



Атомный ледокол «Ленин»

А. П. Александров, И. И. Африкантов, А. И. Брандаус, Г. А. Гладков,
Б. Я. Гнесин, В. И. Неганов, Н. С. Хлопкин

Введение

Развитие хозяйства северных районов Советского Союза требует создания нового мощного ледокольного флота, способного осуществлять ускоренную проводку караванов судов по трассе Северного морского пути, продлить период навигации и расширить трассу за счет использования более высоких широт. Все это позволит увеличить грузооборот и объем арктических перевозок.

Существующие ледоколы и транспортные суда ледокольного типа, работающие на обычном топливе, ввиду частых бункеровок не могут быть использованы для плавания по всей широте арктического бассейна. Плавание их ограничивается сравнительно узкой прибрежной полосой и происходит в сложной ледовой обстановке. Постоянная угроза остаться в этих условиях без топлива вынуждает крайне осторожно расходовать его, и потому часто ледоколы вынуждены работать на неполной мощности, что снижает эффективность проводки судов.

От всех этих недостатков свободен строящийся в Советском Союзе ледокол, в котором в качестве двигателя применяется энергетическая установка, работающая на ядерном горючем. Этот ледокол, обладающий большой мощностью и весьма длительной автономностью плавания, может быть использован в любой зоне Арктики и позволит расширить фронт научных исследований ее.

В процессе создания этого ледокола ученым, инженерам и работникам промышленности пришлось решить ряд сложных технических вопросов и проблем. Так, например, были решены следующие задачи:

1. Создание компактной ядерной энергетической установки, обладающей высокой мощностью, хорошей управляемостью и живучестью в тяжелых условиях качки, вибраций и ударных нагрузок, с обеспечением радиационной безопасности при работе как в открытом море, так и в портах при минимальном весе биологической защиты.

2. Создание ядерного реактора и решение комплекса физических, теплотехнических и технологических вопросов.

3. Изготовление уникального энергомеханического оборудования, высокопрочного корпуса корабля, разработка и изготовление специальных материалов.

4. Внедрение почти полной автоматизации процессов управления, регулирования и контроля взаимосвязанных энергетических систем.

Характеристики ледокола

Атомный ледокол «Ленин» был заложен на судостроительной верфи в Ленинграде 25 августа 1956 г. и спущен на воду 5 декабря 1957 г. В настоящее время производится достройка ледокола на плаву (рис. 1).

Приводятся основные характеристики ледокола.

Тип ледокола	турбоэлектрический
Автономность плавания	1 год
Наибольшая длина	134 м
Наибольшая ширина	27,6 м
Мощность на валу	44 000 л. с.
Водоизмещение	16 000 т
Энерговооруженность	2,75 л. с./т
Максимальная скорость на глубокой и тихой чистой воде при полном водоизмещении	18 узлов

Скорость непрерывного хода во льдах толщиной 2,4 м	2 узла
Число гребных винтов	3
Число оборотов при максимальной скорости	
среднего винта	185 об/мин
бортовых винтов	205 об/мин
Высота борта у миделя	16,1 м
Осадка	9,2 м
Упор винтов, развиваемый на переднем ходу в швартовном режиме	330 т
Вес ядерной энергетической установки (включая защиту)	
общий	3017 т
удельный	68,5 т/л. с.
Вес защиты	1963 т
Суммарный вес механической установки (включая гребные электродвигатели и электростанции, но без атомной энергетической установки)	2750 т
Полная паропроизводительность установки	360 т/час
Параметры пара	
температура	310°C
давление	28 ат
Расход пара на главные турбогенераторы	204 т/час
Производительность вспомогательного парового котла	10 т/час
Мощность вспомогательных электростанций	6200 кВт

Автономность плавания (1 год)—одно из основных корабельных качеств, особо важное для Арктики, где затруднен, а подчас и невозможен подвоз топлива—на порядок выше, чем у существующих ледокольных судов.

По своей мощности—44 000 л. с. на валу—турбоэлектрическая установка ледокола не имеет равных в этом классе судов. Энерговооруженность ледокола (отношение установленной мощности к полному водоизмещению) доведена до 2,75 л. с. на тонну водоизмещения, что превышает энерговооруженность действующих в настоящее время ледоколов почти в полтора раза.

Сравнительные характеристики атомного ледокола «Ленин» и некоторых обычных ледоколов приведены в таблице.

Главные размеры ледокола (длина, ширина, высота борта и осадка) были выбраны с учетом ряда требований нормальной эксплуатации, а именно: малое отношение длины к ширине (что необходимо для лучшей маневренности во льдах); возможность заводить ледокол в сухие доки; обеспечение непотопляемости и остойчивости; обеспечение лучших по сравнению с существующими судами качеств (повышенная автономность

Сравнительные характеристики ледоколов

	«Брма» (СССР)	«Д. Ибер- вилль» (Ка- нада)	«Лабрадор» (Канада)	«Глетчер» (США)	«Ленин» (СССР)
Энерговооруженность, л. с./т	0,95	1,22	1,96	2,20	2,75
Отношение установленной мощности к ширине по ватерлинии, л. с./м	350	550	556	900	1640

и энерговооруженность, улучшенные бытовые условия для экипажа корабля и др.).

При проектировании ледокола особое внимание было уделено отработке оптимальной формы носовой оконечности, в первую очередь влияющей на ледокольные качества судна. Окончательному выбору формы носовой оконечности предшествовали испытания моделей в ледовом бассейне и натурные испытания во льдах. Выбранная форма позволяет иметь относительную величину нормального давления ледокола на лед на 15% больше, чем у существующих ледоколов.

Завал борта у мидель-шпангоута является достаточным для предохранения надстроек при случайных навалах бортом ледокола во время оковки проводимых судов или швартовки.

При проектировании кормовой оконечности основное внимание было уделено надежной защите винтов и руля и обеспечению проходимости во льдах на заднем ходу. В надводной части кормы имеется специальная выемка, предназначенная для буксировки судов вплотную.

Мощность распределяется между тремя кормовыми винтами в отношении 1 : 2 : 1. При установке винтов постоянного шага практически невозможно иметь оптимальные режимы работы для ходового и швартовного режимов. Поэтому при разработке винтов основное внимание было уделено получению максимального упора при ходе во льдах.

Ориентировочные расчеты проходимости во льду, выполненные по данным специально проведенных натурных испытаний ледокола «Илья Муромец», показали, что при выбранном упоре 330 т ледокол способен продви-

гаться непрерывным ходом в сплошном ледяном поле толщиной более 2 м.

Для улучшения проходимости ледокола во льдах на нем оборудованы специальные креновая и дифференциальная системы, обслуживаемые пропеллерными реверсивными электронасосами производительностью по 4000 м³/час каждый. Управление этими электронасосами централизовано и автоматизировано.

Максимальная скорость ледокола была рассчитана по данным модельных испытаний в бассейне. Модельные испытания и расчеты показали, что при полной скорости переднего хода при перекладке руля на 35° диаметр установившейся циркуляции составляет около 3—3,5 длин корпуса. На заднем ходу для улучшения управляемости ледокол маневрирует бортовыми винтами.

Учитывая возможность тяжелых условий эксплуатации ледокола (форсировка тяжелых льдов в высоких широтах), приняли повышенные значения расчетных ледовых нагрузок на бортовой набор и наружную обшивку ледового пояса корпуса ледокола.

Для выяснения характера распределения ледовых нагрузок по борту ледокола были проведены натурные испытания одного из плавающих ледоколов и выполнены теоретические исследования картины ломки льда ледоколом.

Была также проанализирована прочность бортового набора и наружной обшивки пояса плавающих и спроектированных ледоколов отечественной и иностранной постройки.

Для обеспечения достаточной прочности всех связей корпуса, воспринимающих принятые расчетные ледовые нагрузки, потребовалось создать сталь новой марки, обладающую повышенной ударной вязкостью и хорошей свариваемостью, а также хорошей сопротивляемостью распространению трещин при низких температурах.

Наружная обшивка ледокола имеет ледовый пояс в средней части толщиной 36 мм, в носовой оконечности 52 мм и в кормовой 44 мм.

Корпус достаточно прочен для выдерживания любого возможного в арктических условиях сжатия льдов.

Вследствие значительной ширины обычные ледоколы всегда имеют большую поперечную метацентрическую высоту, что вызы-

вает порывистую качку при плавании в открытом море. Поперечная метацентрическая высота ледокола «Ленин» по сравнению с обычными ледоколами меньше—при полном водоизмещении она составляет 1,9 м. При этом по результатам модельных испытаний период бортовой качки для ледокола «Ленин» должен составлять не менее 10 сек, период килевой качки—7—8 сек.

Благодаря значительной высоте надводного борта остойчивость ледокола обеспечивает безопасность плавания в любых условиях.

Принятая величина седловатости в носовой части ледокола обеспечит ему достаточную защиту от забрызгивания и заливания при ходе на волнах.

Корпус ледокола разбит 11 главными поперечными водонепроницаемыми переборками на отсеки. Длина и распределение переборок полностью соответствуют требованиям Международной конвенции 1948 г. по охране человеческой жизни на море.

При таком разделении корпуса в любом эксплуатационном состоянии ледокола, включая наличие дифферента около 2 м, обеспечена непотопляемость его при одновременном затоплении любых двух главных водонепроницаемых отсеков и при размерах повреждения, соответствующих требованиям Международной конвенции 1948 г. Как правило, обычные гражданские суда непотопляемы при затоплении лишь одного главного отсека. Непотопляемость в сочетании с весьма прочным корпусом надежно гарантирует сохранение ледокола на плаву при случайных авариях, что особенно важно, если учитывать наличие на ледоколе ядерной установки.

По внешнеархитектурному виду ледокол представляет собой гладкопалубное судно с умеренной седловатостью, удлиненной надстройкой и двумя мачтами. На открытой части шлюпочной палубы размещены катеры и спасательные шлюпки, а в кормовой части—взлетно-посадочная площадка и ангар для вертолета. Вертолет предназначен для ледовой разведки и связи с береговыми пунктами и судами.

Ледокол имеет четыре непрерывных палубы и две платформы. Две продольные переборки, идущие от второго дна до верхней палубы, образуют с обоих бортов отсеки, в которых размещены главным образом кре-

новые, балластные, топливные и другие цистерны (до нижней палубы) и различные кладовые, служебные помещения и каюты личного состава (выше нижней палубы).

Между продольными переборками по высоте от трюма до верхней палубы расположены помещения механической установки.

На жилой и верхней палубах с обоих бортов между главными продольными переборками и каютами проложены магистральные коридоры для удобного сообщения со всеми главными помещениями по длине ледокола без выхода на открытые участки палуб. В верхней части магистральных коридоров выделены пространства для прокладки трубопроводов и кабелей. Для сообщения с помещениями ледокола по высоте применены широкие трапы с малым наклоном.

Рулевое, якорное и швартовное устройства такие же, как на обычных судах этого типа.

Для буксировки судов установлена буксирная лебедка с тяговым усилием 40 т.

Выполнение грузовых операций производится тремя электрическими кранами.

На ледоколе имеются необходимые кладовые и мастерские, а также цистерны запасов топлива для дизелей, вспомогательных котлов и воды (котельной, питьевой и для мытья).

Средства связи и управления

На ледоколе установлены два радиолокатора—ближнего и дальнего действия. Локатор ближнего действия предназначен для решения оперативных навигационных задач; локатор дальнего действия—для наблюдений за окружающей обстановкой и вертолетом, кроме того, он частично дублирует локатор ближнего действия в условиях снегопада и дождя.

Средства радиосвязи, размещенные в носовой и кормовой радиорубках, обеспечивают надежную связь на ультракоротковолновом, коротковолновом, средневолновом и длинноволновом диапазонах с береговыми базами, портами, караванами судов, самолетами и пр.

Предусмотрена также мощная электромегафонная аппаратура для голосовой связи на рейде с судами и берегом.

Современные штурманские приборы: гироскопы, лаги, эхолоты (по два комплекта),

автомат-прокладчик, радиопеленгатор, радиокоординатор и пр.—специально разработаны с учетом использования их в условиях работы ледокола. Все оборудование размещено в двух гиропостах, штурманской рубке, выгородке лагов и эхолотов и в постах управления кораблем—ходовой рубке и на мостиках.

Внутрикорабельная связь осуществляется с помощью автоматической телефонной станции на 100 номеров, отдельных телефонных групп, устройств громкоговорящей связи и мощной судовой трансляционной установки.

На ледоколе имеются звуковая и световая сигнализации.

Команды с мостика в машинную установку передаются телеграфами с синхронной связью, работающими на переменном токе.

Бытовые условия для экипажа

Учитывая возможность весьма длительного пребывания в море без захода в порты, особое внимание при проектировании ледокола обратили на обеспечение максимальных удобств для личного состава.

Предусмотрены одно- и двухместные каюты с зимним кондиционированием воздуха и водяным отоплением, подводом горячей и холодной воды к умывальникам и освещением лампами дневного света, что особенно ценно в период полярной ночи.

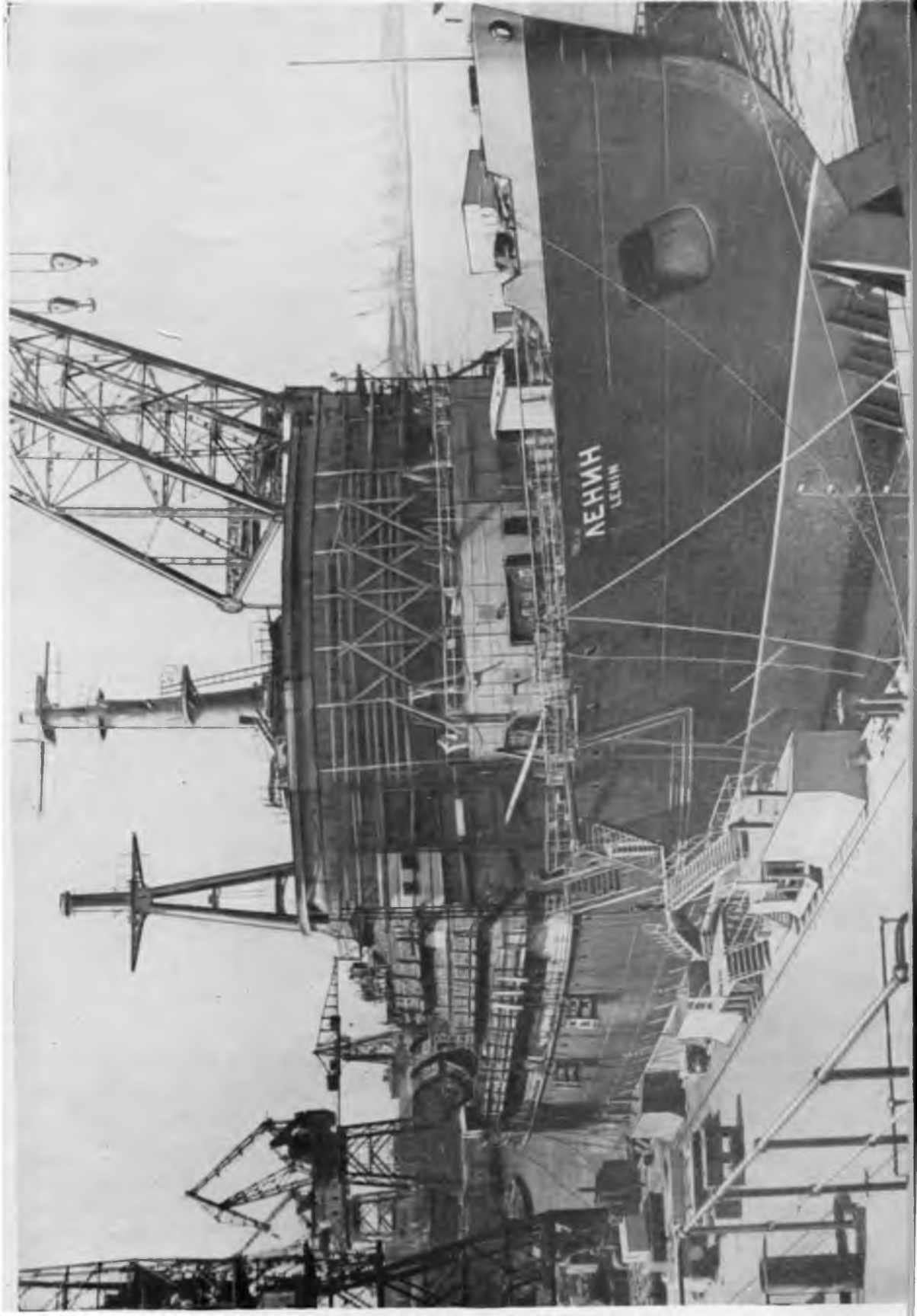
Высота междупалубных пространств в месте расположения кают 2,4—2,5 м.

На ледоколе будут созданы хорошо оборудованные кают-компания и столовая, в которых предусмотрена возможность демонстрации кинофильмов, клуб, библиотека, читальня, курительный и музыкальный салоны. Большое внимание уделено архитектурно-художественной отделке кают и помещений общего назначения.

Ванные, бани и душевые кабины удобно расположены и удалены от жилых кают. Медицинский блок включает амбулаторию, объединенную с физиотерапевтическим кабинетом, операционную, зубоврачебный и рентгеновский кабинеты, аптеку, лабораторию, лазарет и изолятор.

Запасы продовольствия для экипажа будут храниться в рефрижераторных камерах, расположенных вблизи от камбузного блока.

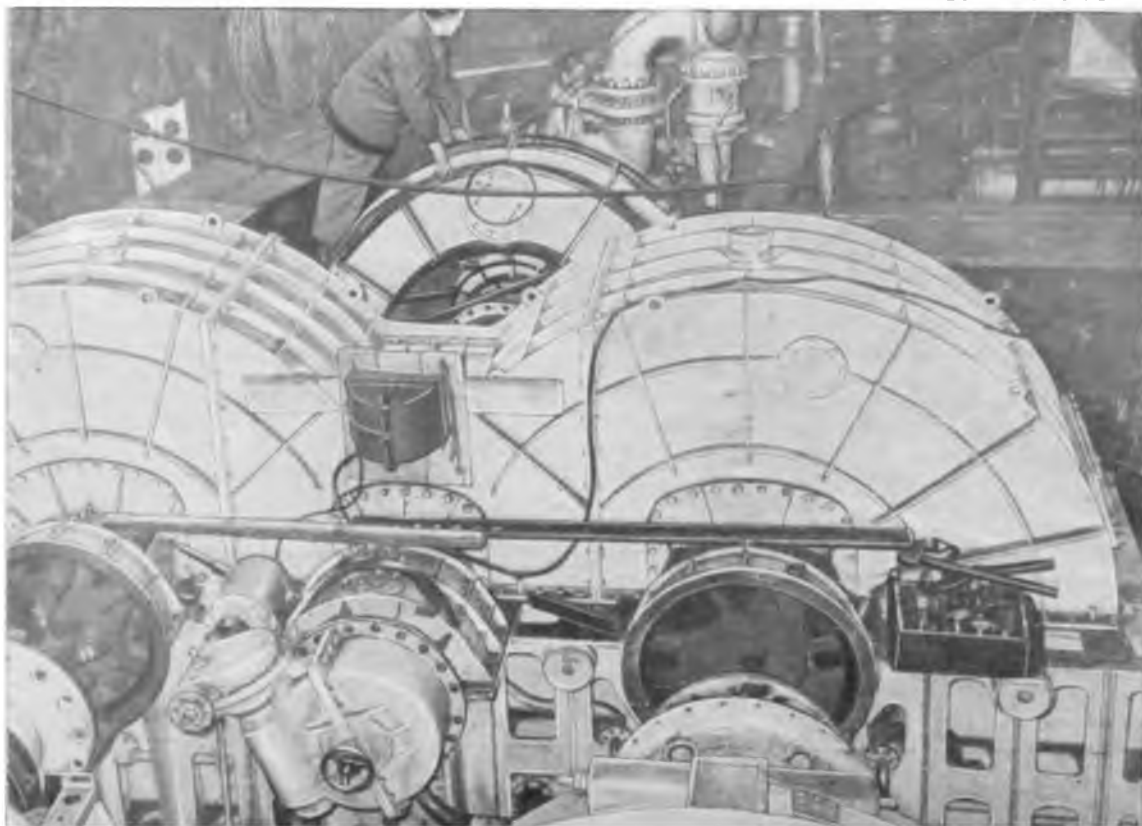
Рис. 1. Достройка педокола после спуска.





† Рис. 3. Средняя линия вала и кормовой дифференциальный насос.

‡ Рис. 4. Главная турбина с редуктором.



Силовая установка

При проектировании и постройке силовой установки основное внимание уделялось обеспечению максимальной надежности и долговечности всех ее элементов, безопасности и удобства эксплуатации, в некоторых случаях даже в ущерб экономическим показателям.

Для этих целей предусматривается:

1. Установка трех автономно работающих ядерных реакторов.

2. 100%-ный резерв по производительности у циркуляционных, конденсатных, питательных, масляных и других насосов, обслуживающих механическую установку.

С целью обеспечения бесперебойной подачи питательной воды к парогенераторам питательные турбонасосы работают параллельно. Эти насосы имеют автоматические регуляторы для поддержания постоянного перепада давления на питательном клапане, и в случае аварийной остановки одного из насосов другой автоматически повышает число оборотов и увеличивает подачу воды к парогенератору в количестве, необходимом для поддержания заданного режима работы установки. Циркуляционные и конденсатные турбонасосы могут работать вместе или отдельно в зависимости от обстановки. Резервные масляные электронасосы главных турбин подключаются автоматически при опасном понижении давления масла в маслопроводе. Для увеличения надежности циркуляционные и конденсатные насосы главных турбогенераторов и главные питательные насосы имеют турбинные приводы. Прочие вспомогательные механизмы электрифицированы.

3. Силовая установка разделена на две автономные части, расположенные в носовой и кормовой сторонах атомной парогенераторной установки. Разводка всех главных трубопроводов—паровых, конденсатных и питательных—позволяет надежно осуществлять подачу рабочей среды по любому борту для любой части механической установки.

4. Питание энергомеханической установки ледокола электроэнергией производится двумя автономно расположенными электростанциями с турбогенераторами мощностью 1000 *квт* каждый. Для запуска энергетической установки при отсутствии пара одна из электростанций имеет резервный дизель-генератор мощностью 1000 *квт*.

5. Чтобы обеспечить бесперебойное питание электроэнергией парогенераторной установки, помимо резервного дизель-генератора, установлены два аварийных дизель-генератора мощностью по 100 *квт* с автоматическим запуском при исчезновении напряжения в сети.

6. Для уменьшения вероятности засоления питательной системы все конденсаторы выполнены с двойными трубными решетками; в конденсаторах главных и вспомогательных турбогенераторов пространство между трубными решетками имеет водяное уплотнение.

7. С целью максимального снижения соле-содержания в питательной воде утечки из цикла восполняются дистиллятом, полученным путем двукратного испарения заборной воды с последующей очисткой его в ионообменном фильтре.

8. Для устранения возможности попадания в случае нарушения герметичности парогенераторов загрязненного радиоактивными примесями пара, расходуемого на общесудовые нужды (бани, души, прачечные, вентиляция и др.), подача его производится от специальных теплообменников, обогреваемых паром парогенераторной установки.

9. Во время стоянки ледокола, когда атомная парогенераторная установка не работает, снабжение ледокола паром производится от вспомогательной котельной установки, состоящей из двух водотрубных котлов на нефтяном отоплении.

10. Высокая прочность валов и винтов, рассчитанных с учетом динамической нагрузки, возникающей при ударах гребных винтов и их заклинивании при плавании во льдах, обеспечивается изготовлением их из специальных сортов сталей.

Наличие парогенераторной установки, обеспечивающей потребности ледокола в паре с большим резервом, и трех автономно работающих реакторов позволило отказаться от использования каких-либо других источников энергии для движения ледокола.

Принципиальная схема силовой части энергетической установки ледокола представлена на рис. 2.

Поскольку энергетическая установка ледокола будет работать с нагрузкой, часто и резко изменяющейся во время маневрирования, было решено отказаться от тепловой схемы с регенеративным отбором пара от главных турбогенераторов. Принята схема

с одноступенчатым подогревом питательной воды в подогревателе отработавшим паром вспомогательных турбомеханизмов. Отработавший пар используется также для испарения воды в испарительной установке. Его давление 2 *ата*, а температура подогрева питательной воды около 100° С. Избытки отработавшего пара, сбрасываемые в конденсаторы, на основных эксплуатационных режимах минимальны. Чтобы обеспечить нормальную работу парогенераторной установки при резком изменении нагрузки, пре-

Необходимость максимального уменьшения длины ледокола для улучшения его маневренных качеств поставила перед конструкторами задачу максимального уменьшения общей длины помещений силовой установки. Эта задача успешно разрешена удачным использованием высоты помещений механической установки.

Главные турбогенераторы расположены в верхней части отсеков, так как они жестко не связаны с гребными винтами. Ниже главных турбогенераторов расположены их кон-

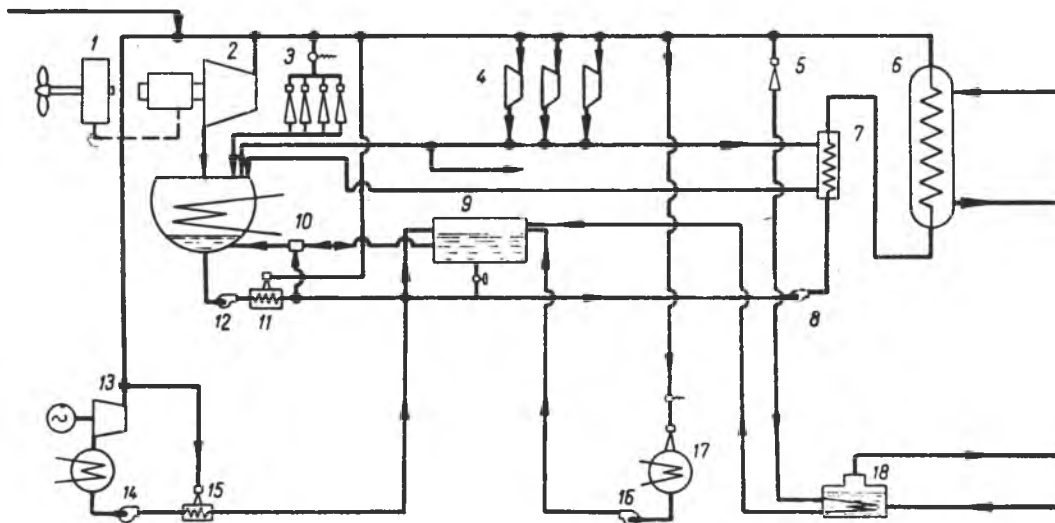


Рис. 2. Принципиальная схема силовой части энергетической установки ледокола:

1 - гребной электродвигатель; 2 - главный турбогенератор; 3 - дроссельно-увлажнительное устройство системы травления пара; 4 - турбинные приводы вспомогательных механизмов; 5 - парохладитель; 6 - парогенератор; 7 - подогреватель питательной воды; 8 - питательный насос; 9 - уравнильный бак; 10 - регулятор уровня в главном конденсаторе; 11 - эжектор главного турбогенератора; 12 - конденсатный насос главного турбогенератора; 13 - вспомогательный турбогенератор; 14 - конденсатный насос вспомогательного турбогенератора; 15 - эжектор вспомогательного турбогенератора; 16 - конденсатный насос вспомогательного конденсатора; 17 - вспомогательный конденсатор; 18 - генератор пара для общесудовых потребностей.

дусмотрено устройство для автоматического сброса возможных излишков свежего пара в главные конденсаторы. В обычных режимах работы и при переходах с одной мощности на другую маневренные характеристики силовой установки таковы, что количество срабатываемого пара минимально. Параметры пара приняты постоянными во всех режимах работы силовой установки, что упрощает ее эксплуатацию.

В периоды пуска, расхолаживания парогенераторной установки и на стоянке избыток свежего пара сбрасывается в специальный вспомогательный конденсатор, что резко уменьшает количество энергии, потребляемой на этих режимах.

денсаторы и паровоздушные эжекторы. Еще ниже, в трюме, размещены вспомогательные механизмы и испарительные установки.

В носовой части силовой установки под главными турбогенераторами в трюме в отдельном помещении размещена одна из электростанций, а в кормовой части установки — два бортовых гребных электродвигателя.

Такое размещение силовой установки позволило не только свести к минимуму ее общую длину, но также значительно улучшило условия работы всех насосов, получивших значительные и надежно обеспеченные подпоры воды на всасывающем патрубке насоса.

Относительный вес силовой установки составляет 62,5 кг/л.с. Это обеспечивает высокие маневренные качества ледокола.

Главная турбина—однокорпусная, связана через одноступенчатый редуктор с двумя параллельно установленными двухъякорными электрогенераторами. Использование однокорпусной турбины при небольшом снижении экономичности позволило упростить конструкцию за счет исключения паразитной шестерни в редукторе и сокращения числа подшипников и уплотнений, что обеспечивает большую надежность агрегата. Облопачивание принято реактивное как более простое и имеющее большие осевые зазоры, что важно для турбины, работающей с часто и резко меняющейся нагрузкой.

В целях повышения маневренности установки и упрощения конструкции для главных турбин принята дроссельная система регулирования. Главная турбина на полной мощности потребляет 51 т пара в час.

Большие относительные расходы охлаждающей воды (до 400 против 50 л/л.с./час в дизельных установках ледоколов) и высокая мощность установки потребовали специального изучения вопроса о бесперебойном снабжении забортной водой. При этом учитывалась возможность засорения льдом приемных отверстий ледовых ящиков.

В результате испытаний ряда моделей в ледовом опытном бассейне для забора охлаждающей воды были установлены для кормовой и носовой частей силовой установки по два бортовых ледовых ящика с наружными и внутренними защитными решетками. Ящики попарно сообщаются перетоками в междонном пространстве. Пропускная способность ледового ящика одного борта достаточна для нормальной работы одной части силовой установки.

Управление силовой установкой осуществляется как с местных постов, так и дистанционно—с поста энергетики.

На рис. 3 и 4 показаны главная турбина с зубчатым редуктором и средняя линия вала с кормовым дифференциальным насосом в процессе завершения их монтажа на ледоколе.

Электрооборудование

Работа ледокола при форсировке тяжелых льдов и в особенности при околке про-

водимых судов требует высокой маневренности от гребной электрической установки. Лучшее всего этому требованию удовлетворяют машины постоянного тока.

При системе электродвижения на постоянном токе удалось сравнительно просто осуществить питание трех гребных электродвигателей от четырех турбогенераторных агрегатов, работающих при постоянной скорости вращения. Мощность от каждого турбогенератора распределяется на гребные валы в отношении 1 : 2 : 1.

Такое распределение дает возможность передать на наиболее защищенный от поломок средний винт половину мощности. Следовательно, в случае поломки лопастей одного из бортовых винтов может быть использовано 75% мощности.

Для гребной электрической установки постоянного тока применено напряжение 1200 в, которое до сих пор не встречалось в практике судостроения. Общая схема взаимосвязи элементов гребной установки приведена на рис. 5.

Генераторы—двухъякорные, мощностью по 1920 кВт на каждом якоре при напряжении 600 в и 595 об/мин, с самовентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители. В одном генераторе каждого агрегата оба якоря соединены параллельно и представляют собой одну электрическую машину мощностью 3840 кВт.

Таким образом, каждая турбина через редуктор как бы вращает три генератора: два по 1920 кВт и один 3840 кВт. Генераторы мощностью 1920 кВт предназначены для питания бортовых гребных электродвигателей, а генератор мощностью 3840 кВт—для питания среднего гребного электродвигателя. Следовательно, каждый турбогенераторный агрегат питает энергией одновременно три гребных электродвигателя.

Гребные электродвигатели—двухъякорные, защищенного исполнения, с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители, на двух стояковых подшипниках с принудительной смазкой.

Средний гребной электродвигатель (рис. 6) длительной мощностью 19 600 л.с. (9800 л.с. на якоре), напряжением 1200 в на якоре является уникальной машиной. Бортовые гребные электродвигатели—длительной мощностью по 9800 л.с. (4900 л.с. на якоре), напряжением 1200 в на якоре.

Для системы каждого гребного винта установлены три возбуждательных агрегата: два рабочих и один резервный. Каждый возбуждательный агрегат состоит из четырех машин: возбуждателя двух генераторов, возбуждателя одного якоря гребного электродвигателя, генератора постоянного напряжения для питания цепей управления и приводного электродвигателя переменного тока.

В качестве возбуждателей генераторов и гребных электродвигателей применены двухступенчатые электромашинные усилители

Пульт управления гребной установкой расположен в посту энергетики и обеспечивает дистанционное управление тремя гребными моторами и контроль за работой установки. На пульте установлены измерительные приборы, сигнальные лампы и три поста управления.

Дистанционные посты управления находятся в ходовой рубке и обеспечивают управление как из ходовой рубки, так и с верхнего ходового мостика. Для контроля за работой гребной электрической установки в ходовой

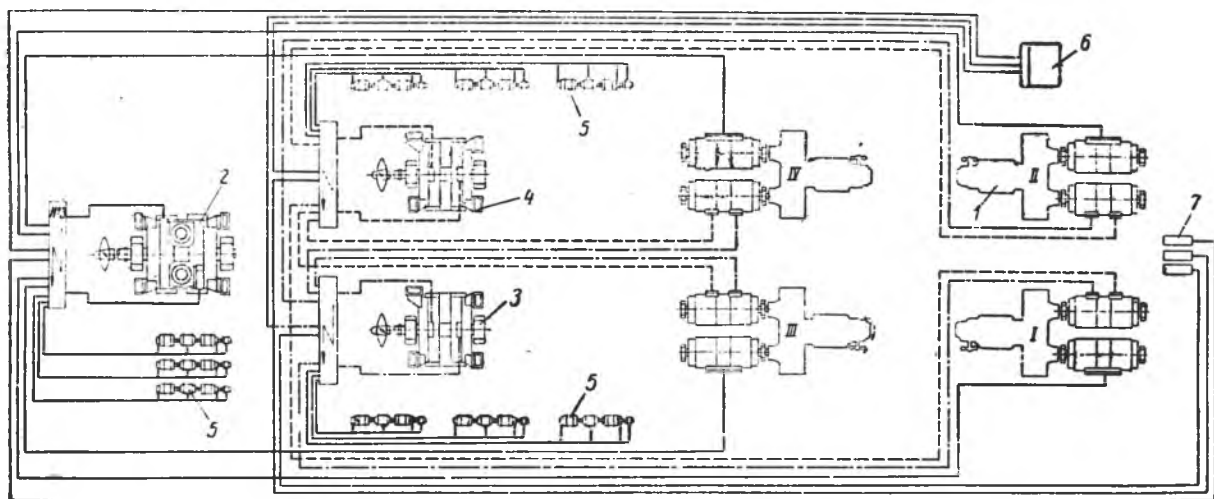


Рис. 5. Схема управления электрической гребной установкой:

1—главные турбогенераторные агрегаты; 2—средний гребной электродвигатель; 3—бортовой гребной электродвигатель № 1; 4—бортовой гребной электродвигатель № 2; 5—возбуждательные агрегаты; 6—пульт дистанционного управления; 7—ходовая рубка и посты дистанционного управления.

с большим коэффициентом усиления. Применение электромашинных усилителей обеспечивает плавное протекание переходных процессов при пусках и реверсах, поддержание постоянства мощности при изменении моментов нагрузки на гребных винтах от швартовной характеристики до хода в свободной воде, стоянку электродвигателей под током в случае заклинивания гребного винта и ограничивает рекуперацию энергии от винтов к турбинам при реверсе в свободной воде.

Использование электромашинных усилителей вследствие малой мощности, потребной для управления, позволило также применить в постах управления малогабаритные сельсины.

рубке и на верхнем ходовом мостике установлены щитки сигнализации.

Схема главного тока для каждого гребного мотора состоит из двух самостоятельных электрических контуров, в каждый из которых входят один якорь гребного электродвигателя и два генератора последовательно соединенных различных турбин. Схема главного тока представлена на рис. 7.

Все возможные варианты работы гребной установки осуществляются при помощи самостоятельных избирательных переключателей для каждого генератора.

Вспомогательная электростанция, питающая электроэнергией вспомогательные механизмы ледокола, работает на переменном трехфазном токе 50 гц, что позволяет при-

менить для судовых электроприводов более простые, дешевые и надежные в эксплуатации по сравнению с двигателями постоянного тока асинхронные короткозамкнутые двигатели.

Принятое напряжение 380 в обеспечило уменьшение веса и удешевление кабельной сети и позволило осуществить прямой пуск большинства электроприводов.

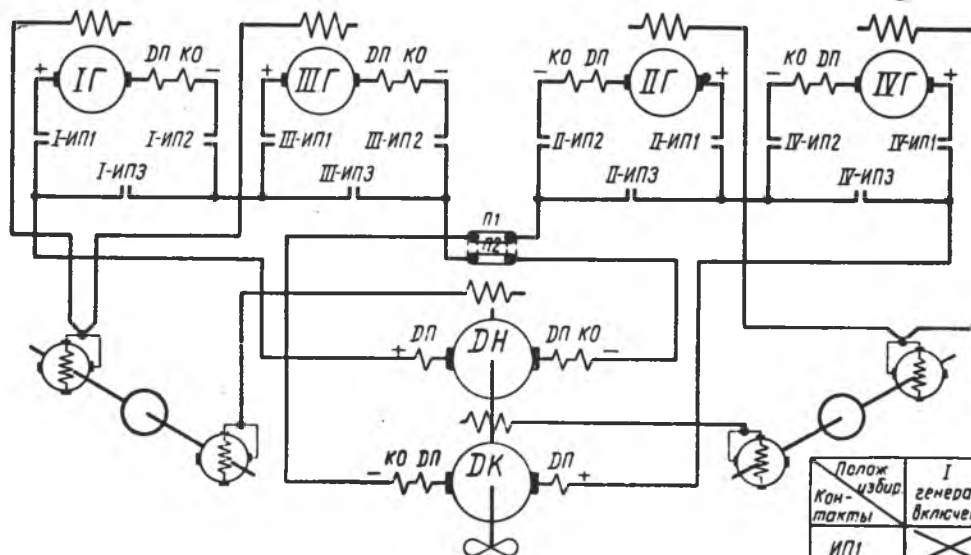


Рис. 7. Схема главного тока гребного электродвигателя.

Для освещения принято напряжение 127 в; это дало возможность использовать лампы накаливания большей яркости и применить люминесцентные светильники малых размеров.

Распределение электроэнергии к потребителям и распределительным щитам производится через две электростанции по фидерам.

Обоснование выбора типа и количества реакторов

На ледоколе, предназначенном для проводки караванов судов по Северному морскому пути и для экспедиционного плавания в Арктике, можно ставить атомную энергетическую установку только с надежными, безопасными, стабильными в работе и простыми в обслуживании реакторами. К числу таких реакторов относятся реакторы водо-

водяного типа, в которых теплоносителем и замедлителем служит вода под давлением. Чтобы уменьшить количество конструктивных материалов в активной зоне, реактор заключен в толстостенный стальной корпус, способный выдерживать давление циркулирующей воды.

Благодаря хорошим замедляющим свойствам воды активные зоны таких реакторов

весьма компактны. Стенки корпуса являются частичной защитой.

Высокая прочность узлов водо-водяного реактора, рассчитанных на большое внутреннее давление, почти автоматически обеспечивает выполнение одного из важнейших требований, предъявляемых к ледокольной установке, — способность выдерживать воздействие вибраций, ударных нагрузок и качки.

Водо-водяные реакторы стабильны в работе, в большой степени саморегулируемы вследствие отрицательного температурного коэффициента реактивности, определяемого значительным уменьшением плотности воды при ее нагреве.

Несмотря на то, что для водо-водяного реактора требуется обогащенный уран, жестких экономических ограничений на его использование нет. Во-первых, стоимость вы-

рабатываемой энергии на транспортных установках с обычным топливом высока из-за использования дорогого оборудования. Вторых (и это главное), сложность подвоза большого количества топлива в условиях Арктики, уход с трассы проводки судов для бункеровки при коротком периоде северной навигации, сложность самой бункеровки сильно удорожают эксплуатацию обычных ледоколов. У атомного ледокола, обладающего большой автономностью плавания, необходимость в этих операциях отпадает. Поэтому использование обогащенного ядерного горючего на ледоколах экономически оправдано.

Недостатком водо-водяного реактора являются низкие температуры перегрева пара, обусловленные сравнительно низкими температурами теплоносителя первого контура, что не позволяет использовать турбины с высокими параметрами пара, применяемые в настоящее время в обычных судовых установках. Поэтому турбины для водо-водяных реакторов менее эффективны и их необходимо заново разрабатывать.

С точки зрения уменьшения веса и размеров парогенераторной установки выгоднее иметь один мощный реактор. Однако для надежности эксплуатации корабля, имеющего столь важное значение, следует использовать не менее двух независимых источников энергии, т. е. не менее двух реакторов. Тогда выход из строя какого-либо оборудования или срабатывание аварийной защиты на одном из реакторов не приведет к потере хода корабля.

Для большей надежности ледокола на нем было решено поставить еще один реактор, третий, который по существу является резервным. Наличие резервного реактора не привело к значительному увеличению веса и габаритов установки. Резервный реактор позволяет значительно снизить запасы реактивности на компенсацию переотравления во время остановки остальных реакторов и тем самым дает возможность увеличить выгорание горючего, уменьшить перекосы энерговыделения, вызываемые компенсирующими стержнями, и снизить тепловые нагрузки в активной зоне.

Этот реактор используется на неполную мощность только при работе ледокола в тяжелых льдах, когда от него требуется максимальная мощность и безотказность в рабо-

те даже при выходе из строя любого элемента оборудования. В случае выхода из строя одного из реакторов корабль практически не теряет хода и мощности, что очень важно, так как ледокол должен обеспечить проводку каравана кораблей

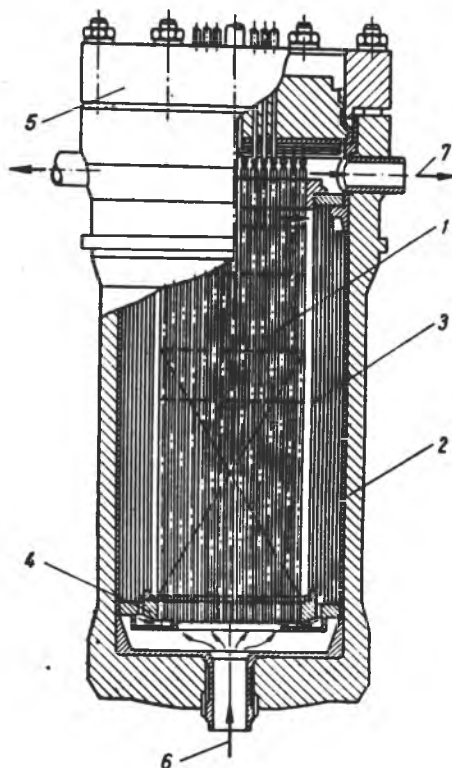


Рис. 8. Разрез реактора:

1 — каналы; 2 — корпус; 3 — экраны; 4 — нижняя плита; 5 — крышка; 6 — вход теплоносителя; 7 — выход теплоносителя.

Кроме того, резервный реактор позволяет производить своевременный профилактический осмотр и ремонт оборудования парогенераторной установки без полного выключения всей ядерной установки.

Реактор представляет собой вертикальный цилиндрический корпус с самоуплотняющейся верхней крышкой, в котором помещены активная зона со стержнями регулирования.

Для предохранения наружного прочного корпуса реактора от интенсивного облучения, а также для организации движения воды в реакторе по периферии расположены специальные экраны. Вместе с прослойками

воды они выполняют также роль отражателя активной зоны.

Корпус, имеющий наружный диаметр ~ 2 м и высоту ~ 5 м, сделан из низколегированной высокопрочной углеродистой стали. Для защиты от коррозионного действия воды с высокой температурой внутрь корпуса вставлена обечайка из нержавеющей стали.

Разрез реактора приведен на рис. 8.

Активная зона реактора

Приводятся основные характеристики активной зоны одного реактора:

Диаметр	1 м
Высота	1,6 м
Горючее	спеченная дву- окись урана
Обогащение изотопом U^{235}	5%
Загрузка (по U^{235})	85 кг
Материал оболочки	сплавы циркония или нержавеющая сталь
Выгорающая добавка	естественная смесь изотопов бора
Тепловая мощность	90 Мвт
Максимальная тепловая на- грузка (с учетом перекосов энерговыведения)	$\sim 10^6$ ккал/м ² час
Температура воды на входе	248° С
Температура воды на выходе	325° С

Поскольку регулирующие стержни вводятся в активную зону сверху и приводят к некоторому перекосу нейтронных полей по высоте активной зоны, превышение высоты активной зоны над ее диаметром способствует преодолению йодной ямы, так как позволяет при подъеме регулирующих стержней высвободить большие области с меньшими концентрациями ксенона, а следовательно, и с большей реактивностью. Кроме того, удлиненная активная зона позволяет достичь больших выгораний горючего.

Боковым отражателем активной зоны служит набор стальных экранов и водяных прослоек между ними общей толщиной 225 мм; торцовыми отражателями служит вода со стальными конструктивными элементами.

Отражатели одновременно выполняют функции тепловой защиты стенок несущего давления корпуса и создают более благоприятные условия для его работы, так как значительно ослабляют потоки излучений из активной зоны.

Для удобства перегрузки горючего и размещения регулирующих стержней, увеличения скорости воды около тепловыделяющих элементов и возможности подрегулировки температурного коэффициента реактивности тепловыделяющие элементы сгруппированы в каналах и образуют тепловыделяющие сборки. Вода в активной зоне делает два хода. Она поступает снизу в центральные каналы, где тепловые нагрузки максимальны, проходит активную зону снизу вверх, несколько подогревается, затем опускается по экранам вниз и поступает в нижнюю часть периферийных каналов, имеющих меньшие тепловые нагрузки. Движение воды в каналах снизу вверх способствует развитию естественной конвекции в активной зоне при остановке насосов. Вода, находящаяся в межканальном пространстве, имеет небольшой проток и смешивается с водой, выходящей из центральной группы каналов. Выбор спеченной двуокиси урана в качестве горючего определяется следующими соображениями. Несмотря на то, что с физической точки зрения двуокись менее выгодна, чем металлический уран, из-за меньшей плотности ядер урана в ней, с инженерной точки зрения она более предпочтительна благодаря своей химической инертности по отношению к воде, стабильности под действием облучения, отсутствию фазовых переходов вплоть до температуры плавления, более легкой дезактивируемости контура при попадании в него осколков деления.

Расчетная кампания реактора при работе на полной мощности равна примерно году, что практически дает возможность эксплуатировать ледокол без перегрузки ядерного горючего в течение нескольких лет. Перегружать активную зону можно отдельными каналами и целиком. В реакторе предусмотрена возможность иметь различные активные зоны и каналы, несколько типов которых разработано. Окончательный выбор наиболее экономичного и удобного в эксплуатации типа активной зоны и канала будет произведен в процессе эксплуатации ледокола.

Канал реактора представляет собой сборку тепловыделяющих элементов стержневого типа. Материалом оболочек тепловыделяющих элементов служит устойчивый к коррозии сплав циркония или нержавеющей стали.

В процессе сооружения ледокола были пересмотрены и уточнены физические расчеты гетерогенных водо-водяных систем, работающих под давлением. Была произведена теоретическая обработка большого количества экспериментальных данных советских и иностранных работ по критическим массам. На опытных реакторах и нейтронных спектрометрах изучались отдельные параметры, необходимые для нейтронных расчетов. В результате этих работ удалось учесть такие эффекты, как неупругое рассеяние на ядрах урана и циркония, размножение на быстрых нейтронах, распределение плотности тепловых нейтронов в каналах и между ними, роль надтепловой части спектра нейтронов, и ввести некоторые опытные коэффициенты. Полученный метод расчета дал возможность надежно вычислять k_{∞} с точностью $\pm 0,015$, что является вполне достаточным для транспортных установок, а также температурные зависимости реактивности с учетом влияния регулирующих стержней. Были получены кривые распределения энерговыделения по объему активной зоны, которые послужили основой теплотехнических расчетов реактора.

Для уменьшения скачков реактивности в течение кампании, рассчитанной на выгорание более 25% U^{235} , применена постепенно выгорающая добавка бора, который вводится только в центральные каналы, благодаря чему нейтронное поле по радиусу реактора выравнивается и тем самым снижаются тепловые нагрузки. Длительность работы на одной загрузке урана за счет более равномерного выгорания увеличивается.

Активная зона имеет отрицательный температурный коэффициент реактивности в рабочей области температуры, что увеличивает безопасность и упрощает регулирование реактора. Основанием для выбора величины коэффициента является следующее. При большом отрицательном температурном коэффициенте реактивности возможно высвобождение значительной избыточной реактивности при понижении температуры воды, и для компенсации ее приходится утяжелять стержни регулирования или увеличивать число их. В свою очередь, для уменьшения изменения температуры воды при различных переходных процессах необходимы малые изменения теплосодержания воды при прохождении активной зоны, что достигается за счет

очень сильного увеличения расхода воды через реактор и вызывает увеличение веса и габаритов парогенераторной установки.

Конструкция активной зоны выбрана такой, что в начале кампании температурный коэффициент реактивности отрицателен во всем диапазоне температур.

К концу кампании по мере выгорания горючего и изменения его изотопного состава температурный коэффициент отрицателен только в области рабочих температур. Это высвобождает избыточную реактивность и увеличивает энергоъем с одной загрузки. Наличие же некоторого положительного коэффициента реактивности в области низких (нерабочих) температур не усложняет сколько-нибудь серьезно эксплуатацию установки.

Конструкция активной зоны позволяет также производить подрегулировку температурного коэффициента за счет изменения температуры воды в межканальном пространстве.

При разработке активной зоны необходимо было учесть одну ее особенность: большую тепловую инерцию тепловыделяющих элементов, обусловленную малой теплопроводностью двуокиси урана, служащей горючим, и высокой температурой сердечников тепловыделяющих элементов ($> 1000^{\circ}\text{C}$). Это делает опасными режимы работы активной зоны, связанные с обесточиванием главных циркуляционных насосов, когда расход воды через реактор за короткое время может значительно упасть. После срабатывания системы аварийной защиты происходит выделение аккумулярованного тепла, которое спадает постепенно в течение 5—7 сек и в этот начальный промежуток времени существенно превышает остаточное энерговыделение продуктов деления.

Это заставило очень тщательно подойти к разработке схемы питания главных циркуляционных насосов. При малой мощности реактора всегда работают не менее двух насосов, питаемых от разных электростанций. При большей мощности, когда при выходе из строя одного из насосов переходный режим становится опасным, включаются резервные насосы, питаемые от разных источников энергии. Такое включение главных циркуляционных насосов обеспечивает подачу воды в активную зону даже при такой серьезнейшей аварии, как выход из строя электростанции.

Автоматическое поддержание мощности реактора и переход с одной мощности на другую осуществляется автоматическим регулятором, содержащим три стержня. Таких регуляторов два, один из них резервный. Специальных стержней для ручного регулирования нет; для этого обычно используются стержни резервного автоматического регулятора. Схема привода стержня автоматического регулятора дана на рис. 9.

Медленные изменения реактивности из-за отравления, выгорания и зашлаковывания компенсируются специальной системой пластин, которые для уменьшения искажений энерговыделения в активной зоне сделаны «серыми» для нейтронов.

Конструкция системы компенсирующих пластин такова, что имеется возможность менять и пластины, и их расположение. Это позволяет на основании экспериментальных

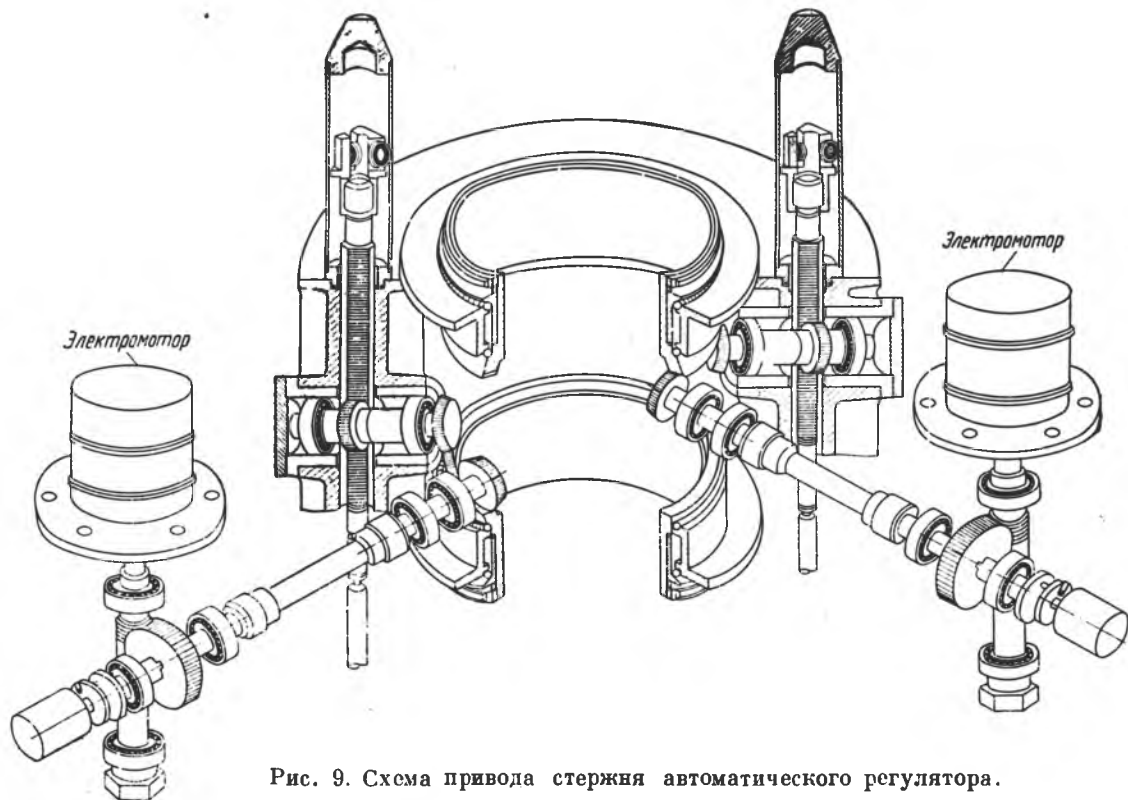


Рис. 9. Схема привода стержня автоматического регулятора.

Аварийная остановка реактора осуществляется стержнями аварийной защиты, которые вводятся в активную зону за 0,6 сек.

Стержни поднимаются вверх электромотором, который вращает шестерни, сцепленные с зубчатыми рейками. Между электромотором и рейками помещена фрикционная муфта, управляемая электромагнитом. При обесточивании электромагнита муфта расцепляется, и стержни под действием пружин падают вниз. Конструкция привода позволяет использовать для управления стержнями схемы, самовосстанавливающиеся при кратковременных обесточиваниях.

данных производить корректировку системы с целью уменьшения искажений поля при заданной эффективности пластин. Ввиду большой эффективности системы ее перемещение производится отдельными шагами, величина которых выбрана в соответствии с эффективностью стержня автоматического регулирования. Для привода системы используется электромотор закрытого типа, аналогичный электромотору насосов первого контура. Мотор через редуктор вращает шариковую гайку, которая в зависимости от направления вращения поднимает или опускает шток компенсирующей системы.

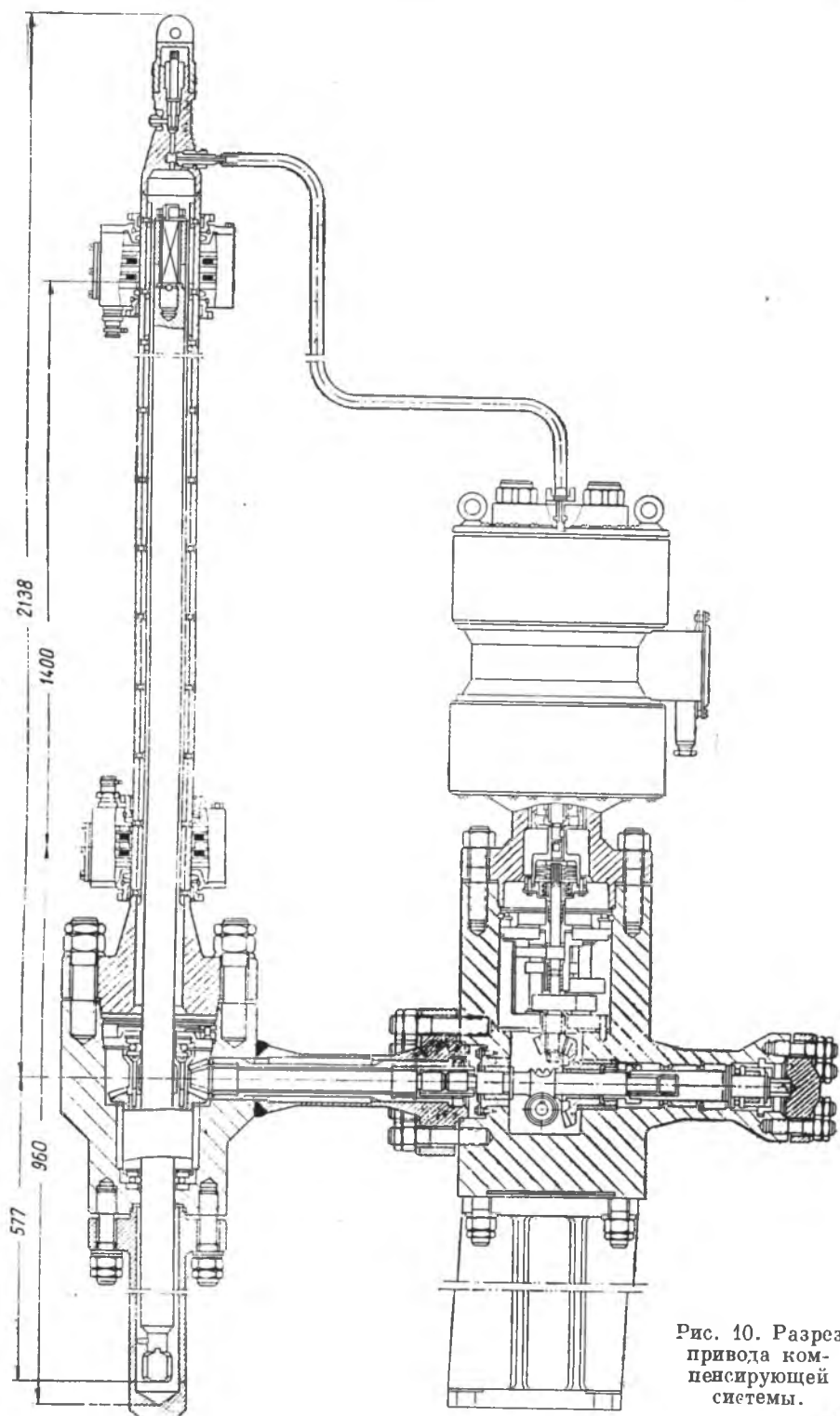


Рис. 10. Разрез привода компенсирующей системы.

Разрез привода компенсирующей системы дан на рис. 10.

Управление реактором производится с поста энергетики и живучести, на который выведены основные показания приборов.

Парогенераторная установка

Парогенераторная установка состоит из трех автономных секций. В состав каждой секции входит реактор со всеми обслуживающими его системами и оборудованием.

Технологическая схема секции—двух-контурная. Первый контур—контур высокого давления—объединяет реактор, парогенератор, циркуляционные насосы, компенсаторы объема и другое оборудование. В первом контуре циркулирует бидистиллят воды под давлением до 200 ат; расход ее 1000 м³/час. Второй контур—контур среднего давления—объединяет парогенератор, турбогенератор с конденсатором, конденсатные и питательные насосы, уравнивательный бак. В парогенераторе за счет тепла первого контура получается перегретый пар, который направляется к главным и вспомогательным турбогенераторам, турбонасосам и используется для других нужд.

Принципиальная схема парогенераторной установки приведена на рис. 11, а общий вид установки—на рис. 12.

Каждый реактор имеет две автономные петли первого контура, в каждую из которых входит парогенератор, два главных циркуляционных насоса, аварийный насос, холодильник. Для производства ремонтных работ петля может быть полностью отключена от реактора задвижками, и реактор может работать на сниженной мощности (до 55%). Из двух главных циркуляционных насосов один является резервным. Он может быть включен в работу параллельно основному насосу с целью обеспечения 100%-ного расхода воды в реакторе при выходе из строя электростанции или одного из насосов. Он питается от другой электростанции.

Для снятия остаточного тепловыделения при остановке реактора или выходе из строя главных циркуляционных насосов предусмотрено по два аварийных циркуляционных насоса на каждый реактор.

Аварийные циркуляционные насосы автоматически включаются в момент прекраще-

ния работы главных циркуляционных насосов.

При разогреве системы и переходе с одной мощности на другую изменение объема воды первого контура компенсируется паровыми компенсаторами объема, позволяющими значительно уменьшить скорость коррозионного процесса в первом контуре. Объем компенсаторов достаточен для того, чтобы колебания давления в контуре при переходных процессах не были велики и чтобы в контуре был запас воды на случай значительной течи. Объем компенсаторов позволяет вести расхолаживание контура без дополнительной подачи в него воды. Конструкция компенсатора объема обеспечивает возможность демонтажа электронагревателя, вышедшего из строя, и замены его новым.

Чтобы уменьшить осаждение загрязнений на теплоотдающих поверхностях и на узлах оборудования, а также снизить уровень активности воды в первом контуре, на байпасном контуре производится очистка воды при помощи специальных фильтров, размещенных в каждой петле. Очищенная вода используется для охлаждения циркуляционных насосов. Для обеспечения нормальной работы фильтра и насосов температура воды в байпасном контуре понижается до 35° С в специальном холодильнике, установленном перед фильтром. Расход воды в байпасном контуре около 1% от общего расхода в петле. Реакторы, трубопроводы и оборудование, содержащие активную воду, помещены внутри защиты.

Кроме упомянутых контуров, имеются еще два вспомогательных контура низкого давления, заполненных дистиллятом. Один из них служит для отвода тепла, выделяющегося в защите. Ввиду того что в воде могут появляться радиоактивные продукты коррозии, весь этот контур помещается внутри защиты и поэтому называется внутренним.

Внешний контур, находящийся снаружи защиты, служит для охлаждения холодильников внутреннего контура, холодильников фильтров и статоров двигателей насосов.

Холодильники внешнего контура в свою очередь охлаждаются морской водой, подаваемой специальными насосами.

Несколько последовательных контуров сделано для устранения возможности загряз-

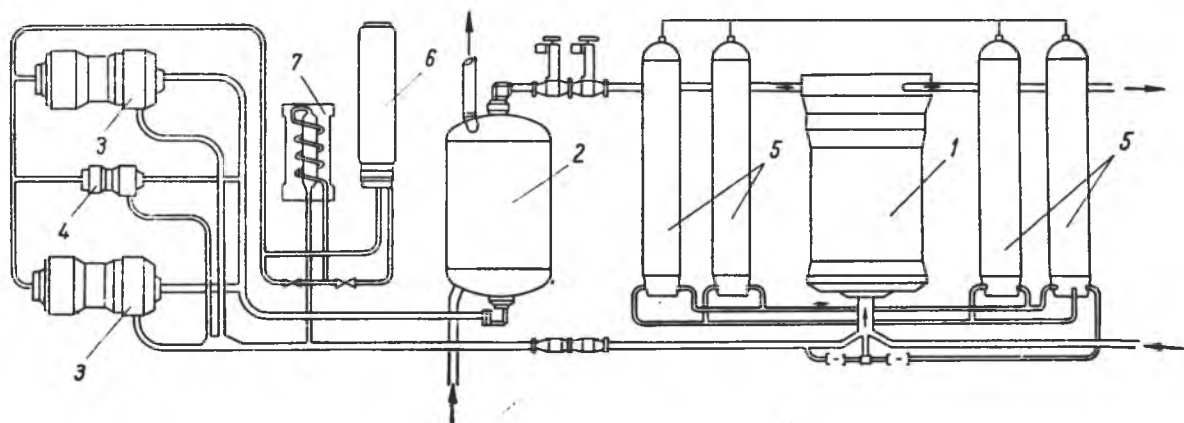


Рис. 11. Принципиальная схема парогенераторной установки:

1—реактор; 2—парогенератор; 3—главный циркуляционный насос; 4—аварийный насос; 5—компенсаторы объема; 6—фильтр; 7—холодильник фильтра.

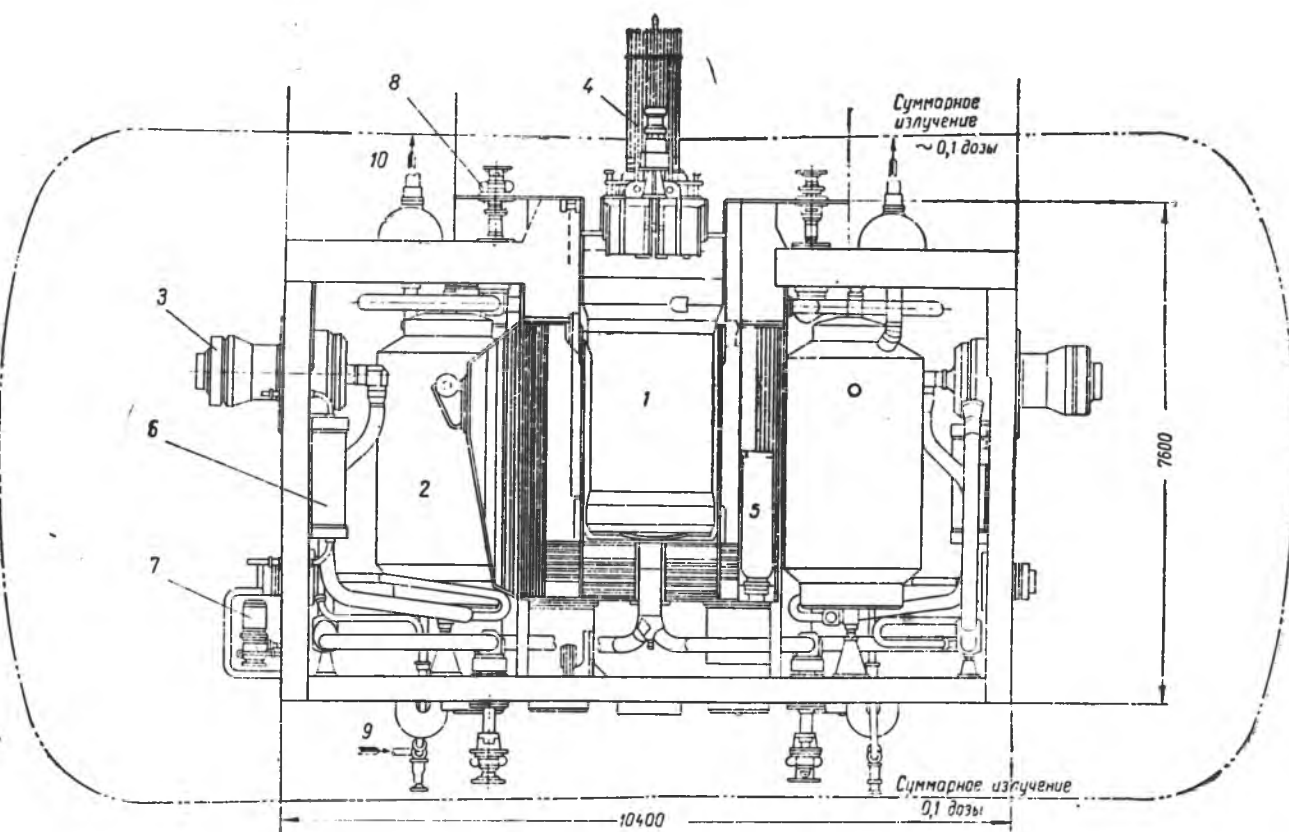


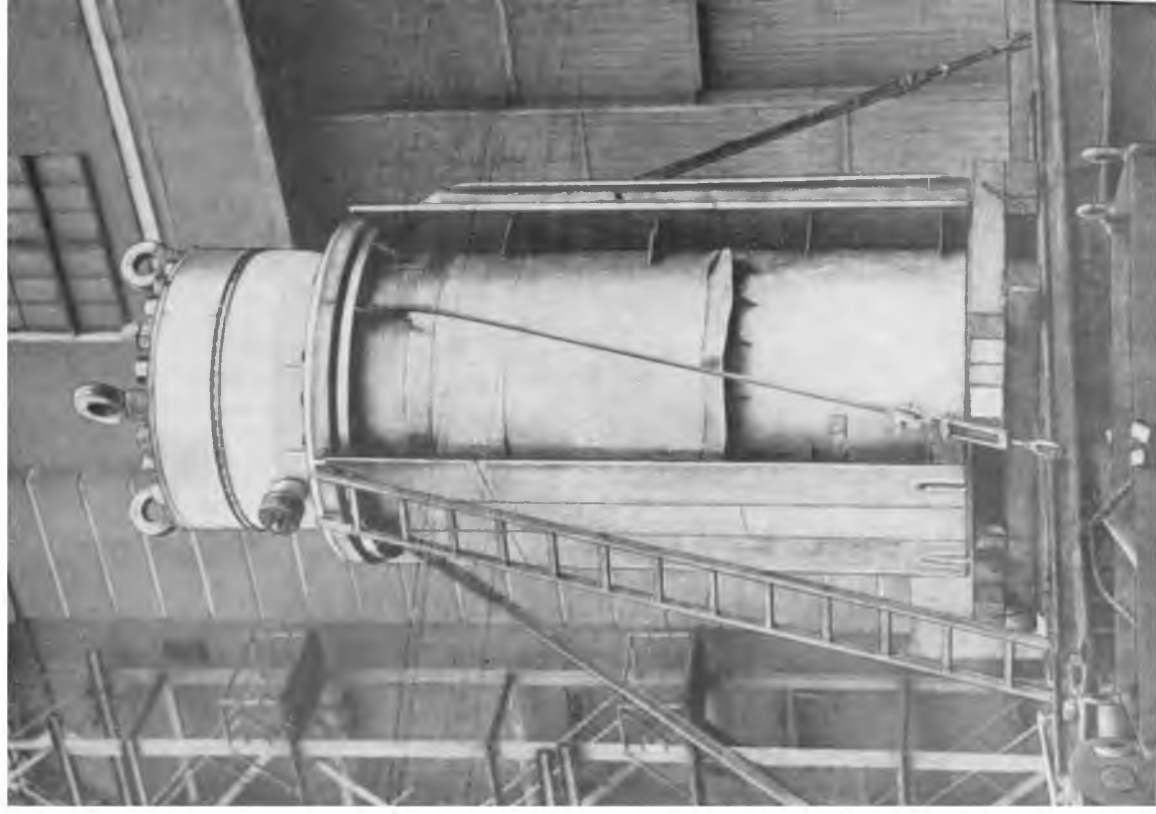
Рис. 12. Общий вид парогенераторной установки:

1—реактор; 2—парогенератор; 3—главный циркуляционный насос; 4—механизм системы управления и защиты; 5—фильтр; 6—холодильник; 7—насос внутреннего контура; 8—задвижка первого контура; 9—подвод питательной воды; 10—выход пара.

Рис. 6. Средний гребной двигатель



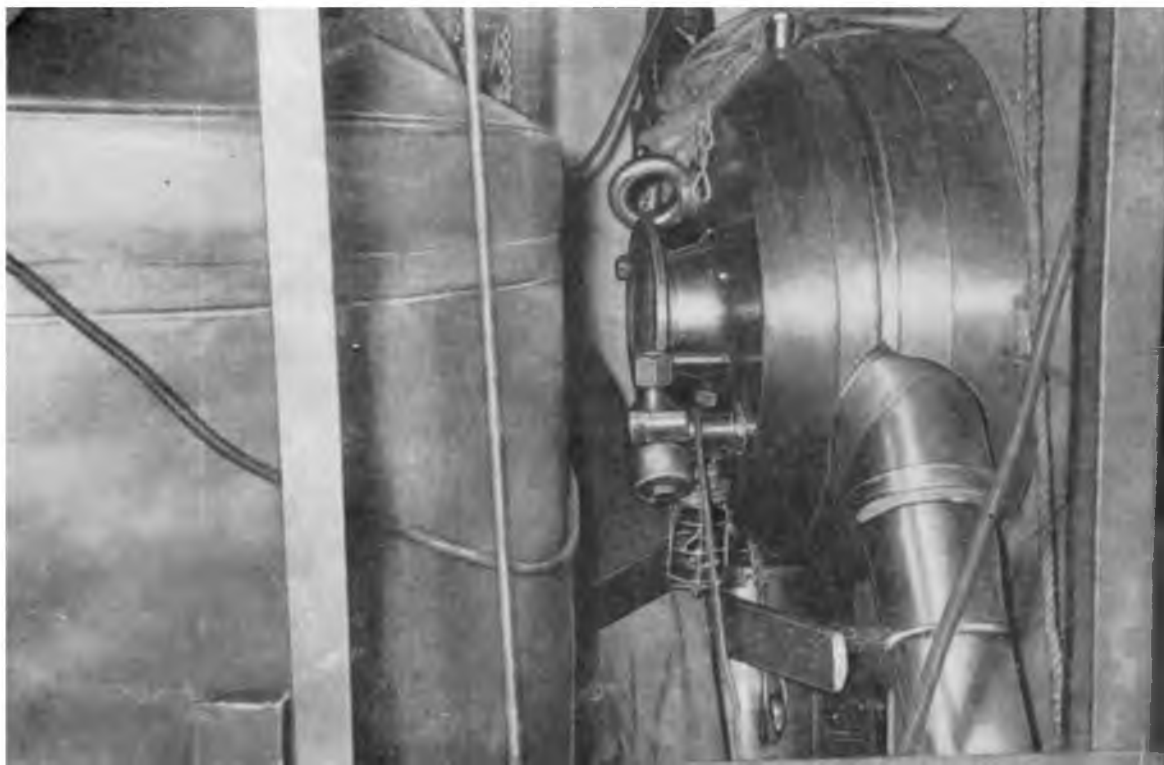
Рис. 16. Корпус реактора.





† Рис. 17. Верх смонтированного реактора.

‡ Рис. 18. Парогенераторы и главные циркуляционные насосы.



нения поверхностей осадками из морской воды, а также их коррозии.

Для наблюдения и контроля за работой парогенераторной установки имеются системы теплотехнического, дозиметрического контроля и сигнализации. Эти системы подают сигналы при ненормальной работе установки. При значительных отклонениях от нормы подается предупредительный сигнал, при аварийных отклонениях производится быстрая остановка реактора.

Аппаратура и приборы теплотехнического контроля и сигнализации сосредоточены на пультах операторов и щитах теплоконтроля, установленных в посту энергетики и живучести корабля.

Датчики приборов теплоконтроля размещены в специальном помещении.

На всех режимах работы парогенераторной установки поддерживается постоянное давление пара. Это осуществляется двумя взаимосвязанными системами: регулирования цепной реакции и регулирования теплообмена между теплоносителем в первом контуре и водой второго контура.

Поддержание заданного уровня мощности реактора производится системой управления и защиты.

Аварийная защита срабатывает при получении сигнала о превышении мощности реактора, обесточивании циркуляционных насосов, превышении температуры воды на выходе из реактора, существенном повышении и понижении давления в первом контуре.

Для уменьшения выбегов температуры воды первого контура во время переходных процессов производится согласование изменения мощности реактора с изменением расхода питательной воды. Время перехода с одного уровня мощности на любой другой (в пределах 10—100% от номинала) не превосходит 2 мин.

Регулирование теплообмена на различных режимах работы установки осуществляется путем воздействия на клапан, регулирующий расход питательной воды, поступающей в парогенераторы. Датчиком системы регулирования теплообмена является термopара, установленная на входе в реактор воды первого контура.

Вода первого контура из реактора подается непосредственно в трубную систему парогенератора, разделенную на 9 отдельных секций. Пар получается в межтрубном про-

странстве. Парогенератор имеет вид вертикального стального цилиндра, трубная система которого имеет экономайзерную, испарительную и пароперегревательную зоны. Общая поверхность теплопередачи одного парогенератора 375 м².

Регулирование производительности парогенератора производится путем перераспределения поверхности между зонами за счет изменения количества воды второго контура в парогенераторе. Это позволяет поддерживать постоянное давление пара при постоянном объемном расходе воды в первом контуре на всех режимах работы установки.

Из парогенератора охлажденная вода первого контура идет к главным циркуляционным насосам. Эти насосы центробежного типа, бессальниковые, выполнены в одном корпусе с электродвигателем.

Двигатель закрытого типа, асинхронный, трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором, мощностью ~250 квт. Производительность главного насоса 500 м³/час, напор 100 м вод. ст.

Статор двигателя отделен от рабочей полости рубашкой из нихрома. Корпус статора герметичный, что обеспечивает сохранение герметичности всей установки при разрушении рубашки, отделяющей ротор от статора. Пакет железа ротора набран из листов электротехнической стали. «Беличье колесо» ротора выполнено путем заливки пазов ротора алюминием. Для предохранения от коррозии ротор с торцов защищен стальными крышками, а по наружному диаметру — рубашкой.

Вал ротора вращается в двух гидростатических подшипниках из специальной стали с наплавкой стеллитом. Для восприятия осевых усилий на валу ротора крепится пята.

Рабочее колесо — закрытого типа, с односторонним осевым входом, крепится консольно на валу электродвигателя. Для разгрузки осевых усилий с обеих сторон рабочего колеса сделаны лабиринтные уплотнения. Разрез главного циркуляционного насоса изображен на рис. 13. Двигатель насоса охлаждается водой первого контура, поступающей из фильтров, а также водой внешнего контура охлаждения.

Аварийный насос служит для съема остаточного тепловыделения; он также центробежного типа и выполнен в одном корпусе с

закрытым электродвигателем. Устройство его аналогично главному насосу, за исключением того, что вместо гидростатических подшипни-

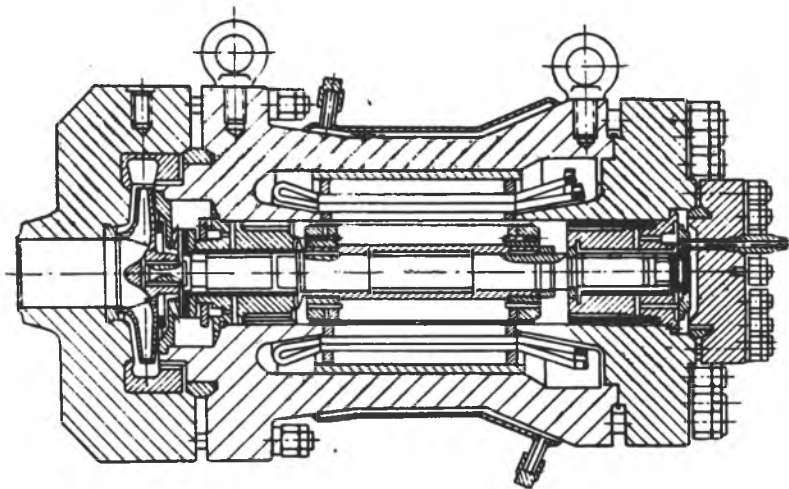


Рис. 13. Разрез главного циркуляционного насоса.

ков используются подшипники из специальной пластмассы.

Разрез аварийного циркуляционного насоса показан на рис. 14.

Спаренные задвижки, используемые в первом контуре, имеют электрический и ручной приводы. В нормальном положении за-

Для предохранения команды от действия излучений реактора, парогенераторов и коммуникаций первого контура создана биологическая защита.

Основным материалом защиты выбран железо-водный набор примерно с равными объемами воды и стали, который позволяет значительно уменьшить размеры защиты. Только в местах со сложной конфигурацией (верх реакторной установки, где проходят главные трубопроводы) по конструктивным соображениям вместо железо-водного набора используется тяжелый лимонитовый бетон.

Набор размещен в баке с проточной водой; тепло, выделяемое в защите, отводится холодильником контура

внутреннего охлаждения. Чтобы уменьшить ослабление защиты при вытекании воды в случае повреждения стенок бака, предусмотрено секционирование бака. Часть оборудования первого контура размещена таким образом, что оно само играет роль защиты от излучения реактора.

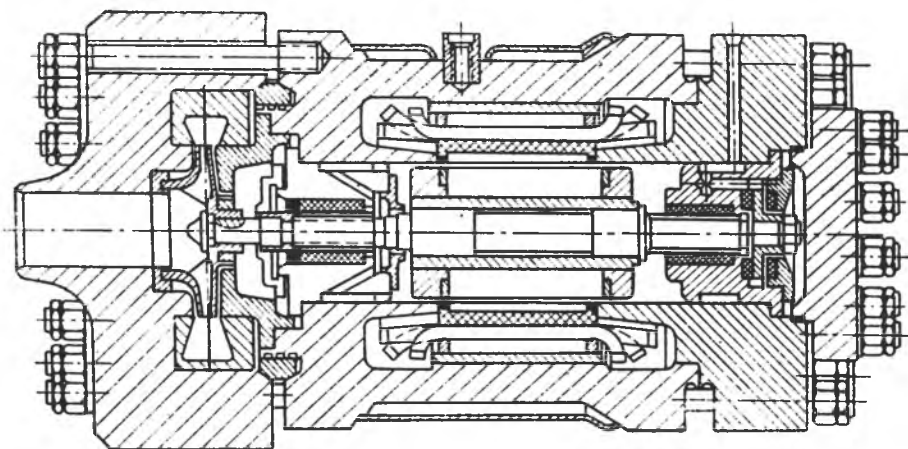


Рис. 14. Разрез аварийного циркуляционного насоса.

движка открыта. В этом положении сальник задвижки разгружен от высокого давления путем посадки шпинделя в специальное гнездо в ее корпусе. Разрез задвижки приведен на рис. 15.

Все оборудование первого контура, содержащее радиоактивную воду, отделено от обслуживаемых помещений стальными стенами толщиной 300—420 мм.

Уровень излучения на расстоянии до 3 м

вокруг энергетической установки составляет 0,1—0,3 дозы.

На рис. 16 представлен корпус реактора, на рис. 17—верх смонтированного реактора, на рис. 18—парогенератор и главные циркуляционные насосы.

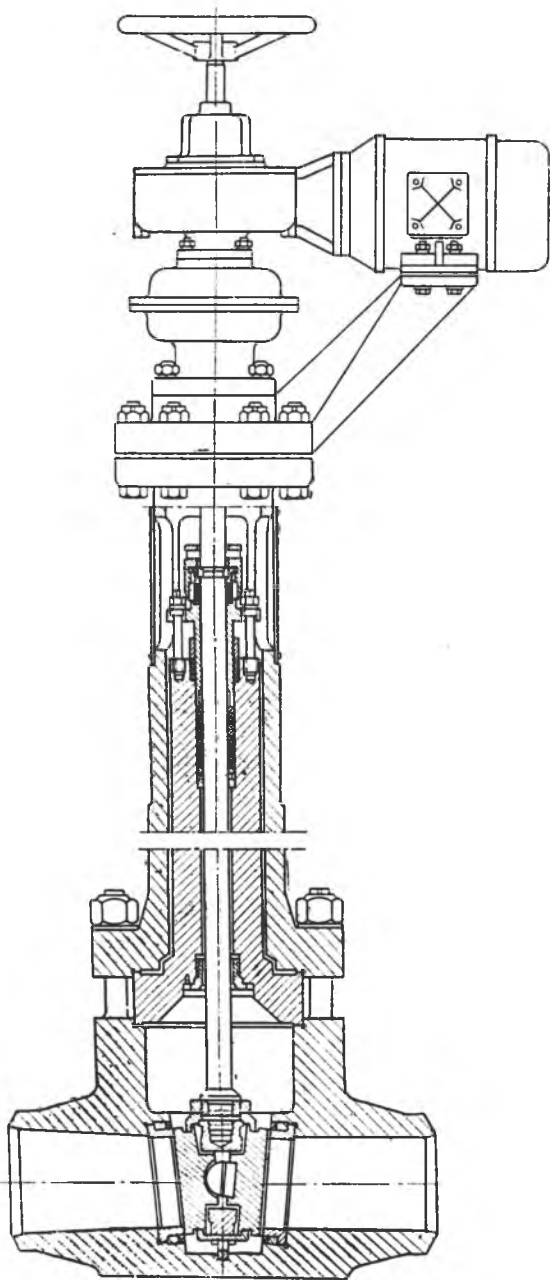


Рис. 15. Разрез задвижки первого контура.

Обеспечение безопасности

Обычные морские опасности—столкновение с другим судном, сжатие во льдах, посадка на мель—не страшны ледоколу, так как он имеет необычайно прочный корпус. Даже большие нарушения целостности корпуса, способные вызвать затопление любых двух главных водонепроницаемых отсеков, не могут привести к потоплению ледокола.

Его парогенераторная установка, состоящая из узлов, рассчитанных на давление 225 ат при рабочих параметрах и испытываемых на давление до 350 ат при комнатных температурах, в крайнем и, вообще говоря, нереальном случае потопления ледокола остается неповрежденной даже на очень больших глубинах, что предотвратит выход продуктов деления в воду. Кроме того, весь первый контур парогенераторной установки помещается внутри стальных стен, имеющих толщину 300—420 мм и играющих роль своего рода бронированного пояса.

Радиационная безопасность для команд, обслуживающих ледокол и порт, в котором ледокол находится, обеспечивается целым рядом мероприятий, которые подробно изложены в специальном докладе*). Вкратце эти мероприятия сводятся к следующему.

Биологическая защита ядерно-энергетической установки такова, что в постоянно обслуживаемых помещениях уровень проникающего излучения не превышает 0,2—0,5 мбэр/сек (0,1—0,3 предельно допустимой нормы для 8-часового рабочего дня).

В подавляющем большинстве жилых помещений уровень излучения соответствует естественному фону.

На ледоколе имеются две системы дозиметрического контроля—технологическая и биологическая. Технологическая система дает возможность судить о целостности оболочек тепловыделяющих элементов, а также о герметичности всего первого контура. Она состоит из ряда датчиков, установленных на первом и втором контурах, и вторичных сигнальных и показывающих приборов, расположенных на посту энергетики и живучести

*) Ю. В. Сивинцев, Б. Г. Пологих. Система радиационной безопасности атомного ледокола. Доклад, представленный на вторую Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958 г.

и на дозиметрическом посту. Биологическая система контроля служит для обеспечения радиационной безопасности и измерения интегральных доз внешнего и внутреннего облучения команды.

Индивидуальный дозиметрический контроль и индивидуальная защита персонала осуществляются при помощи следующих средств. Работа в помещениях отсека с парогенераторной установкой производится только в спецодежде; по выходе из отсека обязательно производится дозиметрический контроль обслуживающего персонала; общая доза облучения измеряется с помощью индивидуальных карманных дозиметрических приборов (конденсаторного типа и типа ИФП).

Контроль уровней излучения в помещениях, расположенных вблизи парогенераторной установки, производится стационарными дозиметрами, которые при превышении допустимых для этих помещений уровней дают сигнал на центральный дозиметрический пост, на вход в эти помещения и место установки датчиков.

Во всех помещениях парогенераторной установки, где возможно появление активности, специальной вентиляцией поддерживается разрежение. Чем радиационно опаснее помещение, тем больше в нем поддерживается разрежение. Отсасываемый из паро-

генераторной установки воздух выбрасывается в полую грот-мачту.

Воздух, который отсасывается из помещений парогенераторной установки, где вероятность появления аэрозолей больше, перед выбросом в грот-мачту очищается в специальном фильтре.

Активные воды, подлежащие временному хранению на ледоколе, в зависимости от уровня их активности направляются или в защищенную цистерну емкостью 10 м³, или в незащищенные цистерны емкостями 3 и 25 м³.

В плавании проводится только такой ремонт установки, при котором активная вода из первого контура либо совсем не сливается, либо сливается только из части контура. Предполагается, что эта вода будет удаляться из сточной цистерны только на специальной базе обслуживания ледокола. Однако и на ледоколе имеется возможность снижения ее активности до уровня $5 \cdot 10^{-9}$ кюри/л путем выдержки и очистки в специальных фильтрах, размещенных в первом контуре, а также в коммуникациях, соединенных со сточной цистерной.

Выбрасываемая в море вода будет иметь уровень активности, не превышающий предельно допустимых концентраций по существующим нормам даже в аварийных условиях.

