идут обычно до верхней палубы. Первая поперечная переборка от форштевня в корму называется форпиковой (таранной). Она иногда образует в носу цистерну форпика, используемую для приема жидкого балласта. Первая поперечная переборка от ахтерштевня называется ахтерпиковой и может образовывать в корме ахтерпиковую балластную цистерну. При наличии балластных цистерн в форпике и ахтерпике устанавливаются отбойные вертикальные продольные переборки, а иногда и поперечные вертикальные отбойные переборки, идущие от нижней палубы или от платформы на части высоты пространства в пиках. Такие переборки уменьшают переливание жидкости в пиках с борта на борт, улучшая тем самым остойчивость судна. Водонепроницаемые или нефтенепроницаемые поперечные переборки, ограждающие машинное отделение, называются переборками машинного отделения.

Палубы, находящиеся на части длины или ширины судна, называются платформами (например, на длине только одного отсека).

На многопалубных судах пространство между соседними палубами называется твиндеком. Промежуточные (твиндечные) палубы служат для уменьшения давления груза на нижние его слои в трюме в результате передачи усилий от массы груза в твиндеке на борта и поперечные переборки. Особенно много палуб строят на пассажирских и круизных лайнерах для расположения на них многочисленных кают и служебных помещений. Палубы обычно нумеруют в порядке размещения по высоте вниз от верхней (первой) палубы: вторая, третья и так далее. Когда на судне три палубы, вторую палубу называют средней, а последнюю часто называют нижней. Такие же названия сохраняются и для платформ.

На всех сухогрузных судах длиной более 50 – 60 м (в последнее время и на судах для наливных грузов) выполняется второй дно. Его высота от днища зависит от размеров судна и обычно принимается не менее 0,8 м.

Отдельные листы настилов второго дна и палуб, а также бортовой и днищевой обшивки в пределах одного пояса своей длинной стороной располагаются вдоль судна и соединяются с соседними листами в поясе сваркой. Эти соединения называются стыками. Поясья соединяются между собой сварными продольными швами, называемыми пазами. Некоторым поясьям днищевой и бортовой обшивки, настила палуб и второго дна присвоены специальные названия. Например, крайний пояс палубного настила у борта называется

палубным стрингером, верхний пояс бортовой обшивки – ширстреком, нижний лист бортовой обшивки, скругленный по радиусу и переходящий в днищевую обшивку, получил название скулового пояса. Пояс днищевой обшивки вдоль продольной вертикальной плоскости симметрии судна называется горизонтальным килем, а прилегающие к этому поясу с каждой стороны пояся называются шпунтовыми.

Листы обшивки разных бортов соединяются между собой в оконечностях судна на форштевне и ахтерштевне.

Балки набора корпуса различаются по ориентации и той роли, которую они играют при восприятии внешних нагрузок. По ориентации балки могут быть продольными или поперечными, а по восприятию нагрузок – основными, промежуточными и рамными. Обычно в составе корпусных перекрытий имеются как продольные, так и поперечные балки, пересекающиеся под прямыми углами. Количество продольных и поперечных балок в одном перекрытии определяется условиями его загрузки и размерами перекрытия. Балки поперечного набора, подкрепляющие листы судовых перекрытий, называются на днище - флорами (реже – днищевыми шпангоутами); на бортах - шпангоутами или бортовыми шпангоутами; на палубах и платформах - бимсами.

Шпангоуты, как правило, располагаются в одной вертикальной плоскости с флорами и бимсами и образуют замкнутые шпангоутные рамы (рис.2). В районе палубных вырезов каждый бимс разделяется на два полубимса, и шпангоутная рама перестает быть замкнутой. Полубимсы присоединяются к продольным конструкциям (комингсы-карлингсы), ограничивающим вырез. Отдельные балки шпангоутной рамы соединяются между собой кницами: у скулы – скуловыми, у палубы – бимсовыми. Расстояние между шпангоутными рамами называется шпацией или практической шпацией в отличие от теоретической шпации, равной  $1/20$  части длины судна. Размеры шпации по длине судна могут изменяться. Обычно шпация меньше в оконечностях и несколько больше в средней части.

Кроме основных шпангоутов одинакового размера через несколько шпангоутов могут устанавливаться шпангоуты большего размера - рамные шпангоуты или усиленные, а в промежутке между основными шпангоутами на судах ледового плавания устанавливаются промежуточные шпангоуты.

Флоры являются днищевой частью шпангоутных рамок и имеют разную конструкцию. Под поперечными переборками или в непосредственной близости от них делаются непроницаемые флоры, ограничивающие танки междудонного пространства, предназначенные для топлива и воды. В промежутке между непроницаемыми флорами устанавливаются сплошные флоры из целого листа с вырезами (лазами).

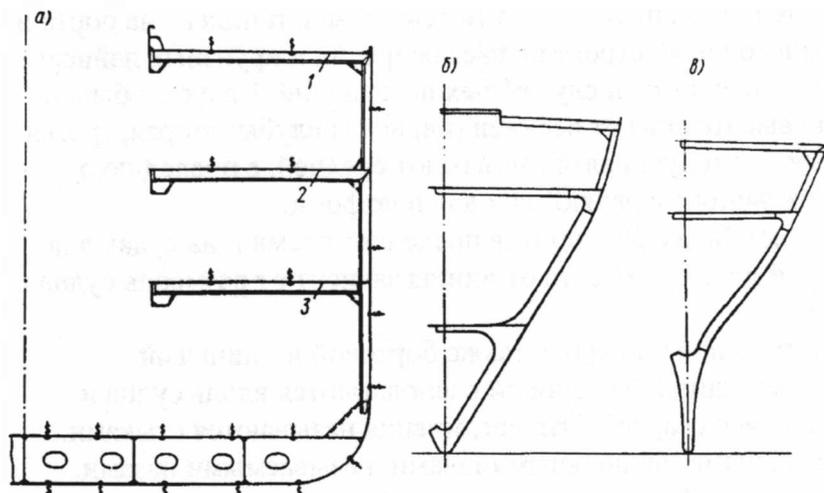


Рис. 2. Шпангоутные рамы в середине длины судна (а), носовой(б) и кормовой (в) оконечностях. 1 – верхняя палуба; 2 – средняя палуба; 3 – нижняя палуба.

В некоторых перекрытиях сплошные флоры чередуются с бракетными флорами, изготавливаемыми из отдельных кусков листового материала, которые иногда называются открытыми флорами.

Балки продольного набора в судовых перекрытиях пересекают балки поперечного набора. Днищевые и бортовые рамные продольные связи называются днищевыми и бортовыми стрингерами. Продольная рамная балка днища, идущая в ДП, называется вертикальным килем. Продольные рамные балки палубы называются карлингсами.

Все продольные рамные балки опираются на поперечные переборки, листы которых подкрепляются в плоскости продольного набора палуб и днища стойками переборок, образуя продольные рамы. Часть стоек может иметь большие размеры, чем размеры основных стоек, и тогда их называют рамными стойками или контрфорсами. Вертикальные рамные стойки иногда используются для восприятия усилий при постановке в док - это доковые стойки. Горизонтальные балки набора переборок называются шельфами.

Кроме рамных продольных балок, к которым относятся стрингеры и карлингсы, параллельно им на относительно небольшом расстоянии (продольная шпация) одни от других устанавливаются продольные ребра, или продольные балки. В зависимости от местоположения они называются палубными, бортовыми, днищевыми продольными ребрами или продольными ребрами настила второго дна и опираются на поперечный набор (флоры, бимсы, шпангоуты и поперечные переборки).

Пересекающиеся балки набора (связи) разных направлений (поперечные и продольные) разбивают обшивку и настилы на отдельные пластины (панели), так что длинные их стороны располагаются вдоль или поперек судна; это определяет систему набора перекрытия. При длинных сторонах пластин, расположенных вдоль судна, систему набора называют продольной, а при поперечном расположении - поперечной. В случае квадратных пластин система набора называется клетчатой. Ту или иную систему набора выбирают в зависимости от действующих на корпус судна общих и местных нагрузок.

Часть днища или часть палубы судна, ограниченная соседними поперечными переборками и двумя бортами или бортом и продольной переборкой или, наконец, двумя продольными переборками, называются соответственно днищевым перекрытием или палубным перекрытием.

Часть борта, ограниченная двумя соседними поперечными переборками, а с двух других сторон - палубой и днищем или двумя соседними палубами, называется бортовым перекрытием.

Часть поперечной переборки, ограниченная бортами, палубой и днищем или только палубами или двумя продольными переборками, палубой и днищем, называется перекрытием поперечной переборки. Часть продольной переборки, ограниченная двумя соседними поперечными переборками и с двух других сторон палубой и днищем или двумя соседними палубами, называется перекрытием продольной переборки.

## ТРЕБОВАНИЯ РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА К ОСТОЙЧИВОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

В России требования к остойчивости эксплуатируемых, строящихся, а также капитально ремонтируемых и переоборудуемых судов регламентируются Правилами классификации и постройки морских судов (часть IV "Остойчивость") Регистра судоходства.

Общие требования к остойчивости включают требования к так называемому критерию погоды, элементам диаграммы статической остойчивости, начальной метацентрической высоте, а также требования учета обледенения.

Остойчивость судна считается достаточной по критерию погоды, если соблюдено условие

$$K = M_{opr} / M_{кр.дин} \geq 1,0$$

где  $M_{opr}$  - опрокидывающий момент, определяемый по изложенной выше методике с учетом качки судна;  $M_{кр.дин}$  - динамический кренящий момент,

Максимальное плечо диаграммы статической остойчивости должно быть не менее 0,25 м для судов длиной  $L \leq 80$  м и не менее 0,20 м для судов длиной  $L \geq 105$  м при угле  $\Theta_{max} = 30^\circ$ . Для промежуточных значений длин  $80 < L < 105$  м величина  $l_{max}$  определяется линейной интерполяцией. Угол заката диаграммы статической остойчивости  $\Theta_z$  должен быть не менее  $60^\circ$ .

Начальная метацентрическая высота при всех вариантах загрузки, за исключением варианта "судно порожнем", должна быть положительной ( $h = 0$ ).

Судно должно удовлетворять перечисленным выше требованиям при учете в диаграммах статической остойчивости и начальной метацентрической высоте поправок на влияние свободных поверхностей жидких грузов, определяемых по изложенной в Правилах методике. Некоторое снижение требований к элементам диаграмм статической остойчивости допускается в тех случаях, когда эти диаграммы построены с учетом обледенения, нормы которого также указаны в Правилах. Если при построении диаграммы учтена масса льда согласно этим нормам, то угол заката диаграммы должен быть не менее  $55^\circ$ , а максимальное плечо (только для судов ограниченного района плавания) - не менее 0,2 м при крене не менее  $25^\circ$ .

Особые требования предъявляются к остойчивости пассажирских судов, лесовозов, контейнеровозов и судов, перевозящих насыпные грузы. Начальная метацентрическая высота пассажирских судов должна быть такой, чтобы:

- при скоплении пассажиров на верхней доступной им палубе у одного борта угол крена был не более половины угла заливания (под углом заливания  $\Theta_f$  подразумевается угол крена, при котором происходит заливание водой внутренних помещений судна через отверстия, считающиеся открытыми, т. е. отверстия, устройства для закрывания которых не удовлетворяют соответствующим требованиям Регистра) или угла, при котором палуба надводного борта входит в воду или оголяется скула, смотря по тому, какой угол меньше; во всяком случае этот угол не должен превышать  $10^\circ$ ;
- при скоплении пассажиров на верхней доступной им палубе у борта угол крейна на установившейся циркуляции судна был не более  $3/4$  угла заливания либо угла, при котором палуба надводного борта входит в воду или скула выходит из воды, смотря по тому, какой угол меньше; во всяком случае этот угол не должен превышать  $12^\circ$ .

Исправленная (на влияние свободных поверхностей жидких грузов) начальная метацентрическая высота лесовозов с лесным грузом, размещенным в трюмах и на палубе, и с полными запасами должна быть не менее 0,1 м.

Остойчивость контейнеровозов, под которыми подразумеваются все суда, несущие контейнерный груз на палубе, должна быть такой, чтобы определенный по диаграмме статической остойчивости статический угол крена на установившейся циркуляции или угол крена при действии бокового ветра был не более половины угла, при котором палуба надводного борта входит в воду; во всяком случае угол крена не должен превышать  $15^\circ$ . Исправленная начальная метацентрическая высота таких судов должна быть не менее 0,2 м.

Требования к остойчивости судов, перевозящих зерно насыпью, изложены в Правилах перевозки зерна Регистра. Исправленная начальная метацентрическая высота таких судов

должна быть не менее 0,3 м. Дополнительные требования к диаграмме статической остойчивости этих судов не предъявляются в следующих случаях:

- если свободная поверхность зерна в любом частично заполненном помещении покрыта зерном в мешках, плотно уложенных на высоту не менее 1/16 ширины свободной поверхности зерна или 1,2 м, в зависимости от того, что больше; вместо зерна в мешках может быть использован другой подходящий несмещаемый груз, уложенный на ту же высоту и оказывающий на поверхность зерна давление не менее 10 кПа (при этом должны быть выполнены содержащиеся в Правилах требования к покрытию поверхности зерна тканью или досками перед укладкой на нее груза;
- если свободная поверхность зерна в частично заполненном помещении укреплена настилом из досок, принаитовленным к бортам полосами или тросами, то есть если применен так называемый стропинг.

Если же указанные требования не выполняются, то угол  $\Theta_{gs}$  статического крена, вызванного расчетным смещением зерна, не должен превышать  $12^\circ$  для всех судов или угла входа палубы в воду, если он меньше  $12^\circ$ , для судов неограниченного района плавания. При этом угол крена судна определяется путем построения кривой кренящих плеч на диаграмме плеч статической остойчивости (рис.3). Согласно Правилам эта кривая может быть аппроксимирована прямой, проходящей через точку А при угле крена  $\Theta = 0$  с ординатой  $lg_0$ , соответствующей суммарной поперечной составляющей кренящих моментов от расчетного смещения зерна во всех грузовых помещениях. Вторая точка В, через которую проводится прямолинейный график плеч кренящего момента, имеет при угле крена  $40^\circ$  ординату  $lg_{40} = 0,8 lg_0$ .

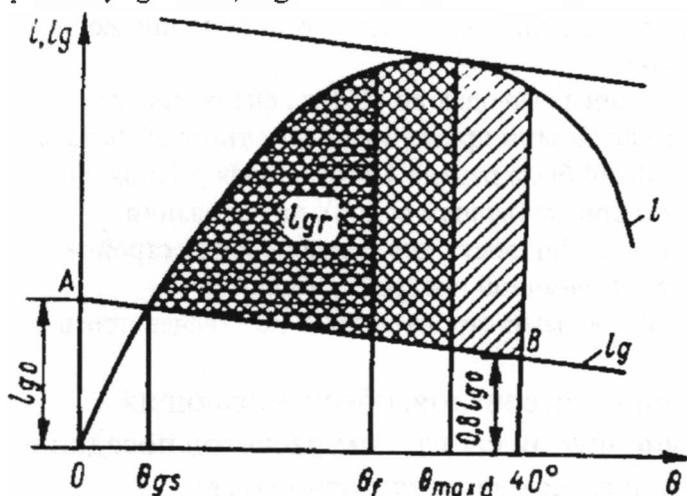


Рис. 3. Диаграмма статической остойчивости судна, перевозящего зерновые грузы насыпью

Диаграмма статической остойчивости может быть построена приближенным способом, исходя из предположения, что ЦТ груза располагается в центре объема каждого грузового помещения, либо уточненным способом, исходя из фактического положения ЦТ зернового груза с учетом подпалубных пустот. В последнем случае при построении диаграммы должна быть учтена вертикальная составляющая расчетного смещения зерна путем условного повышения ЦТ судна добавлением поправки  $Z_{gs}$ . В Правилах приводится методика расчета подпалубных пустот, а также суммарных поперечной  $lg_0$  вертикальной  $Z_{gs}$  составляющих плеча кренящего момента от расчетного смещения зерна.

Остаточная площадь  $lgr$  диаграммы статической остойчивости между кривыми восстанавливающих и кренящих плеч до угла крена  $\Theta_{max d}$  и, соответствующего или максимальной разности между ординатами этих кривых, или  $40^\circ$ , или угла заливания  $\Theta_f$  (в зависимости от того, какой из них меньше) при всех условиях загрузки судна должна быть не менее  $0,075 \text{ м}^2 \cdot \text{рад}$ .

Дополнительные требования к остойчивости судов, предназначенных для перевозки незерновых навалочных грузов, содержатся в Правилах безопасности перевозки незерновых навалочных грузов ММФ.

Если установлено, что свободные поверхности данного груза обладают свойством смещения при качке судна на морском волнении, то начальная метацентрическая высота судна, исправленная на влияние свободных поверхностей жидких грузов, а также на влияние смещения поверхности груза в трюмах, должна быть не менее 0,7 м. Кроме того, угол статического крена, вызванного расчетным смещением груза в соответствии с указаниями Правил не должен превышать  $12^\circ$ , а остаточная площадь диаграммы статической остойчивости между кривыми восстанавливающих и кренящих плеч должна быть не менее  $0,12 \text{ м}^*\text{рад}$ .

## ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИИ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ДЛЯ КАПИТАНА

На каждое судно должна быть выдана согласованная с Регистром Информация об остойчивости судна, содержащая следующие материалы:

- данные об остойчивости судна для типовых вариантов нагрузки, предусмотренных заранее;
- рекомендации в отношении мероприятий, улучшающих остойчивость судна;
- указания, вспомогательные графики, таблицы и другие материалы, служащие для оценки посадки и остойчивости судна при нетиповых, то есть возможных в эксплуатации, но не предусмотренных заранее, вариантах нагрузки.

Суда Морского Флота, построенные на отечественных заводах до 1979 г., снабжены, как правило Информацией об остойчивости, составленными применительно к типовой форме, изданной Регистром СССР в 1964 г. В 1979 г. ММФ была издана Типовая информация об остойчивости и прочности морского судна (указания капитанам судов), на основании которой будут разрабатываться Информации об остойчивости для судов новой постройки. Следует иметь в виду также, что на ряде судов заграничной постройки имеются Информации, составленные соответствующими заводами-строителями и не отвечающие в полной мере принятой у нас типовой форме.

К числу содержащихся в Информации материалов, обеспечивающих возможность самостоятельного выполнения капитаном расчетов посадки и остойчивости судна при нетиповых случаях загрузки относятся:

- данные по танкам и цистернам, используемым для размещения судовых запасов (топлива, масла, пресной воды), а также водяного балласта, необходимые для составления таблицы загрузки судна;
- данные по грузовым помещениям в виде номограмм, нанесенных на схематическом чертеже продольного разреза судна (рис.4); эти данные также необходимы при составлении таблицы загрузки;
- диаграмма контроля остойчивости, на которой нанесены предельные кривые начальной метацентрической высоты по различным нормативным критериям, а также кривые вертикальных моментов дедвейта  $M_{zw}$  относительно ОП (рис.5) в зависимости от дедвейта судна;
- диаграмма осадок носом и кормой по маркам осадки или теоретических осадок на НП и КП) в виде кривых постоянных значений осадок носом и кормой, построенных в зависимости от дедвейта судна и статического момента дедвейта относительно плоскости мидель-шпангоута (рис.6).

Информация об остойчивости составляется проектной организацией или заводом-строителем судна по материалам опыта кренования.

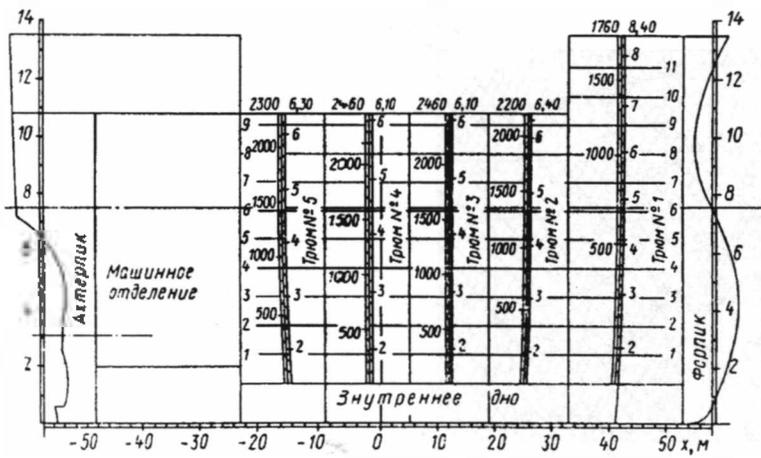


Рис. 4. Схема расположения грузов

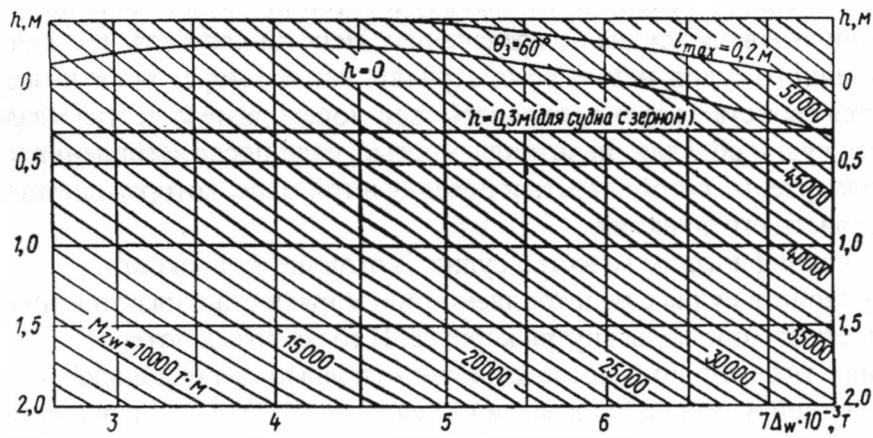


Рис. 5. Диаграмма контроля остойчивости

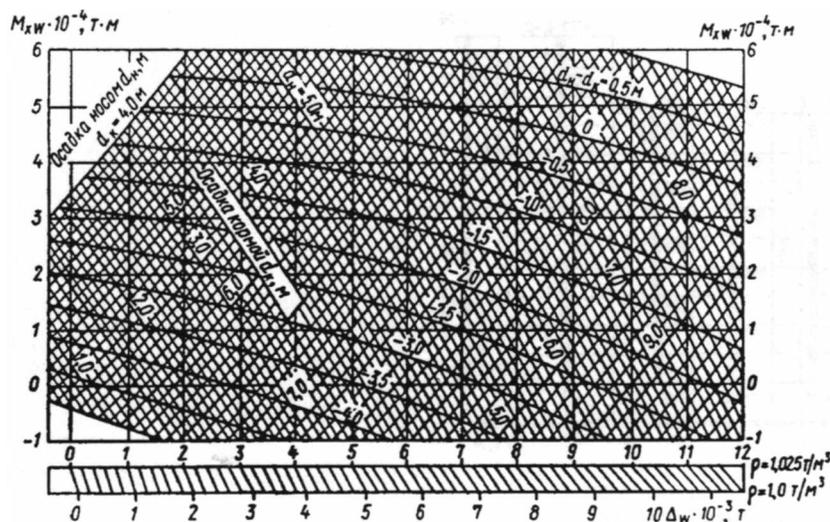


Рис. 6. Диаграмма осадок носом и кормой

## НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ СУДНА

### Основные понятия и определения

Непотопляемостью судна называют его способность оставаться на плаву после затопления части его внутренних помещений (отсеков), имея посадку и остойчивость, обеспечивающие хотя бы ограниченное использование судна по назначению. Непотопляемость, в отличие от остойчивости неповрежденного судна, нельзя рассматривать как его мореходное качество. Непотопляемость является свойством судна сохранять свои мореходные качества в заданных пределах. Таким образом, судно обладает непотопляемостью, если после затопления части отсеков оно сохраняет плавучесть, остойчивость и посадку в той мере, которая достаточна для выполнения хотя бы части его функций.

Непотопляемость - специфическое качество судна. В отличие от ходкости, управляемости и других свойств судна с непотопляемостью моряки сталкиваются только при аварии, приводящей к поступлению воды внутрь корпуса. В то же время потеря непотопляемости связана с тяжелейшими последствиями - гибелью судна и людей, поэтому ее обеспечение является одной из важнейших задач как судостроителей, так и экипажа.

Непотопляемость является главным элементом живучести судна, поскольку утрата непотопляемости равносильна утрате судна как инженерного сооружения и как эксплуатационной единицы флота. Хотя практические меры по обеспечению непотопляемости насчитывают не одну тысячу лет, теория непотопляемости - сравнительно молодая наука: ей немногим более 100 лет, и приоритет в ней принадлежит отечественным ученым.

В практике непотопляемость обеспечивается на всех этапах жизни судна: судостроителями на стадиях проектирования, постройки и ремонта судна; экипажем в процессе эксплуатации неповрежденного судна; экипажем непосредственно в аварийной ситуации. Из такого подразделения следует, что непотопляемость обеспечивается тремя комплексами мероприятий:

- конструктивными мероприятиями, которые проводятся при проектировании, постройке и ремонте судна;
- организационно-техническими мероприятиями, которые являются предупредительными и проводятся во время эксплуатации судна;

- мероприятиями по борьбе за непотопляемость после аварии, направленными на борьбу с поступлением воды, восстановление остойчивости и спрямление поврежденного судна.

Успешная реализация конструктивных мероприятий определяется квалификацией береговых работников.

Эффективность мероприятий, проводимых в эксплуатации и после аварии, определяется человеческим фактором и прежде всего постоянной готовностью экипажа и технических средств к борьбе за непотопляемость и четкой организацией борьбы за непотопляемость.

Все три комплекса мероприятий содержат соответствующие расчетные методы. На первом этапе выполняют проектные и поверочные расчеты, необходимые для обеспечения судна соответствующей отчетной и информационной документацией. В процессе эксплуатации производят поверочные расчеты непотопляемости для конкретного случая загрузки судна. При аварии судна, приведшей к затоплению отсеков, необходимо, исходя из наличия реальной пробоины, оперативно оценить аварийную посадку и остойчивость, а также время затопления для выбора и исполнения оптимального решения по спасению судна и людей.

## Принципы обеспечения непотопляемости

**Конструктивные мероприятия.** Эти мероприятия осуществляются на стадиях проектирования и постройки судна и сводятся прежде всего к назначению таких запасов плавучести и остойчивости, чтобы при затоплении отсеков заданного числа и формы изменение посадки и остойчивости аварийного судна не выходило из допустимых пределов.

При этом необходимым условием является подразделение судна на отсеки водонепроницаемыми переборками, палубами и платформами, что является наиболее эффективным средством сохранения запаса плавучести при повреждении корпуса.

Действительно, если судно не имеет внутреннего подразделения на отсеки, то при наличии подводной пробоины корпус заполнится водой и судно не сможет использовать запас плавучести. Основным конструктивным принципом подразделения на отсеки является принцип “слабого звена”, то есть оно должно быть таким, чтобы плавучесть утрачивалась раньше остойчивости. Это объясняется тем, что потеря судном плавучести в результате прогрессирующего затопления - процесс достаточно медленный, длящийся иногда до нескольких часов. Опрокидывание же из-за потери остойчивости происходит в короткий промежуток времени, часто внезапно и, как правило, сопряжено с человеческими жертвами. Поэтому подразделение на отсеки должно быть таким, чтобы судно тонуло не опрокидываясь.

Важным конструктивным мероприятием по обеспечению непотопляемости является создание прочных и водонепроницаемых закрытий (дверей, люков, горловин), установленных по контуру водонепроницаемого отсека, которые должны хорошо работать при крене, дифференте и морском волнении.

Также следует предусматривать водонепроницаемые палубы и платформы, поскольку они предотвращают распространение воды по высоте. Важную роль играют настил второго дна и продольные переборки бортовых танков, которые предотвращают попадание воды в отсеки при повреждениях обшивки днища и борта.

Водонепроницаемость и прочность должны быть обеспечены не только в подводной, но и в надводной части корпуса, так как последняя определяет запас плавучести, расходуемый при повреждении.

Комплекс конструктивных мероприятий включает сохранение непотопляемости рациональным проектированием судовых устройств и систем, а также снабжением судна надлежащими средствами борьбы за непотопляемость, соответствующей проектной документацией, наставлениями и Информациями.

Несмотря на то, что конструктивные мероприятия обеспечиваются судостроителями, знание и понимание причин принятия данных конструктивных решений является необходимым для инженера-судоводителя. Анализ аварий и гибели судов, показывает, что неправильное понимание конструктивных особенностей судна, неумение прогнозировать его поведение в аварийной ситуации приводят к принятию при эксплуатации неправильных решений, что нередко является причиной гибели судов и людей. В то же время грамотное использование особенностей судна, заложенных при постройке, предотвращает его гибель в положениях, казавшихся безнадежными.

**Организационно - технические мероприятия.** Организационно-технические мероприятия по обеспечению непотопляемости зависят от экипажа судна и проводятся в процессе эксплуатации с целью предупреждения поступления в отсеки воды, а также сохранения посадки и остойчивости судна, предотвращающих его затопление или опрокидывание. К числу таких мероприятий относятся:

- правильная организация и систематическая подготовка личного состава к борьбе за непотопляемость;
- систематическое наблюдение за состоянием всех корпусных конструкций в целях проверки их износа (коррозии), замена отдельных элементов конструкций при текущем или среднем ремонте в случае превышения установленных норм износа;
- планомерная окраска корпусных конструкций (с удалением, по возможности, слоев старой краски, накопление которой отрицательно сказывается на нагрузке и остойчивости судна);
- устранение перекосов и провисаний водонепроницаемых дверей, люков и иллюминаторов, систематическое их расхаживание и поддержание всех задраивающих устройств в исправном состоянии;
- поддержание в исправном состоянии воздухопроводов системы вентиляции, их запорных устройств и грибков вентиляции;
- контроль забортных отверстий, особенно при доковании судна;
- систематические испытания на герметичность водонепроницаемых отсеков и отдельных конструкций корпуса;
- строгое соблюдение инструкций по приему и расходованию топлива;
- устранение перегрузки судна за счет грузов, особенно жидких (например, трюмной воды), перевозка которых не предусмотрена;
- раскрепление грузов по-походному и предотвращение их перемещения при качке (особенно поперек судна);
- компенсация потерь остойчивости, вызванных обледенением судна, путем приема жидкого балласта, мероприятия по удалению льда: скалывание его с бортов и палуб, смывание горячей соленой водой;
- балластировка судна в условиях штормовой погоды;
- устранение свободных поверхностей жидких грузов;
- поддержание всех технических средств борьбы за непотопляемость в состоянии гарантирующем возможность немедленного их использования.

**Борьба за непотопляемость после аварии.** Под борьбой за непотопляемость понимают совокупность действий личного состава, направленных на поддержание и возможное восстановление плавучести и остойчивости поврежденного судна, а также на приведение его в состояние, обеспечивающее ход, управляемость и использование по назначению. Борьба за

непотопляемость после аварии складывается из действий по борьбе с поступлением воды и действий по восстановлению остойчивости и спрямлению поврежденного судна.

Борьба с поступлением воды предшествует всем остальным мероприятиям по борьбе за непотопляемость и лишь в отдельных случаях проводится одновременно с ними. Прекращением поступления воды заканчивается первый этап борьбы за непотопляемость, к концу которого судно должно получить установившиеся элементы посадки и остойчивости. При этом может оказаться, что начальная остойчивость судна, весьма мала или даже отрицательна, а посадка характеризуется большим креном и дифферентом и малой величиной минимального надводного борта или даже входом палубы в воду. В таких случаях, чтобы обеспечить безопасность дальнейшего плавания и использовать судно по назначению, необходимо принять меры по восстановлению остойчивости и спрямлению судна, то есть устранению или уменьшению крена и дифферента.

Если позволяет обстановка, восстановление остойчивости и спрямление следует проводить одновременно с работами по прекращению поступления воды. Однако при этом следует осуществлять лишь те мероприятия, которые не послужат причиной даже кратковременного уменьшения начальной остойчивости судна.

Восстановление остойчивости, как правило, должно предшествовать спрямлению судна. Это особенно важно в случаях, когда, после повреждения судно получает отрицательную начальную остойчивость. Мероприятия по восстановлению остойчивости и спрямлению судна необходимо проводить с минимально возможным расходом запаса плавучести. Им должны предшествовать оценка остойчивости и, в частности, установление опасности появления у судна отрицательной остойчивости и определение посадки судна (крена, дифферента, средней осадки), а также минимальной высоты надводного борта.

Оценка остойчивости после аварии может быть произведена на основании данных о затопленных отсеках. Если имеются основания предполагать, что начальная остойчивость отрицательна или существенно упала (вдвое или больше), необходимо, в первую очередь проводить мероприятия по восстановлению остойчивости.

Наиболее важными из них следует считать те мероприятия, которые предназначены устранять большие свободные поверхности, служащие основной причиной возникновения отрицательной начальной остойчивости. Большие свободные поверхности на высокорасположенных палубах могут появиться вследствие тушения пожаров, повреждения пожарной магистрали, заброса воды при качке через надводные повреждения корпуса. Если не представляется возможным ликвидировать эти поверхности откачиванием воды за борт, то следует спускать воду из вышележащих помещений в нижележащие, по возможности до заполнения последних полностью. Если же свободная поверхность мала или расположена непосредственно под ограничивающей отсек палубой (высокая степень заполнения отсека), то более рациональным представляется заполнение его до палубы забортной водой, которая в этом случае будет играть роль балласта.

Прекращение самопроизвольного перетекания жидких грузов с борта на борт существенно улучшает остойчивость судна и препятствует дальнейшему увеличению крена. Поэтому после повреждения судна должны быть перекрыты клинкеты трубопроводов теплых ящиков, а также топливных и водяных цистерн. При наличии на судне систем перетекания, сообщающих пустые отсеки противоположных бортов и имеющих разобшительные клинкеты, последние, как правило, должны быть всегда открыты.

Жидкие грузы, если они заполняют большое число незапрессованных отсеков, необходимо перекачать, сосредоточив их в запрессованных отсеках.

Водяная балластировка уменьшает запас плавучести судна, но служит весьма эффективным средством восстановления его остойчивости. На каждом судне должно быть заранее установлено, какие отсеки могут быть использованы для балластировки, какой эффект они дают для повышения остойчивости и каков порядок их затопления.

Общим принципом при выборе мероприятий по спрямлению поврежденного судна, как и при восстановлении его остойчивости, должно быть стремление к минимальному расходованию запаса плавучести. Поэтому всегда следует отдавать предпочтение тем из них, которые увеличивают запас плавучести, во вторую очередь, проводить мероприятия, которые не изменяют его, и лишь в последнюю очередь прибегать к мероприятиям, связанным с расходом запаса плавучести. Перекачивание жидких грузов с борта на борт или из одной оконечности судна в другую создает спрямляющий момент как за счет снятия груза с вошедшего в воду борта (или оконечности), так и за счет приема его на вышедший из воды борт (оконечность). Положительная сторона такого способа заключается и в том, что при этом не расходуется запас плавучести, а отрицательная - в медленности процесса спрямления, обусловленного относительно малой производительностью перекачивающих средств.

При спрямлении судна контрзатоплением отсеков следует стараться получить необходимый спрямляющий момент при минимальном объеме спрямляющих отсеков. Если спрямление судна по каким-либо соображениям прекращают до полного затопления спрямляющих отсеков, то в дальнейшем должны быть приняты меры по дополнительному затоплению некоторых частично затопленных отсеков и осушению других с тем, чтобы устранить свободные поверхности. Выбор спрямляющих отсеков надо производить так, чтобы одновременно с устранением крена уменьшался дифференциал судна.

Необходимо отметить, что устранение дифференциала контрзатоплением отсеков требует большого расходования запаса плавучести, а в некоторых случаях вообще может оказаться нецелесообразным, так как уменьшение дифференциала не будет сопровождаться уменьшением осадки в поврежденной оконечности вследствие приема больших количеств забортной воды. Наиболее рациональным мероприятием по уменьшению дифференциала является откачка поступившей воды после заделки пробоины, а в отдельных случаях также продольная перекачка топлива.

# Коэффициенты проницаемости

Расчетная оценка аварийной посадки и остойчивости судна требует знания в качестве одного из исходных данных объема воды и в затопленном отсеке при заданном ее уровне, который отличается от теоретического объема  $U_0$  отсека при том же уровне. Это различие объясняется наличием в отсеке непроницаемых для воды предметов и учитывается коэффициентами проницаемости

$$\mu_j = U / U_0$$

В части V Правил Регистра приведены следующие значения коэффициентов проницаемости отдельных судовых помещений:

## Помещения, в которых установлены судовые механизмы, технологическое

оборудование, помещения электростанций	0,85
Помещения непассажирских судов, занятых грузами или запасами	0,60
Помещения, загруженные порожней колесной техникой, жилые помещения	0,95
Пустые и балластные цистерны	0,98
Грузовые помещения судов с горизонтальной грузообработкой	0,80

Коэффициенты проницаемости помещений с грузом можно более точно определить расчетным путем. Для грузового помещения, загруженного генеральным грузом, коэффициент проницаемости находят в зависимости от массы груза  $p$ , его удельного погрузочного объема  $\chi$ , коэффициента проницаемости груза  $\mu$  и объема помещения и  $U_0$  по формуле

$$\mu_j = 0,98 - p \cdot \chi (0,98 - \mu) / U_0 \quad (*)$$

Суммарный коэффициент проницаемости отсека равен

$$\mu_i = (\mu_{тр} U_{тр} + \sum \mu_{тв} U_{тв}) / (U_{тр} + \sum U_{тв}),$$

где  $\mu_{тр}$  - коэффициент проницаемости трюма;

$\mu_{тв}$  - то же твиндека;

$U_{тр}$  - объем трюма;

$U_{тв}$  - объем твиндека.

Коэффициент проницаемости грузового помещения, загруженного контейнерами, вычисляют по формуле

$$\mu_j = 0,98 - K_s * K_h (0,98 - \mu),$$

где  $K_s = \sum S_{кон} / S_{пом}$  - коэффициент заполнения площади;

$K_h = \sum h_{кон} / h_{пом}$  - коэффициент заполнения высоты;

$\mu$  - коэффициент проницаемости груза в контейнере. При неизвестном содержимом контейнеров рекомендуется принимать  $\mu = 0,7$ .

Коэффициент проницаемости грузового помещения с грузом на ролл-трейлерах рассчитывают по формуле (\*), но под величиной  $p$  понимают массу груза без массы ролл-трейлеров.

## Категории затопленных отсеков

При затоплении отсеков судна возможны различные варианты их заполнения. В зависимости от характера затопления различают четыре категории затопленных отсеков (рис. 1):

- отсек первой категории - заполнен водой полностью;
- отсек второй категории - заполнен не полностью (имеет свободную поверхность), но не сообщается с забортной водой;
- отсек третьей категории - заполнен частично и сообщается с забортной водой через пробоину;
- отсек четвертой категории - в нем уровень воды не совпадает с аварийной ватерлинией судна, т.е. это отсек с замкнутой или уменьшающейся воздушной подушкой.

Отсеки первой категории являются обычно следствием аварийного затопления междудонных цистерн из-за касания корпусом грунта. При затоплении отсека первой категории расход запаса плавучести равен объему воды, влившейся в отсек. Плавучесть судна не зависит от того, сообщается отсек первой категории с забортной водой или нет. Начальная остойчивость судна при этом увеличивается.

Аварийное затопление отсеков второй категории может возникнуть при фильтрации воды из соседнего отсека через небольшое повреждение или через заделанную пробоину, когда производительность водоотливных средств близка к интенсивности поступления воды в отсек. Водотушение пожара или иной налив воды также приводит к появлению отсеков второй категории. Изменение плавучести при затоплении отсека второй категории аналогично изменению плавучести при затоплении отсека первой категории. Дополнительное изменение остойчивости определяется отрицательным влиянием свободной поверхности.

Отсек третьей категории, свободно сообщающийся с забортной водой, возникает обычно при навале, посадке на грунт или при аварии забортной арматуры. При затоплении отсека третьей категории количество влившейся воды изменяется в процессе изменения осадки, крена и дифферента поврежденного судна. При этом весь отсек исключается из запаса плавучести, так как вода может беспрепятственно заполнять надводный объем отсека. Изменение начальной остойчивости определяется влиянием геометрии и координат ЦТ потерянной площади ватерлинии. Вместе с тем затопление отсека третьей категории, как правило, не приводит к отрицательной начальной остойчивости, поскольку ее уменьшение из-за потери площади действующей ватерлинии частично компенсируется приемом больших масс воды ниже ватерлинии. Исключение составляют широкие суда ( $B/d > 3,5$ ).

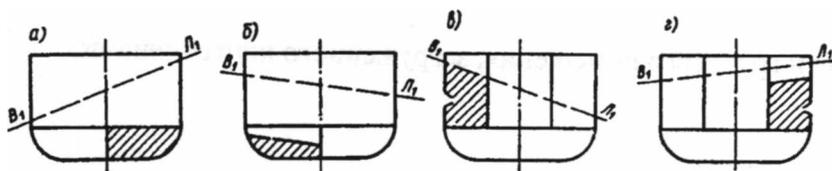


Рис. 7. Затопленные отсеки различных категорий: а). первой; б). второй; в). третьей; г). четвертой.

Аварийное затопление отсека четвертой категории может возникнуть при поступлении воды через низкорасположенное повреждение при герметичности отсека. При затоплении герметичного отсека четвертой категории потеря запаса плавучести определяется количеством влившейся воды, а потеря остойчивости будет промежуточной между потерями

стойчивости при затоплении аналогичных отсеков второй и третьей категорий при равных объемах влившейся воды.

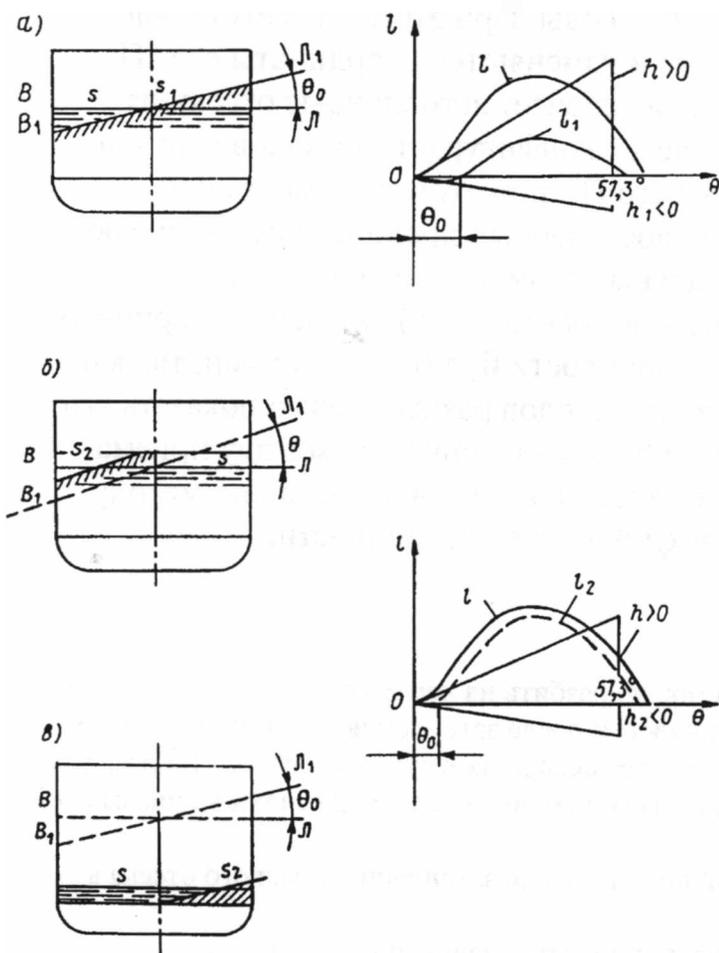


Рис. 8. Влияние свободной поверхности на устойчивость на больших углах крена: а). действительная потеря устойчивости; б, в). недействительные потери устойчивости.

Таким образом, при равных объемах влившейся воды наименее опасным будет отсек первой категории, затопление которого соответствует приему твердого груза, а наиболее опасным - отсек третьей категории. В то же время отсеки второй категории представляют значительную опасность, особенно при многоярусном затоплении в пределах одного автономного отсека, когда отрицательное влияние свободной поверхности, кратное числу затопленных палуб, может привести, к отрицательной начальной устойчивости. При симметричном относительно ДП затоплении высокорасположенные отсеки второй категории с точки зрения потери устойчивости более опасны, чем отсеки третьей категории с тем же объемом влившейся воды, так как у них при той же свободной поверхности положительное влияние веса влившейся воды будет меньше (рис.8).

Для отсеков второй, третьей и четвертой категорий при рассмотрении отрицательного влияния свободных поверхностей воды необходимо учитывать изменение не только начальной устойчивости судна, но и устойчивости на больших углах крена. Для этой цели вводятся понятия действительной и недействительной потерь устойчивости (см. рис.8).

#### Методы расчета непотопляемости

Под расчетом непотопляемости понимают определение параметров посадки и устойчивости судна после затопления одного или нескольких водонепроницаемых отсеков. Эти расчеты

можно выполнять двумя методами: методом приема груза и методом постоянного водоизмещения (исключения).

Метод приема груза, предполагает, что судно принимает жидкий груз, масса которого равна массе влившейся воды. При этом соответственно увеличивается водоизмещение судна и изменяются координаты его ЦТ. Метод постоянного водоизмещения исключает затопленные отсеки из плавучего объема судна, т.е. изменяется конфигурация обводов корпуса. Водоизмещение судна и положение его ЦТ при этом не изменяются. Поскольку оба метода основаны на достоверных предпосылках, они дают тождественные результаты для реальных величин, которые можно измерить на судне (осадки, крена, дифферента и т.п.). Значения аварийных метацентрических высот и плеч остойчивости будут различными, так как водоизмещения при применении этих методов разные. Легко показать, что аварийная метацентрическая высота  $h_p$ , определенная по методу приема груза, будет меньше метацентрической высоты  $h_v$ , найденной по методу исключения, в силу равенства коэффициентов остойчивости:

$$\Delta h_v = (\Delta + p v) * h_p; h_p < h_v$$

В каждом методе расчеты непотопляемости можно разбить на две группы:

- 1) расчеты параметров посадки и остойчивости после затопления единичного малого отсека или группы малых отсеков, не составляющих в сумме большого (под малым понимают отсек, при затоплении которого изменение средней осадки не превышает 15%);
- 2) расчеты параметров посадки и остойчивости после затопления большого отсека в пределах запаса плавучести судна.

При выполнении расчетов группы 1 следует сделать следующие замечания и допущения:

- все расчетные формулы приближенные;
- судно в пределах изменения посадки прямобортно;
- справедливы метацентрические формулы остойчивости;
- углы крена и дифферента малы (не превышают  $12^\circ$ );
- отсек третьей категории в пределах изменения уровня воды прямостенный, главные центральные оси действующей и всей площади новой ватерлинии параллельны, отсек однороден по проницаемости, в пределах изменения посадки категория отсека сохраняется, абсцисса и ордината ЦТ объема влившейся воды совпадает с координатами ее поверхности;
- до затопления отсека углы крена и дифферента равны нулю или малы; тогда расчетные формулы дадут добавочный крен и дифферент;
- точность расчетов уменьшается с увеличением объема затопленного отсека.

Расчеты непотопляемости, выполняемые при затоплении большого отсека, требуют последовательных приближений. Они также не свободны от допущений, но могут быть доведены до любой степени точности. Следует отметить, что в этом случае неприменимы метацентрические формулы остойчивости, а углы крена и дифферента не ограничиваются малыми значениями. Большой объем расчетных работ и их сложность обуславливают необходимость применения ЭВМ.

С физической точки зрения метод приема груза целесообразно применять в случаях, когда рассматривается затопление отсеков первой и второй

категорий. Для отсеков третьей категории расчет удобнее вести методом постоянного водоизмещения.

## Оперативная оценка непотопляемости

Жизненно важной задачей эксплуатации морского транспортного судна является оперативная оценка его аварийной посадки и остойчивости при реальной загрузке (на "отход") и в конкретной аварийной ситуации. Это объясняется тем, что имеющаяся на судне информация о непотопляемости составлена для типовых случаев загрузки, отличающихся у большинства судов от реальной загрузки.

Следует также иметь в виду, что судно, удовлетворяющее стандарту непотопляемости, при определенных условиях может оказаться потопляемым, и наоборот, что является результатом осреднения требований Правил Регистра к делению на отсеки. Кроме того, эти требования распространяются далеко не на все транспортные суда, так как при минимальном надводном борте (а у большинства накатных судов и при избыточном) их просто невозможно обеспечить. В этом случае капитану аварийного судна необходимо знать, останется ли судно на плаву при принятии надлежащих мер по его спасению или его необходимо покинуть во избежание гибели людей. К сожалению, не имея подобной информации, в экстремальных условиях часто принимают решения умозрительно, что приводит к трагическим последствиям.

Таким образом, очевидно, что в дополнение к построечной информации о непотопляемости судно должно быть снабжено документацией, позволяющей оценить состояние аварийного судна при реальном распределении грузов, запасов и балласта и реальном расположении пробоины. Такая документация также должна содержать рекомендации по борьбе за живучесть и сохранению поврежденного судна. В настоящее время эта актуальная задача решается по следующим направлениям:

1. Упрощение расчетных методик за счет введения дополнительных допущений и приведения их к виду, привычному для практики грузового помощника.
2. Снабжение судна серией графиков, номограмм, грузовых шкал и диаграмм, выполненных методами проектирования и позволяющих быстро и надежно оценить состояние аварийного судна.
3. Применение бортовых ЭВМ, оперативные возможности которых позволяют выполнить два приближения расчета методом постоянного водоизмещения.
4. Использование береговых штабов с мощными ЭВМ, снабженными пакетом программ, позволяющим выполнить расчет непотопляемости сколь угодно точно.

Первое направление, основанное на упрощении расчетных методик, приводит, как правило, к существенным погрешностям, которые не должны превышать в предварительных расчетах 0,5% для отклонения средней осадки и 0,2% для отклонения поперечной метацентрической высоты.

Второе направление определяется нормативными документами ММФ - требованиями к оперативной информации о непотопляемости морских сухогрузных и пассажирских судов. Эти документы содержат нормативы обеспечения аварийной плавучести и остойчивости, порядок расчета и инструкции по использованию номограмм и графиков. Результаты оформляются в виде планшета оперативного контроля непотопляемости.

Третье, и особенно четвертое, направления наиболее перспективны. Ограничения на их использование накладываются объемом внедрения бортовых ЭВМ на судах ММФ и лимитированным бюджетом машинного времени береговых ЭВМ.

При получении судном пробоины в районе машинного отделения (МО) особо важно оценить ходовое время судна, определяемое временем выхода из строя судовой электростанции, в течение которого можно ликвидировать последствия аварии. Критерием оценки этого времени следует принять время затопления МО до уровня генераторов судна. Оно определяется по формуле

$$t_3 = v / (Q_{пр} - Q_{от}),$$

где  $v$  - объем воды, при котором происходит затопление МО до уровня судовых генераторов;

$Q_{пр}$  - количество воды, поступающее через пробоину;

$Q_{от}$  - производительность водоотливных средств.

**Количество воды, поступающее через пробоину, равно**

$$Q_{пр} = \chi * F * \sqrt{2g(a + \delta a/2)}.$$

Здесь  $\chi$  - коэффициент расхода, принимаемый равным 0,7 для пробоины круглого сечения;

$F$  - площадь пробоины;

$a$  - углубление пробоины;

$\delta a$  - приращение углубления в результате затопления МО до уровня генераторов.

Для нахождения коэффициента расхода пробоины некруглого сечения используют понятие эквивалентного диаметра  $D$ , определяемого из условия равной пропускной способности отверстий различной формы.

$$F_1 / \Pi_1 = F / \Pi$$

где  $F$ ,  $F_1$  и  $\Pi$ ,  $\Pi_1$  - площади и периметры пробоин круглого и некруглого сечений соответственно:

$$D = 4F_1 / \Pi_1.$$

В результате получают следующую формулу для коэффициента расхода пробоины некруглого сечения:

$$\chi_1 = \chi * F / F_1$$

В общем случае количество воды, поступающее через пробоину произвольного сечения, равно

$$Q_{пр} = 8,8 (F_1^2 / \Pi_1^2) * \sqrt{2g(a + \delta a/2)}.$$

Объем влившейся воды  $v$  определяют с учетом коэффициента проницаемости МО, а производительность судовых водоотливных средств - с учетом ее снижения при параллельной работе насосов.

Требования Правил Регистра судоходства к делению морских судов на отсеки

Действующие Правила Регистра судоходства (часть V „Деление на отсеки“) в качестве характеристики обеспечения непотопляемости определяют вероятность его сохранения на плаву после получения пробоины. Если судно удовлетворяет требованиям Правил, то в

символ класса Регистра судоходства вводят знак  $\square\Psim 1$ ,  $\Gamma^{\sim}$  или  $13^{\wedge}$ , определяющий количество любых смежных отсеков, при затоплении которых судно остается на плаву.

Правила Регистра судоходства распространяются на все пассажирские суда, нефтеналивные суда, газовозы, химовозы, на транспортные суда, имеющие в символе класса знаки ледовых усилений УЛА, УЛ и УЛ1; на сухогрузные, накатные и промысловые суда длиной 100 м и более; на ледоколы длиной 50 м и более; на спасательные суда; на буксиры длиной 40 м и более; на атомные суда, а также на некоторые другие суда транспортного и технического флота специальных типов. Для всех прочих морских судов рекомендуется принимать все меры для достижения возможно лучших характеристик деления на отсеки, а обязательность применения Правил определяется заказчиком (судовладельцем).

Ввиду опасности спрямляемости судна, имеющего отрицательную начальную остойчивость, а также с целью обеспечения некоторого уровня мореходности поврежденного судна, в Правилах регламентируется (для конечной стадии затопления) минимальное допустимое значение начальной метацентрической высоты непассажирских судов  $h_{ав} = 0,05$  м и предъявляются требования к максимальному углу аварийного крена:  $15^{\circ}$  для пассажирских и  $20^{\circ}$  для непассажирских судов. После принятия мер по спрямлению крен пассажирского судна не должен превышать  $7^{\circ}$  при затоплении одного и  $12^{\circ}$  при затоплении двух и более смежных отсеков, а крен непассажирского судна во всех случаях не должен превышать  $12^{\circ}$ .

Для пассажирских судов было сочтено необходимым ввести дополнительные требования к аварийной начальной остойчивости исходя из скопления пассажиров на одном борту поврежденного судна и обеспечения его остойчивости на больших углах крена; эти требования выражаются приводимыми в Правилах формулами для  $h_{ав}$ .

В качестве рекомендации в Правилах регламентируются значения максимального плеча статической остойчивости поврежденного судна, которое должно быть не менее 0,1 м, и протяженности части диаграммы с положительными плечами не менее  $30^{\circ}$  при симметричном и  $20^{\circ}$  при несимметричном затоплении, причем если эти рекомендации выполняются, то для непассажирских судов допускается в конечной стадии затопления положительная метацентрическая высота, меньшая 0,05 м.

Приведенные выше требования к аварийной остойчивости и посадке должны выполняться при затоплении одного любого отсека или двух смежных отсеков (в зависимости от числа пассажиров и команды пассажирского судна и размеров непассажирских судов). При этом принимаемые в расчетах значения условных коэффициентов проницаемости судовых помещений получают дальнейшие уточнения.

## ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА СУДНА

### Внешние силы и напряжения в корпусе судна

**Определения и общие положения.** Прочностью корпуса судна называется его способность противостоять внешним усилиям, возникающим в процессе эксплуатации судна, без нарушения целостности как всего корпуса, так и отдельных его конструктивных элементов. Прочности корпуса должна соответствовать необходимая жесткость, то есть способность сопротивляться внешним усилиям без значительных изменений формы конструкций. В большинстве случаев при удовлетворении требований к прочности жесткость оказывается достаточной.

Изучая прочность плавающего судна, его корпус рассматривают как пустотелую тонкостенную составную балку переменного по длине сечения, находящуюся под воздействием сложной системы сил, в число которых входят силы веса и инерции,

гидростатические силы давления воды, гидродинамические силы, возникающие при движении судна, и тому подобное. Все эти силы в совокупности вызывают деформацию корпуса, которую в практических расчетах принято разделять на деформацию общего изгиба в продольной и поперечной плоскостях и местные деформации составных элементов корпуса. Соответственно рассматривают общую продольную прочность, поперечную прочность и местную прочность корпуса судна.

При характерных для морских судов соотношениях между высотой борта и шириной корпуса обеспечение общей продольной прочности в обычных условиях плавания на взволнованной поверхности моря приводит также и к обеспечению общей поперечной прочности, которую проверяют только в особых случаях (например, при постановке в док).

Кроме усилий возникающих при общем изгибе корпуса, отдельные его конструкции воспринимают различные местные нагрузки. Например, набор и настил палубы воспринимают вес расположенных на палубе грузов, днище и борта – давление забортной воды и т.д. Проверка прочности этих конструкций под действием таких местных нагрузок является задачей расчета местной прочности.

**Внешние силы, вызывающие общий изгиб корпуса.** При проверке общей продольной прочности корпуса судна рассматривают в условиях воздействия на него только вертикальной нагрузки – сил веса и вертикальных составляющих гидростатических и гидродинамических сил давления воды. Горизонтальные составляющие внешней нагрузки (упор движителей и силы сопротивления воды) не учитывают, так как общие напряжения в связях корпуса от таких сил пренебрежимо малы. Явление общего изгиба корпуса судна, плавающего на взволнованной поверхности воды, схематизируется. Изгибающие моменты, возникающие в различных поперечных сечениях корпуса, разделяют на три составляющие: на изгибающие моменты, возникающие при плавании судна на тихой воде; на дополнительные изгибающие моменты, возникающие при плавании на волнении в результате перераспределения сил плавучести по длине судна и на дополнительные динамические изгибающие моменты, действию которых судно периодически подвергается при ходе на полнении вследствие ударов днищем о воду. Соответственно разделяют и перерезывающие силы в поперечных сечениях корпуса.

Силы веса и вертикальные составляющие гидростатических сил давления воды (силы плавучести), действующие на судно, плавающее в положении статического равновесия на тихой воде, уравновешены целом, т.е. их равнодействующие равны по абсолютному значению, противоположно направлены и приложены в точках, лежащих на одной вертикали. Однако по длине судна силы веса и плавучести распределены по различным законам, что приводит к возникновению перерезывающих сил и изгибающих моментов, а следовательно, и к общему продольному изгибу корпуса.

Распределение сил веса по длине судна определяется ступенчатой кривой сил веса (рис.9.а), а распределение сил плавучести – ступенчатой кривой сил плавучести (рис.9.б), равновеликой по площади строевой по шпангоутам судна. Вычитая ординаты ступенчатой кривой сил плавучести из ординат ступенчатой кривой сил веса, получают ступенчатую кривую нагрузки  $q$  (рис.9.в). Согласно общей теории изгиба балок первая интегральная кривая от кривой нагрузки будет представлять собой кривую перерезывающих сил  $Q$  (рис.9.г), а вторая интегральная кривая - кривую изгибающих моментов  $M$  (рис.9.д). Все операции по построению указанных выше кривых в совокупности носят название постановки судна на тихую воду.

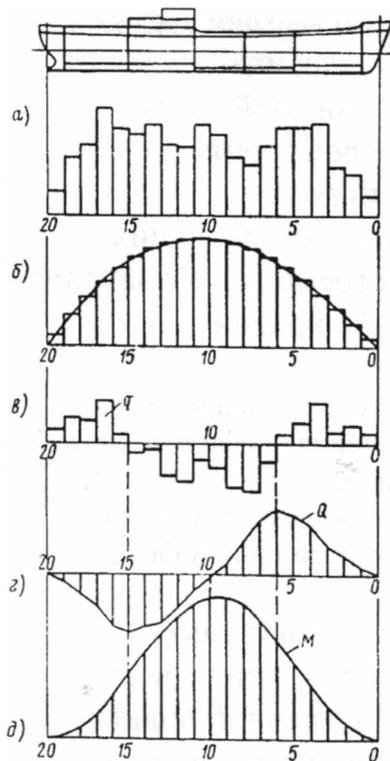


Рис. 9. Эпюры сил веса (а), сил плавучести (б), нагрузки (в), перерезывающих сил (г) и изгибающих моментов (д)

Ординаты кривой сил веса представляют в некотором выбранном масштабе силы веса, действующие на единицу длины судна. Для построения этой кривой длину судна разбивают на двадцать равных по длине участков – теоретических шпаций. Для упрощения расчетов принимают допущение, что в пределах каждой шпации вес распределяется равномерно, вследствие чего кривая получает ступенчатый вид. Исходным документом для построения кривой сил веса служит подробная таблица нагрузки судна, а также чертеж продольного разреза судна, при помощи которого отдельные статьи нагрузки распределяют по теоретическим шпациям. Предложено несколько способов (приемов) построения отдельных составных частей кривой сил веса, в частности кривой сил веса корпуса. Подробное рассмотрение этих способов, представляющее интерес лишь для инженеров-кораблестроителей, выполняющих расчеты общей прочности, выходит за пределы данного курса. Укажем только, что необходимыми условиями правильности построения кривой служат равенство ее площади (с учетом принятых масштабов) водоизмещению судна и совпадение абсцисс ЦТ площади кривой и ЦТ судна.

Кривая сил плавучести представляет собой строевую по шпангоутам, ординаты которой умножены на удельный вес забортной воды и отложены в масштабе, принятом ранее при построении кривой веса. Для упрощения расчетов полученную таким образом главную кривую сил плавучести заменяют равновеликой ей по площади ступенчатой кривой (см. рис.9.б). Отметим, что площади и абсциссы ЦТ ступенчатых кривых сил веса и сил плавучести должны соответственно совпадать в связи с равновесным положением судна.

Построение кривой нагрузки  $q$  не требует пояснений. Отметим только, что если кривая нагрузки построена правильно, то части ее площади, расположенные выше и ниже оси сравнения, будут равны между собой.

Ординаты кривых перерезывающих сил и изгибающих моментов в произвольном сечении с абсциссой  $X$  определяются интегралами

$$Q_X = \int_0^X q_x^* dx ; \quad M_X = \int_0^X Q_x^* dx = \int_0^X \int_0^x q_x^* dx^2$$

которые вычисляют табличным способом как интегралы с переменным верхним пределом.

Кривые перерезывающих сил и изгибающих моментов как интегральные по отношению к кривой нагрузки обладают следующими свойствами: кривая нагрузки пересекает ось сравнения в точках, отвечающих экстремальным значениям перерезывающей силы; кривая перерезывающих сил пересекает ось сравнения в точках, отвечающих экстремальным значениям изгибающего момента: экстремальные значения кривой перерезывающих сил отвечают точкам перегиба кривой изгибающих моментов.

При плавании судна по взволнованной поверхности моря происходит непрерывное перераспределение сил плавучести по длине судна вследствие изменения профиля волновой ватерлинии в процессе поступательного перемещения (хода) и качки судна. В результате такого перераспределения возникает дополнительная внешняя нагрузка на корпус судна, которая приводит к возникновению дополнительных перерезывающих сил и изгибающих моментов.

В результате килевой и вертикальной качки судна возникают также дополнительные ускорения, а следовательно, изменяются и силы веса. Кроме того, в условиях такой качки при ходе против встречной волны происходит периодическое оголение носовой оконечности судна; при входе ее в воду на днище действуют значительные гидродинамические силы, вызывающие соответствующий динамический изгиб корпуса судна.

В классической теории общего продольного изгиба корпуса судна на волнении обычно принимают допущение, что с точки зрения общей продольной прочности наиболее неблагоприятными являются такие положения судна, когда его мидель-шпангоут располагается либо на вершине, либо на подошве волны, гребень которой перпендикулярен ДП судна, а длина равна длине судна (рис.10). Если средняя часть судна находится на вершине волны (рис.10.а), то силы плавучести на этом участке возрастают, а к оконечностям убывают. В этом случае корпус судна изгибается, получая перегиб. Наоборот, когда средняя часть судна находится на подошве волны (рис.10.б), силы плавучести посередине уменьшаются, а к оконечностям возрастают и судно получает прогиб.

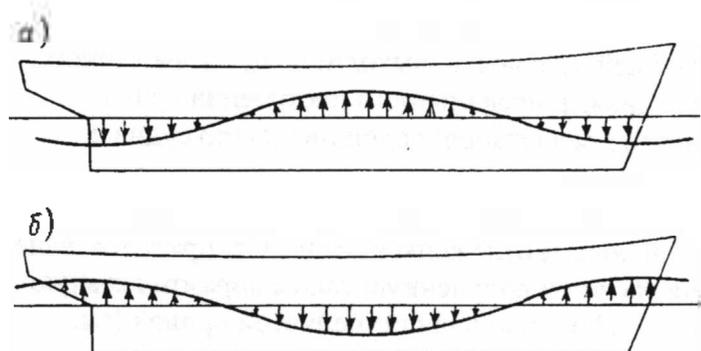


Рис. 10. Судно на вершине (а) и на подошве (б) волны

В тех случаях, когда гребень волны не перпендикулярен ДП судна, его корпус кроме общего продольного изгиба подвергается скручиванию. Однако скручивание, как правило, не является лимитирующим фактором для морских транспортных судов за исключением судов некоторых конструктивных типов, например судов открытого типа (с широкими люками). Для таких судов существует специальная расчетная методика.

Дополнительные перерезывающие силы и изгибающие моменты, возникающие на волнении в результате перераспределения сил плавучести по длине судна, могут быть определены путем расчета, известного под названием статической постановки судна на вершину и подошву волны. В этом расчете кривые сил веса и сил плавучести на тихой воде не используют, а строят только кривую дополнительной нагрузки, интегрированием которой по длине судна получают искомые кривые дополнительных (волновых) перерезывающих сил и изгибающих моментов. Однако, вследствие значительной трудоемкости такого расчета, часто пользуются соответствующими приближенными формулами.

Приближенная методика существует также для определения динамической составляющей волновой нагрузки.

Нормальные и касательные напряжения в продольных связях корпуса. С достаточной для практических целей точностью можно принять, что деформация общего изгиба корпуса судна как тонкостенной пустотелой составной балки следует гипотезе плоских сечений и подчиняется общепринятой теории изгиба балок. Согласно этой теории нормальные напряжения в поперечных сечениях по высоте балки изменяются по линейному закону, а по ширине балки остаются неизменными для каждого отстояния от нейтральной оси сечения (проходящей через его ЦТ). Таким образом, нормальные  $\sigma$  и касательные  $\tau$  напряжения в продольных связях корпуса могут быть определены по известным формулам:

$$\sigma = M \cdot z_i / I$$
$$\tau = Q \cdot S / (I \cdot b)$$

где  $M$  – изгибающий момент, действующий в рассматриваемом поперечном сечении;

$z_i$  – отстояние ЦТ поперечного сечения данной продольной связи от нейтральной оси;

$I$  – момент инерции площади поперечного сечения продольных связей корпуса относительно нейтральной оси;

$Q$  – перерезывающая сила в поперечном сечении;

$S$  – статический момент относительно нейтральной оси части площади поперечного сечения продольных связей, расположенной выше или ниже горизонтального сечения, в котором определяются касательные напряжения;

$b$  – суммарная толщина продольных связей корпуса, пересекаемых горизонтальным сечением, на уровне которого определяются касательные напряжения.

## Контроль общей продольной прочности судна в эксплуатации

При типовых случаях нагрузки транспортных судов длиной  $L \geq 80$  м, приводимых в Информации об остойчивости и прочности судна для капитана, общую прочность его корпуса можно считать обеспеченной. Поэтому необходимость проверки общей прочности упомянутых транспортных судов в эксплуатации может возникнуть при загрузке трюмов, отличной от типовых случаев, с большой неравномерностью распределения груза по длине судна (например, при загрузке концевых трюмов и отсутствии груза в средних или, наоборот, при загрузке средних трюмов и отсутствии груза в концевых трюмах), а также для выяснения возможности выполнения грузовых операций в порту или на рейде в требуемой последовательности.

Напряженное состояние корпуса судна определяется изгибающим моментом и перерезывающей силой, действующими на судно в различных его поперечных сечениях. Для сухогрузных судов, перевозящих генеральные, лесные и легкие сыпучие грузы, обычно ограничиваются проверкой общей прочности по изгибающему моменту, действующему

в миделевом сечении судна. Для танкеров, а также для судов, предназначенных для перевозки тяжелых навалочных грузов (например, рудовозов), как правило, необходима (в зависимости от возможных случаев нагрузки и по согласованию с Инспекцией Регистра) проверка общей прочности по изгибающим моментам и перерезывающим силам, действующим в нескольких поперечных сечениях корпуса.

Полные изгибающий момент и перерезывающая сила при данном состоянии нагрузки судна складываются из изгибающего момента и перерезывающей силы на тихой воде и дополнительных изгибающего момента и перерезывающей силы от морского волнения, которые практически одинаковы при различных осадках судна. Поэтому без большой погрешности допустимо оценивать и проверять напряженное состояние корпуса судна по значению изгибающего момента  $M_{тв}$  и перерезывающей силы  $Q_{тв}$  на тихой воде. Такое допущение предусмотрено в Правилах Регистра

Типовая информация об остойчивости и прочности грузового морского судна содержит специальные диаграммы контроля прочности, по которым общая прочность судна может быть проверена для любого состояния его нагрузки и в любых условиях его эксплуатации (в рейсе, на рейде, в порту). Каждую такую диаграмму (рис.11) строят в конструкторском бюро на основе формул, приводимых в Правилах Регистра. Поскольку значения моментов сопротивления и площади поперечного сечения продольных связей для каждого конкретного судна известны, эти формулы дают возможность вычислить максимальные допустимые значения  $M_{тв}$  и  $Q_{тв}$ .

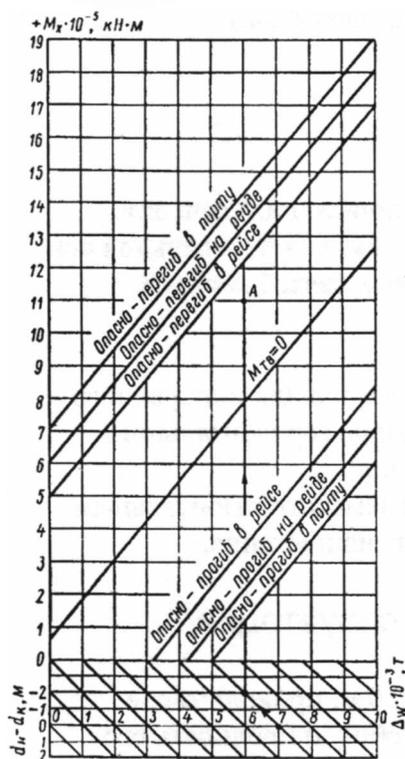


Рис. 12. Диаграмма контроля общей продольной прочности

При наличии диаграммы контроля общей продольной прочности судна по изгибающему моменту или перерезывающей силе, проверку прочности в данном поперечном сечении осуществляют в следующем порядке:

1. Определяют дифферен судна  $d_n - d_k$ .
2. В табличной форме рассчитывают дедейт судна  $\Delta w$ , и сумму  $+M_x$  положительных моментов части дедейта, расположенной в нос от данного поперечного сечения (табл.2).

3. На диаграмме контроля общей продольной прочности (см. рис.11) откладывают значение дедвейта  $\Delta_w$ , (на рисунке  $\Delta_w = 7000$  т), От, полученной точки переходят по наклонной прямой к горизонтали, отвечающей найденному ранее дифференту судна (в данном примере  $d_n - d_k = -2$  м). Через найденную точку проводят вертикаль, на которой откладывают сумму моментов  $+M_x$  и ставят точку А.

Прочность корпуса считается достаточной, если точка А находится в безопасной зоне, то есть для плавания в рейсе, когда она лежит между линиями Опасно-перегиб в рейсе и Опасно-прогиб в рейсе. Если точка А лежит за этими линиями, но между линиями Опасно-перегиб на рейде и Опасно-прогиб на рейде, то прочность достаточна только для погрузки-разгрузки на рейде и т. д.

Допустимые значения суммы  $+M_x$ , определяют по точкам пересечения вертикали для заданного дедвейта и дифферента с соответствующими границами и заносят в таблицу.

Таблица

Расчет изгибающего момента от грузов, входящих в дедвейт

Дифферент . . . . . м	Р,т	+М, кН*м
Судовые запасы Перевозимый груз Балласт Суммы Расчетная Допустимая от (в рейсе) до		

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНВЕНЦИЯ О ГРУЗОВОЙ МАРКЕ

**Запас плавучести и грузовые марки.** Запасом плавучести называют непроницаемый для воды объем корпуса судна, расположенный выше ГВЛ и включающий помещения, ограниченные верхней водонепроницаемой палубой, а также водонепроницаемые надстройки и рубки. Он определяет дополнительную нагрузку, которую может принять судно до того, как оно потеряет способность держаться на воде. Запас плавучести, выраженный в процентах от объемного водоизмещения судна, на транспортных грузовых судах составляет 25—30 %, на танкерах 10- 15, на пассажирских судах 80-100 %.

Необходимый запас плавучести судна обеспечивается назначением ему минимальной высоты надводного борта, достаточной для безопасного плавания в определенных районах и в определенное время года.

Высота надводного борта является важной характеристикой, влияющей на прочность корпуса судна, так как она связана с осадкой и высотой борта. Осадка судна служит показателем внешних усилий, действующих на корпус судна от общего продольного изгиба: чем больше осадка, тем больше эти усилия. С целью снижения напряжения в связях корпуса, увеличивающихся по мере его износа, уменьшают осадку судна. От осадки зависит высота надводного борта, а от последней – величина ударных – нагрузок на носовую оконечность.

Чем дальше высота надводного борта в носовой оконечности, тем меньше заливаемость и ударные нагрузки на палубу и в развал борта, а чем меньше осадка, тем больше ударные нагрузки на днище.

Расчеты минимальной высоты надводного борта судна производят в соответствии с положениями, принятыми Международной конвенцией о грузовой марке 1966 г., которая вступила в действие с 21 июля 1968 г. На основании этих положений были разработаны Правила о грузовой марке морских судов, которые определяют минимально допустимый надводный борт, зависящий от главных размерений судна, формы корпуса, типа надстроек, наличия седловатости и степени надежности закрытий различных отверстий в перекрытиях, обеспечивающих водонепроницаемость. Минимальная высота надводного борта нормируется для определенных районов и для определенного времени года. Кроме того, Правила о грузовой марке устанавливают единые принципы и требования, касающиеся предельной загрузки судов. В Правилах о грузовой марке издания 1985 г. имеется карта зон и соседних районов в виде приложения. На карте отмечена продолжительность отдельных погодных состояний для разных районов Мирового океана, соответствующих осадкам, требуемым грузовой маркой. Например, летней зоне соответствует летняя грузовая марка, тропической зоне – тропическая марка. Такие карты можно найти и в справочниках капитанов.

В соответствии с требованиями Конвенции на каждом судне должно иметься свидетельство о грузовой марке, которая в виде условных знаков наносится на его бортах у миделя (рис. 12). Организация, выдающая свидетельство, удостоверяет, что общая конструктивная прочность судна достаточна при наличии осадки, соответствующей назначенному минимальному надводному борту судна. Судну не разрешается иметь осадку большую, чем расчетная.

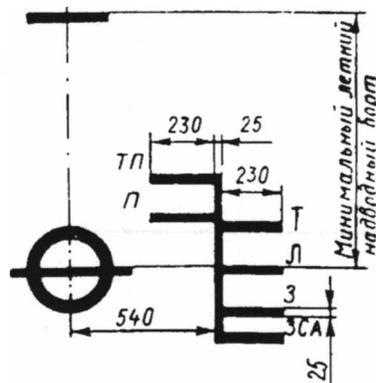


Рис. 12. Грузовая марка, наносимая у миделя

Высота надводного борта - это расстояние, измеренное по вертикали у борта на середине длины судна от верхней кромки палубной линии в виде полосы длиной 300 мм, нанесенной у верхней палубы с обоих бортов так, что ее верхняя кромка совпадает с верхней поверхностью листа палубного стрингера, до верхней кромки линии грузовой марки, соответствующей погодным и географическим условиям.

Грузовая марка (см. рис. 12) состоит из кольца шириной 25 мм диска Плимсоля с пересекающей его полосой такой же ширины, верхняя кромка которой проходит через центр диска. От этой кромки измеряется оазисная высота надводного борта, соответствующая летней осадке судна.

Грузовые марки на судах с минимальным надводным бортом, соответствующие положению грузовой ватерлинии судна при его загрузке в различных зонах, районах и в различные сезонные периоды плавания, представляют собой горизонтальные полосы длиной 230 и шириной 25 мм, примыкающие к вертикальной полосе той же ширины, нанесенной в нос на 540 мм от центра кольца. Используют следующие грузовые марки: летнюю (Л);

зимнюю (З); зимнюю для Северной Атлантики (ЗСА); тропическую (Т); грузовую марку для пресной воды летом, наносимую слева от вертикальной линии (П); тропическую марку для пресной воды (ТП). На судах, перевозящих лесные грузы; назначают лесной надводный борт и в дополнение к обычным грузовым маркам наносят лесные грузовые марки, для чего от кольца (диска Плимсоля) проводят вертикальную линию на расстоянии 540 мм от центра кольца. От нее в корму наносят марки, отвечающие положению грузовых ватерлиний при загрузке судна лесом в разных зонах, районах и в разные сезонные периоды. Для решения задач, связанных с проверкой достаточности загрузки судна и сохранением требуемого минимального надводного борта, судоводители пользуются грузовой шкалой (рис.13).

При эксплуатации судна могут встречаться различные варианты загрузки, два из которых следующие: судно, выходя в рейс, имеет избыточный надводный борт, будучи загруженным легким грузом; судно имеет минимальный надводный борт, приняв тяжелый груз. В первом случае судно, имея законное право принять дополнительное количество груза до осадки, соответствующей минимальному надводному борту, не могло это сделать из-за недостатка места. Во втором – грузовые помещения судна полностью заполнены не были, но принять дополнительный груз судно не могло. По Правилам о грузовой марке судно с минимальным надводным бортом дополнительного груза принимать не имеет права, так как при проектировании прочность корпуса определяется для судна с минимальным надводным бортом. При высоте надводного борта, меньшей минимальной, прочность судна будет недостаточной, а при перевозке легкого груза прочность судна будет избыточной в связи с тем, что высота его надводного борта больше минимальной.



Осадка м	Осадка		Дедвейт			ЛЗ т на 1 м осадки
	Футы	англ.	т	англ. мт	т	
11	37	32	17000	15000	18000	101
	36	30	36000	27000	26000	100
10	35	35000	35000	26000	25000	99
	34	34000	34000	25000	24000	98
	33	33000	33000	24000	23000	97
	32	32000	32000	23000	22000	96
9	31	31000	31000	22000	21000	95
	30	30000	30000	21000	20000	94
	29	29000	29000	20000	19000	93
8	28	28000	28000	19000	18000	92
	27	27000	27000	18000	17000	91
	26	26000	26000	17000	16000	90
7	25	25000	25000	16000	15000	89
	24	24000	24000	15000	14000	88
	23	23000	23000	14000	13000	87
6	22	22000	22000	13000	12000	86
	21	21000	21000	12000	11000	85
	20	20000	20000	11000	10000	84
5	19	19000	19000	10000	9000	83
	18	18000	18000	9000	8000	82
	17	17000	17000	8000	7000	81
4	16	16000	16000	7000	6000	80
	15	15000	15000	6000	5000	79
	14	14000	14000	5000	4000	78
3	13	13000	13000	4000	3000	77
	12	12000	12000	3000	2000	76
	11	11000	11000	2000	1000	75
2	10	10000	10000	1000	1000	74
	9	9000	9000	0	0	73

Рис. 13. Грузовая шкала

Если суда проектируют для работы на линиях, на которых необходимо перевозить только легкие грузы, то их осадка невелика, и они имеют прочность корпуса, соответствующую этой осадке (при избыточном надводном борте). Грузить такие суда более тяжелым грузом до большей осадки запрещается.

Загрузка любого судна, при которой высота его надводного борта меньше минимальной, считается опасной и не может допускаться во время эксплуатации. Однако всем судам, имеющим минимальную высоту надводного борта, всегда разрешается плавать с избыточной высотой надводного борта.

Окончательный расчет высоты надводного борта для вновь проектируемого судна производят при выполнении технического проекта. Изменяя седловатость судна и объемы надстроек, можно значительно уменьшить или увеличить требуемую высоту минимального надводного борта. Так, меняя только седловатость, можно уменьшить высоту минимального надводного борта и увеличить осадку на 0,5 - 1,2 м в зависимости от размеров судна.

Масса корпусов сухогрузных судов с избыточным надводным бортом, как правило, меньше на 2 – 5 % массы корпусов судов с минимальным надводным бортом.

При расчетах минимального надводного борта по Правилам о грузовой марке для обычных сухогрузных судов высоту базисного (исходного при расчете) надводного борта принимают большей, чем для танкеров. Это вызвано тем, что отверстия в палубах танкеров имеют небольшие размеры в отличие от отверстий в палубах сухогрузных судов (рис. 14). Кроме того, отверстия в палубах танкеров имеют надежные закрытия, обеспечивая большую безопасность эксплуатации в самых сложных условиях плавания.

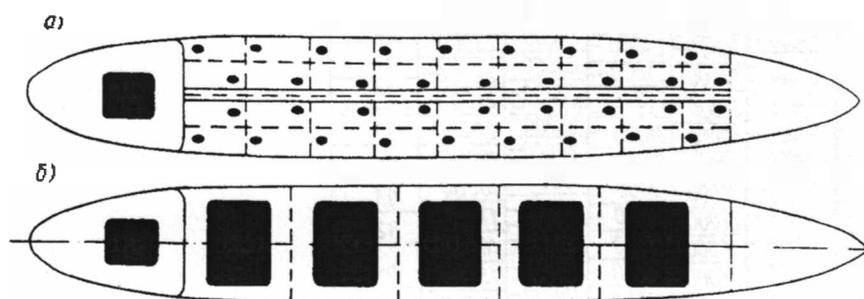


Рис. 14. Отверстия в верхней палубе: а). танкера с тремя продольными переборками; б). сухогрузного судна

В связи с тем, что высота базисного надводного борта у сухогрузного судна больше, чем у танкера такой же длины, осадка танкера с полным грузом больше, чем осадка сухогрузного судна с полным грузом. Это создает ряд особых условий. Например, при равной загрузке у танкера максимальный изгибающий момент и заливаемость больше, чем у сухогруза. Для того чтобы вода быстрее скатывалась с палубы, на танкерах фальшборты не делают, и ограничиваются установкой леерных ограждений вдоль бортов. Для прохода по палубе устраивают переходный мостик, возвышающийся над палубой и идущий между кормовой и носовой надстройками в ДП судна. На очень крупных танкерах, имеющих очень большую высоту надводного борта и, следовательно, слабую заливаемость, мостик не делают. Палуба таких танкеров гладкая и не имеет ни бака, ни седловатости.

Для судов, проектируемых с избыточным надводным бортом, размеры связей поперечных сечений корпуса определяют расчетным путем на основании действующих напряжений, возникающих при осадке, соответствующей назначенному надводному борту.

При седловатости палубы, оказывающей большое влияние на архитектурный вид судна, высота надводного борта в оконечностях увеличивается. Однако на судне с седловатостью создаются трудности при укладке и креплении палубного груза, при перемещении колесной техники по верхней палубе, при размещении ящиков с грузом в трюмах из-за изменения высоты по длине судна. Поэтому все чаще современные танкеры, лесовозы, газовозы, щеповозы, суда для навалочных грузов и суда, перевозящие колесную технику на верхней палубе, строят без седловатости. По этой же причине днище делают горизонтальным, без килеватости в средней части судна. Отсутствие седловатости способствует уменьшению массы корпуса. Дополнительные объемы в оконечностях судна без седловатости с целью увеличения плавучести, непотопляемости могут быть получены за счет удлинения надстроек. Причем при удлинении концевых надстроек (бака и юта) уменьшается требуемый минимальный надводный борт. В результате осадка судна увеличивается, и оно может перевозить больше груза.

Приспособленность судна к укладке груза, к его перемещению и к грузовым операциям оказывает очень большое влияние на экономические показатели судов, особенно сухогрузных, перевозящих генеральные грузы. Добиться удобства проведения грузовых операций можно только при рациональном проектировании грузовых помещений с учетом рода перевозимого груза и его размеров.

В последнее время все шире распространяется перевозка грузов укрупненными местами (пакетами, контейнерами). Для их погрузки и выгрузки в палубе, в бортах и в корме устраивают большие вырезы (люки, лацпорты).

На судах с вертикальным способом погрузки и выгрузки, при котором грузовые операции производят при вертикальном перемещении отдельных грузовых мест и их закреплении без всяких перемещений вдоль и поперек судна, в палубах делают большие люки. Расстояния от продольных кромок этих люков до бортов и между соседними люками по длине совсем небольшие. Такие люки ослабляют верхнюю палубу, уменьшают ширину верхнего пояса эквивалентного бруса и создают опасные очаги концентрации напряжений, особенно в условиях кручения корпуса судна. Кроме того, возникают трудности при обеспечении прочности и водонепроницаемости люковых закрытий, а также закрытий бортовых лацпортов.

Размеры грузовых помещений и вырезов в корпусе необходимо назначать кратными размерам контейнеров международного стандарта ИСО.