

Атомная энергетика на подъеме

А. М. ПЕТРОСЬЯНЦ

УДК 621.039:621.311.25

Со времени пуска Первой в мире АЭС в г. Обнинске (Советский Союз) прошло немногим более 11 лет. За этот исторически небольшой срок атомная энергетика получила признание как в развитых в промышленном отношении, так и в развивающихся странах.

Однако мировое признание атомной энергетики как отрасли энергетики еще не привело к такому широкому применению, которое позволило бы ей конкурировать сегодня с грандиозными масштабами обычной энергетики (например, в СССР в 1966 г. будет произведено 560 млрд. квт·ч электроэнергии). Тем не менее атомная энергетика уже сейчас в некоторых странах становится одним из источников производства электроэнергии и развивается быстрее, чем энергетика, основанная на использовании обычных классических видов органического топлива. Особенно большие усилия для развития атомной энергетики прилагаются в тех странах, где наиболее сильно ощущается недостаток в электроэнергии, топливе и где стоимость производства электроэнергии высока. Это явные причины, влияющие на развитие атомной энергетики непосредственно. Однако есть и неявные причины, носящие характер прогнозов, которые также заставляют серьезно работать над развитием атомной энергетики и в тех странах, где имеются достаточно большие природные запасы угля, нефти и газа.

По данным, приведенным в докладах на Третьей международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве в сентябре 1964 г., мировых запасов органического топлива с учетом ежегодного прироста их расхода в 5% может хватить человечеству на 150—200 лет, а по некоторым предположениям и того меньше — на 75—100 лет. Даже если считать, что эти прогнозы явно пессимистические, положение весьма серьезно и заставляет искать пути выхода из энер-

гетического тупика. Таким выходом из этого положения является атомная энергетика.

Использование урана и других делящихся материалов в качестве горючего для производства электроэнергии — это тот ближайший путь, который позволит человечеству еще многие столетия быть уверенным в бесперебойном обеспечении энергетической промышленности необходимыми количествами горючего, пока человечество не найдет новых источников энергии (например, управляемый термоядерный синтез).

Атомные электростанции, в которых используются реакторы, работающие на тепловых нейтронах, за короткий срок зарекомендовали себя как надежный источник электроэнергии. Повсеместному самому широкому переходу на получение электроэнергии за счет атомной энергии пока препятствует единственный и очень серьезный фактор — недостаточная ее экономичность, т. е. способность экономически конкурировать с обычными тепловыми электростанциями.

Но этот недостаток атомных электростанций постепенно ликвидируется, так как использование АЭС в настоящее время в некоторых районах и странах мира становится экономически оправданным и вполне целесообразным. В общем энергетическом балансе атомная энергия должна продемонстрировать свою способность конкурировать с обычными видами энергии. Недалеко то время, когда атомная энергетика будет полностью экономически оправданным и конкурентоспособным видом производства электроэнергии в большинстве стран.

Все действующие и находящиеся в эксплуатации АЭС (а их сейчас в мире насчитывается уже около 60) пока что вырабатывают более дорогую электроэнергию, чем лучшие современные электростанции, работающие на угле. Но уже вновь проектируемые и даже некоторые

строительства АЭС, пуск которых будет осуществлен к концу 1970 г., будут конкурентоспособными и достаточно экономичными электростанциями.

После 1970 г., по-видимому, уже не будут возникать вопросы и сомнения о целесообразности развития этого направления в производстве электроэнергии. Необходимо учитывать лишь то отрицательное обстоятельство, что строительство атомных электростанций сопряжено с относительно высокой стоимостью первоначальных капитальных вложений. Стоимость 1 квт установленной мощности на АЭС значительно выше, чем на современных электростанциях, работающих на угле (аналогичное положение наблюдается и при сооружении гидростанций, на которых стоимость 1 квт установленной мощности также значительно выше, чем на тепловых станциях). В то же время налицо тенденция резкого снижения капиталовложений, необходимых для сооружения АЭС. Эта тенденция наблюдается во всех странах, где сооружаются атомные электростанции.

Великобритания, раньше всех капиталистических стран ставшая на путь развития атомной энергетики (как известно, СССР осуществил пуск Первой в мире АЭС в июне 1954 г.), уже в мае 1956 г. пустила АЭС в Колдер-Холле, на которой используются графито-газовые реакторы на природном уране. К сентябрю 1965 г. в Великобритании работало 11 АЭС и строилось еще 5.

Автору этих строк довелось вместе с группой товарищей побывать в июле 1965 г. в Великобритании по приглашению Управления по атомной энергии. В конце визита нас любезно ознакомили с некоторыми экономическими данными, которые я хочу привести в настоящей статье в качестве одного из доказательств общей тенденции резкого снижения стоимости установленного киловатта атомных электростанций (табл. 1).

Если принять удельную стоимость АЭС в Беркли за 100%, то снижение стоимости в процентах выглядит следующим образом: Брадуэлл — 95%, Хинкли-Пойнт — 81%, Траусвинит — 79%, Данджнесс — 63%, Сайзузэлл — 58%, Олдбери — 60% и Уилфа — 56%.

Из этих данных следует (что подтверждается и опытом строительства советских АЭС), что атомная энергетика имеет хорошие возможности для уменьшения капиталовложений и что по мере ее дальнейшего развития и строительства АЭС капитальная составляющая себе-

Стоимость установленного киловатта АЭС

Таблица 1

(по данным на 1 сентября 1965 г.)

Название АЭС и дата пуска	Удельная стоимость, ф. ст/квт
Действующие АЭС	
Беркли, 1961—1962 гг.	185
Брадуэлл, 1961—1962 гг.	175
Хинкли-Пойнт, май 1964 г.	150
Траусвинит, декабрь 1964 г.	143
Строящиеся АЭС	
Данджнесс, 1965 г.	116
Сайзузэлл, 1965 г.	107
Олдбери, 1966 г.	111
Уилфа, 1968—1969 г.	103

стоимости электроэнергии будет, безусловно, снижаться. Следует оговориться, что капиталовложения в АЭС будут всегда несколько выше, чем в лучшие угольные электростанции. Так, практика английской энергетики показывает, что капитальные затраты на строительство наиболее совершенных угольных электростанций, пуск которых намечен на 1966—1967 гг., составляют 38—40 ф. ст/квт, а для АЭС они составляют 103—111 ф. ст/квт (см. табл. 1), т. е. пока в 2,8 раза дороже. Это не удивительно, ибо атомная электростанция отличается от тепловой главным образом своей паропроизводительной частью, в то время как энергосиловые части этих электростанций по существу одинаковы. Понятно, что по стоимости котельного оборудования (реактор) АЭС пока не могут выдержать конкуренции, так как в области изготовления парокотельного оборудования обычных электростанций накоплен огромный многолетний опыт. Это оборудование изготавливается серийно и на специализированных заводах. В то же время оборудование ядерных реакторов (система защиты, теплообменники, циркуляционные насосы и др.) нестандартное, изготавливается пока в единичных экземплярах, более многочисленно по номенклатуре и, главное, его изготовление связано с большими затратами на освоение. Но, как известно, атомные электростанции имеют то экономическое преимущество, что себестоимость вырабатываемой ими электроэнергии за счет меньшего значения топливной составляющей (при достаточно большой глубине выгорания ядерного горючего) может быть равна или даже меньше, чем себестоимость электро-

энергии, вырабатываемой новейшими тепловыми электростанциями. При достаточном увеличении глубины выгорания ядерного горючего за счет повышения стойкости твэлов, улучшения технологии их изготовления, удешевления стоимости и т. д. возможно такое снижение себестоимости электроэнергии АЭС, которое для тепловых электростанций становится недоступным, так как технические возможности уменьшения топливной составляющей для этих станций практически исчерпаны. Проведенные в СССР исследования указывают на эти экономические закономерности. Наконец, для реакторов на быстрых нейтронах с расширенным воспроизведением ядерного горючего и при наличии его регенерации топливная составляющая себестоимости электроэнергии может иметь очень малую величину, что позволяет в принципе получить гораздо меньшие значения себестоимости электроэнергии на АЭС с такими реакторами, чем на обычных ТЭС.

Следовательно, повышенные капиталовложения в АЭС компенсируются меньшими издержками производства электроэнергии, что характеризует экономическую конкурентоспособность АЭС по сравнению с тепловыми электростанциями. Огромным преимуществом атомной энергетики является то, что она позволяет не расходовать для энергетических целей уголь, нефть и газ, запасы которых в мире истощаются и которые необходимо беречь для использования в химической промышленности и для других народнохозяйственных целей. В то же время запасы урана и тория на Земле могут обеспечить практически не ограниченную потребность в энергии.

Поэтому развитие атомной энергетики тесно связано с будущим благосостоянием человечества, поэтому советские ученые и экономисты прочат ей такую большую будущность и придают такое значение развитию атомной энергетики в СССР.

В настоящее время в 10 странах, включая Советский Союз, работают 72 энергетических реактора в 55 АЭС. Кроме того, в разных стадиях строительства находятся еще 37 энергетических реакторов в 34 АЭС, окончание сооружения которых намечено до 1970 г.

Строительство АЭС в настоящее время осуществляют около 20 государств Европы, Азии и Америки. Мощность всех действующих АЭС составляет ~ 7 млн. квт, а строящихся и намеченных к пуску до 1970 г. еще ~ 9 млн. квт. Таким образом, суммарная установленная

мощность АЭС в странах мира к концу 1970 г. составит ~ 16 млн. квт.

Это неплохой итог работы за 15 лет со времени пуска в СССР Первой атомной электростанции электрической мощностью 5000 квт.

По отдельным прогнозам, опубликованным в различных изданиях зарубежной печати, к 1980 г. в мире будут работать АЭС общей мощностью порядка 150—160 млн. квт. Хотя эти данные сугубо ориентировочные и, возможно, завышенные, но они свидетельствуют об огромном оптимизме различных стран в отношении использования атомных электростанций. Характерно, что этот оптимизм разделяют все страны, которые заботятся о развитии в своей стране крупной энергетики.

Советский Союз первый вступил на путь использования ядерной энергии в мирных целях, направив внимание и силы своих ученых и инженеров-атомников и предоставив необходимые материально-технические средства на сооружение атомной электростанции, атомного ледокола и других объектов мирного назначения.

По наличию запасов природного топлива Советский Союз находится в благоприятных условиях. У нас очень большие запасы каменного угля, нефти, природного газа, богатые и еще далеко не исчерпанные ресурсы гидроэнергии. Несмотря на это, развитию атомной энергетики у нас уделяется большое внимание.

Характерным для Советского Союза является то, что обычные энергетические ресурсы расположены на его территории неравномерно. Европейская часть СССР, на территории которой расположена большая часть промышленности и населения, в недостаточной степени обеспечена природными энергоресурсами. В то же время именно здесь наблюдается наибольший прирост потребности в электроэнергии. Транспортировка угля или передача электроэнергии по проводам из других, хорошо обеспеченных районов СССР в Европейскую часть требует весьма больших затрат и, более того, влечет за собой большие потери электроэнергии. Поэтому в первую очередь атомная энергетика должна развиваться здесь, что, как показывают экономические расчеты, более выгодно, чем использование других источников энергоснабжения Урала или Сибири, в частности за счет высоковольтных линий электропередач.

В СССР работает несколько АЭС с различными типами энергетических реакторов. В 1958 г. была пущена первая очередь (100 тыс. квт.) АЭС в Сибири. К 1965 г. общая мощность сибир-

ских энергетических реакторов была доведена до 600 тыс. квт. В апреле 1964 г. на Урале была введена в действие АЭС мощностью 100 тыс. квт с уран-графитовым реактором, обеспечивающим получение высоких параметров пара за счет ядерного перегрева и позволяющим благодаря этому применить энергетическое оборудование, рассчитанное на современные параметры пара. В октябре 1964 г. начала давать электроэнергию Ново-Воронежская АЭС мощностью 210 тыс. квт с реактором водо-водяного типа. В ноябре 1965 г. в г. Мелекессе Ульяновской области вступила в строй АЭС с реактором «кипящего» типа мощностью 50 тыс. квт.

Таким образом, общая мощность АЭС Советского Союза вместе с сибирскими энергетическими реакторами составляет в настоящее время ~ 1 млн. квт.

Строительство новых энергетических реакторов продолжается, и мощность советских АЭС растет.

На примере Ново-Воронежской АЭС можно видеть, как много еще не использованных резервов и возможностей имеет молодая атомная энергетика.

Сооружаемый второй блок Ново-Воронежской АЭС будет иметь гораздо большую электрическую мощность, чем первый блок, а именно 365—400 тыс. квт. Между тем корпус этого реактора остается таким же. Мощность второго блока увеличивается почти вдвое за счет некоторой модернизации тепловой схемы, изменения активной зоны реактора, форсирования режимов работы оборудования и т. д. Все это было подсказано опытом сооружения и эксплуатации первого блока АЭС, новыми научными исследованиями и инженерными разработками.

Эти усовершенствования позволили существенно улучшить экономические показатели АЭС. Удельная стоимость (на 1 квт установленной мощности) на втором блоке снижается почти в два раза, а себестоимость электроэнергии становится на 40% ниже, чем на первом блоке.

За первый год эксплуатации Ново-Воронежская АЭС выработала 1100 млн. квт·ч электроэнергии, в том числе в 1965 г. до остановки реактора на перегрузку ядерного горючего (в ноябре) — 952 млн. квт·ч.

Этот тип энергетического реактора (водо-водянной) отработан и испытан в Советском Союзе, в частности длительной эксплуатацией на атомном ледоколе «Ленин». Надежность реактора, простота управления, безотказность

в работе на различных режимах, легкость вывода на мощность привлекают наших энергетиков-эксплуатационников.

Основной недостаток этого реактора, вызывающий довольно широкие дискуссии специалистов, — это необходимость полной остановки реактора для перегрузки твэлов. Полная остановка реактора, а значит, и всего блока необходима для разгерметизации и снятия многотонной крышки реактора, без чего по конструктивным особенностям невозможна замена выгоревших твэлов свежими. Хотя длительность кампании ядерного горючего для этого типа реактора составляет более двух лет, частичную перегрузку твэлов (при мерно одну треть) необходимо производить ежегодно.

Работы по перегрузке — это довольно сложные и длительные операции, к которым эксплуатационники станции должны готовиться заблаговременно, так как от степени подготовленности и вооруженности ремонтного персонала специальными приспособлениями зависят время перегрузки, качество проведенных операций и, главное, дальнейшая бесперебойная работа ядерного реактора и всех его механизмов.

Перед остановкой реактора Ново-Воронежской АЭС в ноябре 1965 г. для перегрузки была составлена подробная программа последовательных собственно перегрузочных операций с одновременным проведением чисто ремонтных и демонтажных работ. Укрупненно эти операции можно суммировать в 11 пунктах:

1. Остановка станции. Расхолаживание первого и второго контуров.
2. Разуплотнение крышки реактора и расцепление приводов СУЗ с кассетами.
3. Снятие крышки реактора и извлечение нажимной решетки.
4. Устранение течи в системе автоматического регулирования, демонтаж механизмов аварийной защиты и установка новых.
5. Проверка герметичности твэлов.
6. Перегрузка ядерного горючего.
7. Проверка подkritичности реактора.
8. Установка нажимной решетки.
9. Уплотнение крышки реактора.
10. Гидравлическое испытание первого контура.
11. Вывод станции на электрическую мощность.

Опыт проведения перегрузки ядерного горючего в реакторе Ново-Воронежской АЭС показывает, что на собственно перегрузочные или

План-график перегрузки реактора Ново-Воронежской АЭС

Таблица 2

Наименование основных операций	Число суток																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Остановка станции. Расходливание первого и второго контуров	—																						
Разуплотнение крышки реактора и расцепление приводов СУЗ с кассетами	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Снятие крышки и извлечение нажимной решетки										—													
Перегрузка ядерного горючего											—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Установка нажимной решетки и крышки реактора. Сцепление приводов СУЗ с кассетами																					—		
Уплотнение крышки реактора																					—	—	
Гидравлическое испытание первого контура																					—	—	
Физические эксперименты																						—	
Вывод на мощность																							—

непосредственно с ними связанные операции необходимо около 23 суток.

Это, по-видимому, минимальное количество суток, в которое можно уложиться, и к меньшему количеству суток стремиться не следует, так как энергомеханикам станции всегда необходимо какое-то время для проведения соответствующих ремонтных работ в пределах 20–23 суток (табл. 2).

Первая перегрузка реактора Ново-Воронежской АЭС фактически проходила в течение 43 суток вместо возможных 23. Объясняется это тем, что перегрузка реактора производилась впервые. В этот период необходимо было провести весь комплекс накопившихся за первый год эксплуатации ремонтных работ, так как выявились недостатки отдельных механизмов или их частей. Так, например, потреб-

овалось устраниить течь в системе автоматического регулирования, демонтировать механизмы аварийной защиты и заменить их новыми, провести замену термометров сопротивлений, отремонтировать отдельные механизмы турбогенераторного оборудования, насосного хозяйства и т. д.

Нужно отметить, что эксплуатационный персонал Ново-Воронежской АЭС хорошо справился с выполнением всего комплекса работ, связанных с первой перегрузкой, и значительно сократил сроки, предусмотренные графиком. Этот график был рассчитан на перегрузку в течение 54 суток, а все работы, включая встретившиеся неожиданности при вскрытии реактора и демонтажных операциях, были выполнены в течение 43 суток (табл. 3). Предполагается, что следующая перегрузкаreak-

Таблица 3

Фактический график перегрузки Ново-Воронежской АЭС в 1965 г.

тора Ново-Воронежской АЭС в 1966 г. будет проведена значительно быстрее, за 25—30 суток.

Замена в декабре 1965 г. ядерного горючего и, главное, приведение в порядок механизмов станции, улучшение отдельных элементов установки позволили перекрыть проектную мощность и увеличить электрическую мощность Ново-Воронежской атомной электростанции с 210 до 240 тыс. квт, т. е. дополнительно на 30 тыс. квт.

Вообще говоря, можно было бы увеличить электрическую мощность реактора АЭС еще больше, но установленные на станции три турбоагрегата проектной мощностью по 70 тыс. квт позволяют увеличить мощность каждого только до 80 тыс. квт (т. е. в целом до 240 тыс. квт).

Мы остановились на эксплуатации энергетического реактора Ново-Воронежской АЭС несколько подробнее, так как считаем, что этот тип реактора станет на какой-то период развития атомной энергетики в нашей стране (имея в виду использование реакторов на тепловых нейтронах) одним из основных.

Учеными, конструкторами и проектировщиками разработан проект АЭС мощностью 800 тыс. квт с использованием двух реакторов Ново-Воронежского типа электрической мощностью по 400 тыс. квт. Этот проект учитывает опыт эксплуатации первого блока и те недостатки, которые были выявлены в ходе работы станции. Сокращается количество циркуляционных петель первого контура и повышается единичная мощность каждой петли. Турбогенераторы мощностью 70 тыс. квт заменяются турбогенераторами мощностью 200 тыс. квт (четыре турбоагрегата). Существенно усовершенствована компоновка станции. В одном реакторном зале будут размещены два реактора, что позволит исключить один бассейн выдержки, один перегрузочный кран и некоторое другое дублирующее оборудование.

На АЭС резко сокращается количество и площадь помещений, в результате чего уменьшается общий объем главного корпуса. Все эти нововведения и усовершенствования преследуют цель удешевления стоимости установленного киловатта станции, а главное, ведут к дальнейшему упрощению общих компоновок оборудования и трубопроводов и, следовательно, к увеличению надежности работы всей АЭС.

Как уже освещалось в печати, в Советском Союзе ведутся большие научно-исследовательские, конструкторские и проектные работы по созданию энергетических реакторов на бы-

стрых нейтронах. Советские учёные добились известных успехов и в этом направлении. В настоящее время в районе г. Шевченко (восточное побережье Каспийского моря) строится крупная АЭС с реактором БН-350 на быстрых нейтронах. Энергетический реактор на быстрых нейтронах, как это признано во всем мире, является прообразом реакторов будущих АЭС, позволяющих полностью использовать весь уран, а не только U^{235} , которого в природном уране содержится всего $\sim 0,7\%$.

То обстоятельство, что в реакторе на быстрых нейтронах воспроизводится ядерного горючего больше, чем сгорает, «подкупает» всех специалистов, занимающихся энергетикой, поскольку использование таких реакторов примерно в 100 раз увеличивает топливную базу атомной энергетики.

Технические трудности, которые необходимо преодолеть при создании реакторов такого типа, а также осуществление процесса радиохимической переработки отработавших тзвэлов заставляют считать, что освоение реакторов этого типа со всем комплексом необходимых работ, по-видимому, будет осуществлено около 1970 г., т. е. в результате накопления опыта эксплуатации первых реакторов на быстрых нейтронах промышленного типа.

Для проведения необходимых научных исследований в Советском Союзе в Научно-исследовательском институте атомных реакторов сооружается энергетический реактор на быстрых нейтронах тепловой мощностью 60 тыс. квт. Экспериментальные работы на этом реакторе позволят сильно продвинуть вперед выяснение сложных научных и инженерных проблем в области использования реакторов на быстрых нейтронах для энергетических целей.

Решения сентябрьского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС о платности основных производственных фондов и оборотных средств промышленных предприятий требуют проведения работ и исследований по применению этого экономического стимула в атомной энергетике. Вопрос о качественном и количественном значении отчислений от прибыли в бюджет в зависимости от стоимости основных производственных фондов и оборотных средств, закрепленных за АЭС и другими предприятиями топливного цикла, приобретает весьма важное значение. Это связано с тем, что предприятия топливного цикла атомной энергетики и, в частности, АЭС являются предприятиями, производящими в конечном счете товарный продукт (электроэнер-

гию), и характеризуются рядом существенных экономических особенностей, не имеющих или почти не имеющих аналогов в других отраслях промышленности. Такие вопросы, как установление научно обоснованных норм платы за основные производственные фонды и оборотные средства АЭС и предприятий топливного цикла, научно обоснованное установление цен в области атомной энергетики, соответствующих затратам общественно необходимого труда, научная разработка экономических нормативов, методических положений и т. д., требуют на основе специальных исследований в области экономики атомной энергетики решений в ближайшие годы.

В связи с этим весьма важное значение приобретает уровень экономических знаний для специалистов в области атомной энергетики. Необходимо, чтобы каждый из них отчетливо понимал смысл и значение для социалистической экономики таких важных экономических категорий, как стоимость, себестоимость, цена, прибыль, кредит и т. д.

Коммунистическая партия и Советское правительство всячески поддерживают развитие научно-исследовательских и экспериментальных работ во многих областях науки и техники, в том числе и в области атомной энергетики.

Запуск синхротрона Б-ЗМ — инжектора для позитрон-электронного накопителя

Г. И. БУДКЕР, А. В. КИСЕЛЕВ, Н. Г. КОНЬКОВ, А. А. НАУМОВ,
В. И. НИФОНТОВ, Г. Н. ОСТРЕЙКО, В. С. ПАНАСЮК, В. В. ПЕТРОВ,
Л. И. ЮДИН, Г. И. ЯСНОВ

УДК 621.384.612.12

Приводится описание методики настройки синхротрона с внешней однооборотной инъекцией и однооборотным выпуском электронов со специальной конструкцией электромагнита.

В работах [1—3] сообщалось, что инжектором для накопителя встречных позитрон-электронных пучков ВЭПП-2 является импульсный синхротрон Б-ЗМ. Синхротрон имеет кольцевой электромагнит ($R = 1 \text{ м}$) С-образного сечения с четырьмя прямолинейными промежутками по 40 см каждый, который работает в импульсном режиме (рис. 1). Магнитное поле в рабочей области формируется наклоном полюсов и соответствующим профилем прямой и обратной шин, обеспечивающими показатель спада магнитного поля $n = 0,6$. На рис. 2

тиki в нашей стране. Наши ученые, инженеры и специалисты получают все необходимое от государства для успешного решения больших задач, стоящих перед ними. Вот почему высокий уровень научно-технических разработок и новых исследований в Советском Союзе в области атомной энергетики привлекает внимание зарубежных научных центров, занимающихся атомной энергетикой.

Широкий обмен научно-технической информацией позволяет ученым и специалистам избегать многих ошибок, ненужных и параллельных работ и быстрее находить правильные пути для решения всех научно-технических вопросов, возникающих перед ними.

Нам есть что показать иностранным ученым и специалистам и в первую очередь ученым социалистических стран, есть чем поделиться. Однако мы хорошо понимаем, что еще очень много надо сделать в этой новой отрасли народного хозяйства для получения экономичной, полностью конкурентоспособной энергетики, использующей ядерную силу атомного ядра.

Ученые и специалисты-атомники готовы с честью выполнить решения XXIII съезда КПСС и положить в сокровищницу человеческих знаний новые достижения советской атомной энергетики.

показаны кривые различных значений показателя спада магнитного поля без коррекции.

Характерной особенностью конструкции синхротрона является то, что электромагнит и вакуумная камера представляют собой единое целое. Токонесущие шины играют роль вертикальных стенок вакуумной камеры. Крышки сделаны из оргстекла. Рабочий вакуум в камере $2 - 3 \cdot 10^{-6} \text{ торр}$.

Рабочая апертура камеры составляет 90 мм по радиусу и 85 мм по высоте.

Электромагнит возбуждается системой питания, обеспечивающей получение однополярных импульсов тока синусоидальной формы длительностью $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$ и вспомогательным генератором, создающим квазистационарное поле при инъекции. Форма магнитного поля показана на рис. 3. Плавное нарастание скорости