

И Ф В Э
СПК 71-75

А.З. Барабашев, Л.Н. Гердюков, И.А. Данильченко, Э.П. Кистенев,
Е.В. Кузнецов, Е.П. Кузнецов, В.А. Кренделев, В.В. Макеев,
О.И. Михайлов, С.Н. Паршикура, М.А. Самарин, В.И. Снятков (ИФВЭ).

А.В. Астахов, В.А. Большаков, В.Д. Борисов, Г.А. Град,
Н.И. Дойников, В.П. Муратов, В.Н. Одинцов, А.В. Попкович,
А.С. Смирнов, Н.С. Стрельцов, Ю.И. Фролов (НИИЭФА).

ПРОПАН-ФРЕОНОВАЯ
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА СКАТ
(ПРОЕКТ)

Барабашев А.З., Гердюков Л.Н., Данильченко И.А., Кистенев Э.П., Кузнецов Е.В., Кузнецов Е.П., Кренделев В.А., Makeev В.В., Михайлов О.И., Паршикура С.Н., Самарин М.А., Снятков В.И. (ИФВЭ); Астахов А.В., Большаков В.А., Борисов В.Д., Град Г.А., Дойников Н.И., Муратов В.П., Одинцов В.Н., Попкович А.В., Смирнов А.С., Стрельцов Н.С., Фролов Ю.И. (НИИЭФА).

Пропан - фреоновая пузырьковая камера SKAT (проект). Серпухов, 1971.
55 стр. (ИФВЭ. 71-75).
Библиогр. 48.

Описывается проект пропан-фреоновой пузырьковой камеры SKAT с размерами фотографируемого объема $4500 \times 1300 \times 1100 \text{ мм}^3$. Фотографирование камеры осуществляется четырьмя фотокамерами через 2,5-метровый слой воды, заполняющий охраняемый объем, и подвижное стекло толщиной 140 мм. Два объектива фотографируют весь объем камеры. Для освещения предполагается применить 27 импульсных ламп, помещенных в специальные осветители. Давление изменяется через одну общую мембрану 25-ю клапанами с проходным сечением диаметром 120 мм. Для камеры разработан магнит с напряженностью магнитного поля $25 + 27 \text{ кгс}$ при потреблении мощности $8,4 + 14 \text{ мвт}$.

Препринт Института физики высоких энергий.
Серпухов, 1971.

Barabashev A.Z., Gerdukov L.N., Danilchenko I.A., Kistenev E.P., Kuznetsov E.V., Kuznetsov E.P., Krendeleev V.A., Makeev V.V., Mikhaylov O.I., Parshikura S.N., Samarin M.A., Snyatkov V.I. (IHEP); Astakhov A.V., Bolshakov V.A., Borisov V.D., Grad G.A., Doynikov N.I., Muratov V.P., Odintzov V.N., Popkovich A.V., Smirnov A.S., Streltsov N.S., Frolov Yu.I., (NIEFA).

Propan-Freon Bubble Chamber SKAT (project).
Serpuhkov, 1971.
p. 55 (IHEP. 71-75).
Ref. 48.

A propan-freon bubble chamber SKAT with the working volume of $4500 \times 1300 \times 1100 \text{ mm}^3$ is described. Four cameras take pictures of the chamber through a 2,5m layer of water, filled in the safety volume, and through a traveling glass 140 mm thick. Two objectives take pictures of the whole volume of the chamber. It is planned to use 27 pulse bubbles, situated in special lighters. The pressure is varied through a common membrane by 25 valves. A magnet with the voltage strength of the magnetic field of $25 - 27 \text{ Kgauss}$, its power consumption $8,4 - 14 \text{ mW}$ has been worked out for the chamber.

Preprint. Institute of High Energy Physics.
Serpuhkov, 1971.

А.З. Барабашев, Л.Н. Гердюков, И.А. Данильченко, Э.П. Кистенев,
Е.В. Кузнецов, Е.П. Кузнецов, В.А. Кренделев, В.В. Макеев,
О.И. Михайлов, С.Н. Паршикура, М.А. Самарин, В.И. Снятков (ИФВЭ).

А.В. Астахов, В.А. Большаков, В.Д. Борисов, Г.А. Град,
Н.И. Дойников, В.П. Муратов, В.Н. Одинцов, А.В. Попкович,
А.С. Смирнов, Н.С. Стрельцов, Ю.И. Фролов (НИИЭФА).

ПРОПАН-ФРЕОНОВАЯ
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА СКАТ
(ПРОЕКТ)

M-24.

При создании проекта камеры СКАТ была проделана большая работа по выбору конструкции и материалов, по решению различных технологических вопросов и исследованию некоторых узлов камеры. В этом большую помощь оказали сотрудники различных учреждений и предприятий страны: Ижорского завода тяжелого транспортного машиностроения им. А.А.Жданова, Ленинградского электромеханического завода объединения "Электро-сила", Государственного оптического института им. С.И.Вавилова (Ленинград), Всесоюзного научно-исследовательского института синтетических каучуков им. С.В.Лебедева (Ленинград), Ленинградского политехнического института им. М.И.Калинина, Государственного института стекла (Москва), Государственного проектного института тяжелого промышленного электро-энергетического проектирования, Государственного союзного проектного института, Государственного института азотной промышленности, а также работники Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР.

Авторы пользуются случаем выразить всем помогавшим в создании проекта глубокую признательность.

Авторы особо хотят отметить большой вклад и помощь, оказанную профессором Р.М.Суляевым на всех стадиях проектирования камеры.

Авторы благодарны члену-корреспонденту АН СССР А.А.Логуну, профессорам Е.Г.Комару и Ю.Д.Прокошкину за постоянное внимание и поддержку в работе.

Авторы выражают свою признательность К.З.Тушабрамишвили, Л.П.Котенко, В.И.Котову, И.Ф.Мальшеву, А.В.Самойлову, М.И.Соловьеву, А.М.Моносзону, А.Н.Некрасову, В.А.Шебанову за обсуждение различных вопросов, связанных с созданием проекта.

Авторы благодарят Р.Макееву за труд по подготовке материалов проекта к печати.

На стадии разработки эскизного проекта камеры в работе принимали участие сотрудники конструкторского бюро ИФВЭ В.И.Ермолаев, Е.В.Мартовецкая, Т.И.Орлова, В.М.Петровский, В.Н.Щеголь, за что авторы выражают им свою благодарность.

Прогресс, достигнутый физикой высоких энергий в течение последних десяти - пятнадцати лет, неразрывно связан с созданием пузырьковых камер. Значение этого прибора в арсенале современной экспериментальной физики достаточно наглядно определяется его стремительным развитием от лабораторных образцов до многотонных промышленных установок. До конца 50-х годов были созданы сравнительно небольшие пузырьковые детекторы с рабочим объемом от одного до нескольких десятков литров. С 1960 года на крупнейших ускорителях мира стали функционировать камеры, вмещающие до кубометра рабочей жидкости.

Развитие физики высоких энергий и сооружение мощных ускорителей сделали в настоящее время необходимым создание пузырьковых камер с рабочим объемом до десятков и сотен кубометров.

Во многих лабораториях мира работают, проектируются и создаются пузырьковые камеры различных объемов как с водородно-дейтериевым, так и с тяжелым пропан-фреоновым и ксеноновым заполнением /1-16/.

В Институте физики высоких энергий совместно с научно-исследовательским институтом электрофизической аппаратуры им. Д.В.Ефремова в течение 1965-1968 г.г. разработан проект пропан-фреоновой камеры СКАТ с полным объемом около 7500 литров (рис. 1).

ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА СКАТ

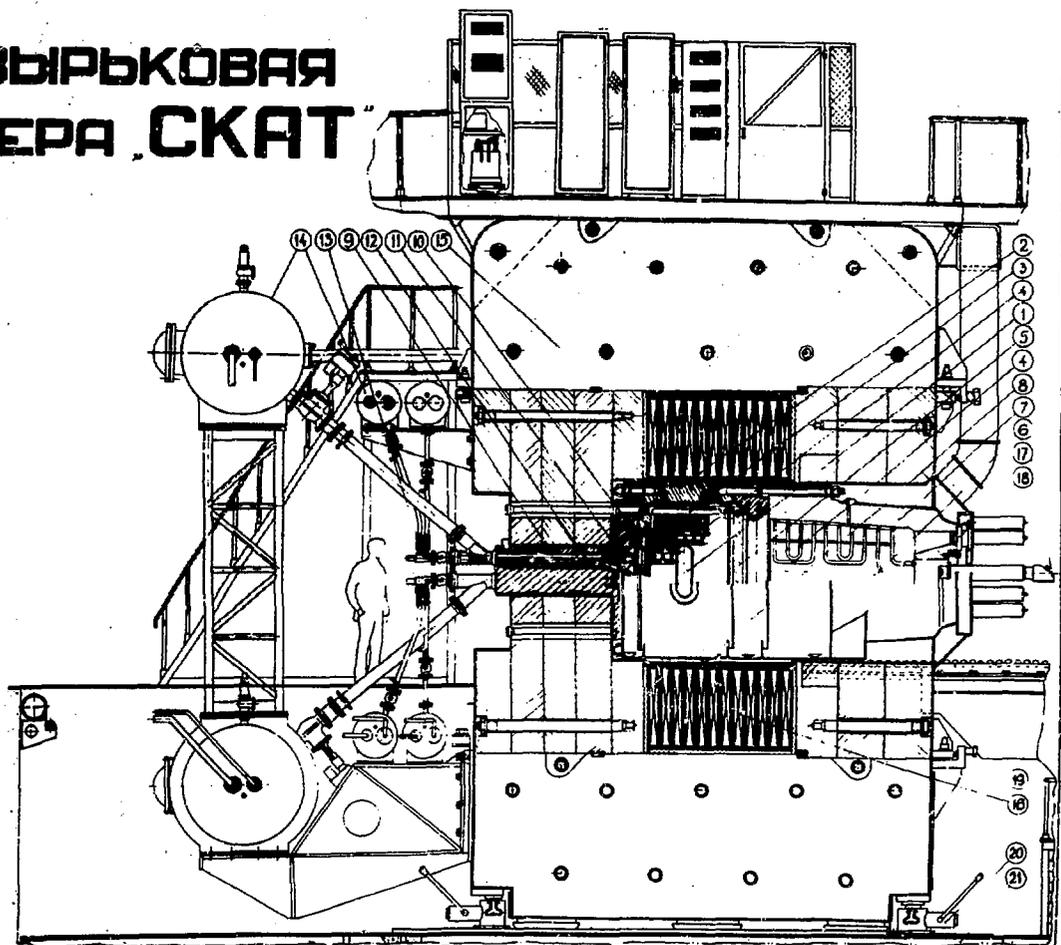


Рис. 1. Общий вид камеры СКАТ в магните. 1 - рабочий объем камеры, 2 - корпус рабочего объема, 3 - импульсный осветитель, 4 - секции системы термостатирования, 5 - стекло, 6 - охранный объем, 7 - корпус охранного объема, 8 - промежуточное кольцо, 9 - блок клапанов, 10 - решетка, мембрана системы расширения, 11 - основной клапан, 12 - газовые магистрали основного клапана, 13 - управляющий клапан, 14 - емкости системы изменения давления, 15 - ядро магнита камеры, 16 - обмотка магнита, 17 - система наблюдения за рабочим объемом, 18 - фотограмметрическая камера, 19 - рольганговые пути для перемещения камеры, 20 - домкрат, 21 - опорная плита магнита.

Основные характеристики камеры СКАТ приведены ниже.

Емкость рабочего объема:

полная (4,5 x 1,6 x 1,1) 7,5 м³.

Фотографируемый объем (4,5 x 1,3 x 1,1) 6,4 м³.

Рабочие жидкости: фреон 13В1,

смеси фреона 13В1 с пропаном.

Рабочее давление в камере

нижнее 8 атм,

верхнее до 30 атм.

Точность стабилизации нижнего давления +2,5 % .

Общее число клапанов с ϕ 120 мм 25 .

Ожидаемое время расширения и поджатия 40 + 50 мсек.

Напряженность магнитного поля в центре камеры 25 + 27 кгс.

Потребляемая мощность магнита 8,4 + 14 мвт.

Наибольшая неоднородность поля на краях рабочего
объема . . 10 %.

Вес активного железа магнита 1100 тонн.

Общий вес установки с магнитом 1310 тонн.

1. Выбор размеров камеры и схемы фотографирования

При выборе объема и конструкции камеры необходимо принимать во внимание соображения, связанные как с физикой будущих исследований, так и с такими вопросами как возможная схема фотографирования и параметры оптики, необходимая точность измерений и проблемы просмотра и измерений событий на снимках.

Размеры пузырьковой камеры, работающей на тяжелых жидкостях, определяются в основном пробегом ядерно-активных частиц до взаимодействия. Ядерный пробег в пропане (наиболее легкий заполнитель) составляет величину около 1,5 метра. Это означает, что следы первичных и вто-

ричных частиц могут быть прослежены и обмерены, в среднем, на таких или меньших расстояниях.

Кроме того, при больших энергиях существенно возрастают пролетные длины для нестабильных частиц. Учет этого обстоятельства приводит к необходимости увеличения размеров камеры (вдоль пучка) на 1 - 1,5 метра. Таким образом, размер камеры по направлению пучка должен быть не менее 4-5 метров.

Поперечные размеры рабочего объема камеры были выбраны следующие: 1,6 метра в плоскости, параллельной фотопленке, и 1,1 метра по глубине. Размеры фотографируемой рабочей области (после размещения импульсных ламп) равны: $4,5 \times 1,3 \times 1,1 \text{ м}^3$.

Для иллюстрации эффективности использования камеры при энергии первичных частиц до 70 Гэв было проведено моделирование вида событий. Эти расчеты при импульсах первичных частиц $15 + 60 \text{ Гэв/с}$ показали, что камера довольно эффективно регистрирует события до предельных энергий ускорителя ИФВЭ^{/24/}.

Общая конструкция камеры существенным образом зависит от выбора схемы фотографирования. Для камеры СКАТ была выбрана компоновка, при которой весь рабочий объем фотографируется, по крайней мере, двумя фотокамерами. Такой вариант схемы фотографирования наиболее полно удовлетворяет требованию эффективного использования рабочего объема камеры и максимально упрощает обработку фотоснимков.

II. Конструкция камеры

На рис. 2 и 3 представлена общая компоновка камеры СКАТ. Корпус камеры при работе закреплен в полости электромагнита. Для смены диафрагмы, профилактических осмотров, корпус по рольганговым путям может выкатываться из магнита на специальную монтажную площадку.

6

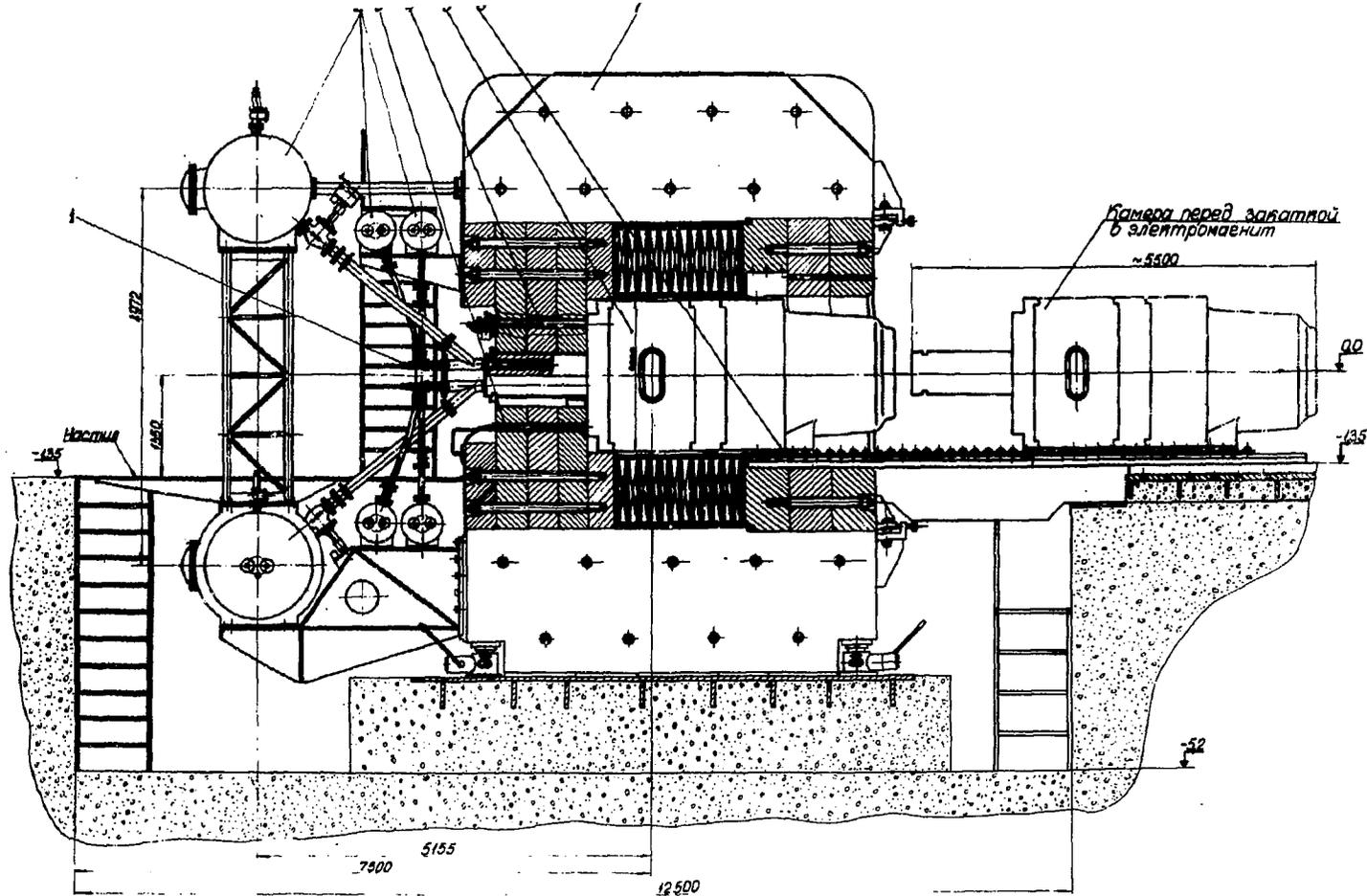


Рис. 2. Общая компоновка камеры СКАТ. Вид со стороны входа пучка. 1 - управляющий клапан, 2 - емкости системы изменения давления, 3 - магистраль подвода теплоносителя, 4 - корпус импульсного осветителя, 5 - корпус пузырьковой камеры, 6 - рольганговый путь для перемещения камеры, 7 - магнит камеры.

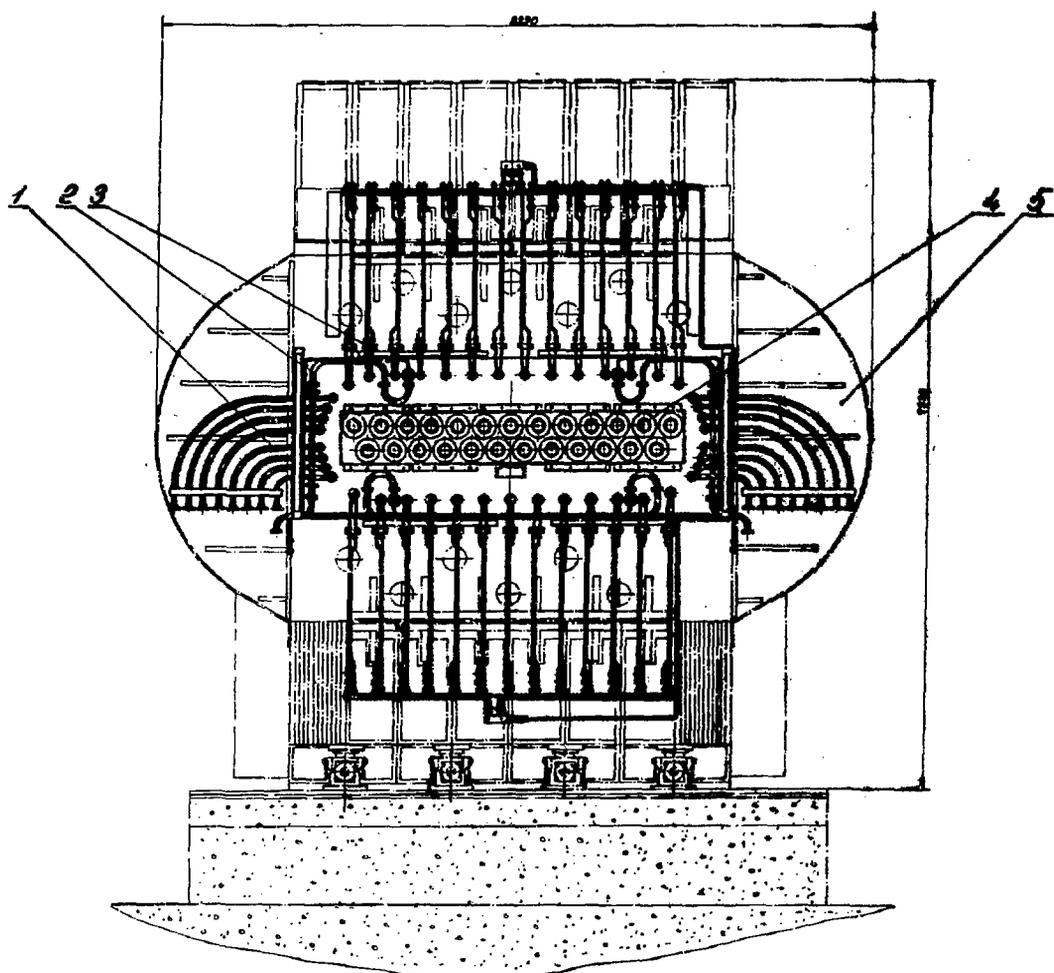


Рис. 3. Общая компоновка камеры СКАТ. Вид со стороны системы расширения. 1 - магистрали подвода теплоносителя системы термостатирования, 2 - магистраль наполнения камеры, 3 - коммуникации системы освещения, 4 - магистрали клапанов системы изменения давления, 5 - магнит.

Система расширения камеры – ресиверные емкости, управляющие клапаны и пульт управления – монтируется независимо от корпуса камеры с противоположной стороны магнита.

Корпус камеры (рис. 4) выполнен в виде толстостенного сосуда, способного выдержать циклическую рабочую нагрузку. Основными деталями корпуса являются: рабочий объем, блок клапанов, промежуточное кольцо, обойма с “плавающим” стеклом, охранный объем, заполняемый водой. Их общий вес составляет 160 тонн.

Оболочка рабочего объема, промежуточного кольца и обоймы выполнены из нержавеющей стали.

Блок клапанов и охранный объем выполнены из магнитного материала и являются составной частью магнитопровода после установки корпуса в полости электромагнита. В блоке клапанов (1) расположены магистрали системы изменения давления.

Рабочий объем отделяется от охранный смотровым стеклом, закрепленным в обойму (8). Полу жесткое крепление обоймы в промежуточном кольце и вода охранный объема позволяют разгрузить стекло от изгибающих моментов. Регистрация положения обоймы стекла осуществляется 4-мя датчиками, установленными со стороны охранный объема на верхней и нижней кромках обоймы. Помимо своего назначения как регистраторов положения, датчики выдают сигнал при увеличении хода обоймы. По этому сигналу полости рабочего и охранный объемов соединяются друг с другом через специальный компенсатор, предохраняющий стекло от разрушения.

В корпусе охранный объема расположены четыре окна под объективы для фотографирования, отверстие для установки узла системы наблюдения и четыре окна под светильники, используемые для визуального осмотра внутренней полости камеры.

На верхней и нижней стенках охранный и рабочий объемов крепятся трубчатые секции нагрева и термостатирования (7) и (9). На задней стенке рабочей полости, перед блоком клапанов, закреплена эластичная мембрана из синтетического каучука, через которую передается давление ра-

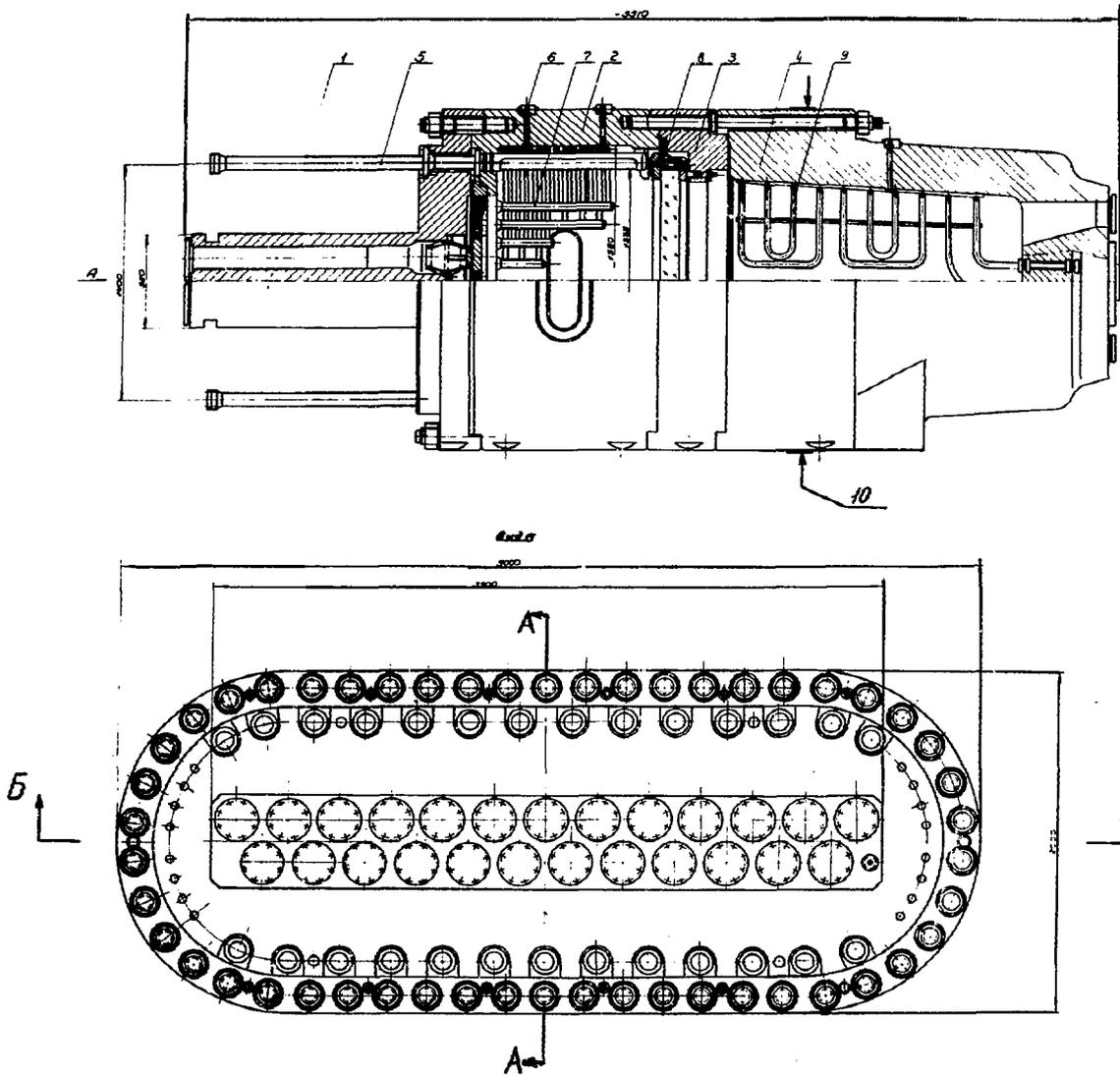


Рис. 4. Корпус камеры СКАТ. 1 - блок клапанов, 2 - корпус рабочего объема, 3 - промежуточное кольцо, 4 - корпус охранного объема, 5 - корпус осветителя, 6 - датчик температуры, 7,9 - секции системы термостатирования, 8 - обойма со стеклом.

бочей жидкости. Вдоль стенок внутренней полости рабочего объема расположены 27 светильников.

В цилиндрических торцах рабочей части корпуса имеются окна для ввода частиц. Размер окон $600 \times 200 \text{ мм}^2$. Окна закрыты крышками с толщиной стенки 8 мм. На верхней и нижней стенках корпуса установлены 8 датчиков температуры, два датчика давления и два датчика уровня.

Все расчеты прочности элементов корпуса камеры были экспериментально проверены на двух моделях (масштаб 1 : 8) из плексигласа и силумина. Испытания подтвердили основные результаты прочностных расчетов и позволили оценить характер напряженного состояния корпуса и его деформацию при рабочем цикле ^{/48/}.

III. Фотографирование и освещение

1. Система фотографирования

В камере СКАТ используется темнопольная система фотографирования с освещением "под 90° ". Схема фотографирования камеры изображена на рис. 5.

Фотографирование объема производится 4-мя фотограмметрическими камерами, расположенными на передней стенке охранного объема. Объективы 1 и 2 образуют основную стереопару (с базой 800 мм), регистрирующую весь объем камеры. Объективы 3 и 4 образуют с объективами 1 и 2 вспомогательные стереопары. Масштаб фотографирования переднего плана 1 : 20, заднего плана - 1 : 27.

Освещение осуществляется системой импульсных осветителей, расположенных по периферии рабочего объема камеры. При визуальном наблюдении за рабочим объемом освещение производится 4-мя лампами накаливания, расположенными на передней стенке охранного объема.

Фотографирование рабочего объема камеры СКАТ осуществляется через слой дистиллированной воды и плоскопараллельное стекло толщиной 140 мм.

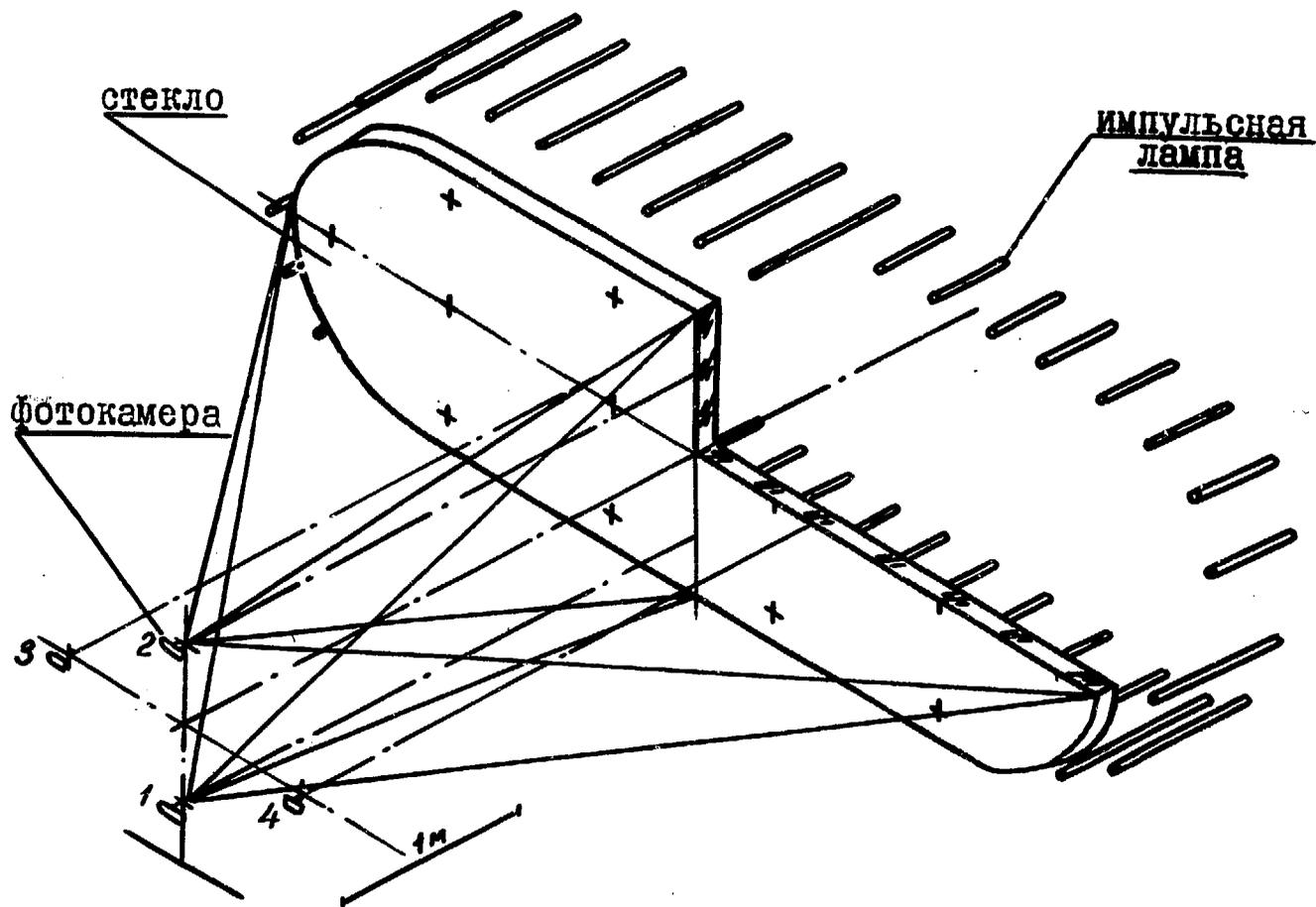


Рис. 5. Схема фотографирования камеры.

Крепление стекла полужесткое. Возможный диапазон перемещения стекла вдоль осей фотокамер при рабочем цикле - 1 мм. В расчете оптики учитывались оптические свойства стекла и воды.

Фотограмметрические камеры построены на базе широкоугольного объектива Ортагон-12А, рассчитанного для фотографирования через сферический колпак, концентричный центру входного зрачка объектива^{/19/}. Сферический колпак, являющийся первым элементом объектива, контактирует с водой. Схема оптики объектива приведена на рис. 6^{/19/}. Объектив имеет следующие характеристики:

фокусное расстояние в воздухе	97,61 мм
поле зрения	103°36 (в воздухе)
разрешающая способность в центре	40 мм ⁻¹
на краю	15 мм ⁻¹
дисторсия для переднего плана фотографирования по полю	не более 0,02 мм.

Графики аберрационных характеристик объектива приведены на рис. 7.

Размеры рабочего поля кадров: камер 1 и 2 - 214 x 60 мм²; камер 3 и 4 - 110,5 x 60 мм². В кадры каждой фотограмметрической камеры впечатывается служебная информация - стоп марки (марки Бреннера), номер кадра и номер пленки в цифровом десятичном и двоично-десятичном кодах и т.п. По периферии кадров впечатываются реперные кресты фильмового канала. Проект размещения кодовых знаков изображен на рис. 8. Ввод служебной информации в кадры планируется осуществить от специальных кодирующих устройств, устанавливаемых на каждую фотограмметрическую камеру. Лентопротяжные механизмы рассчитаны на работу с перфорированной и перфорированной 70-миллиметровой пленкой; емкость кассет лентопротяжных механизмов - 300 м.

Для визуального контроля за процессами в рабочем объеме камеры СКАТ будет использоваться система устройств, которая позволит вести визуальное и телевизионное наблюдение. Система имеет фотографический канал, позволяющий делать пробные снимки.

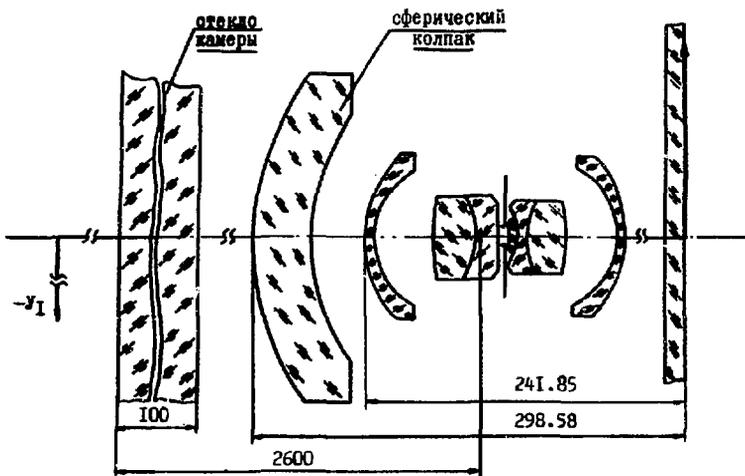


Рис. 6. Оптическая схема объектива.

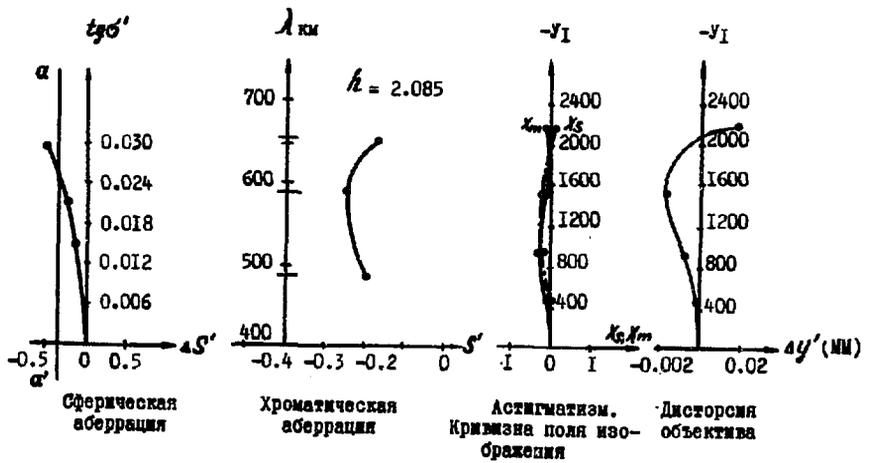
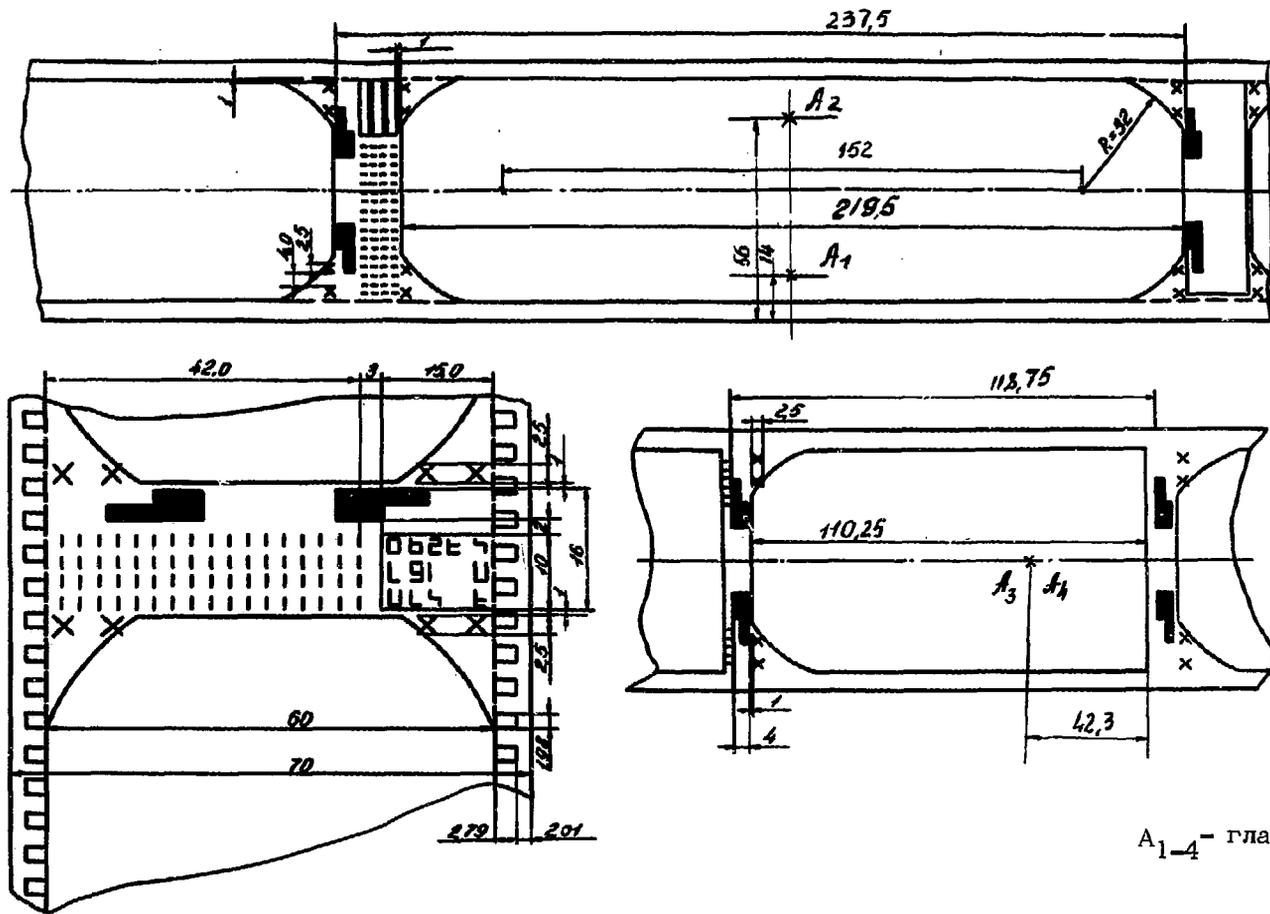


Рис. 7. Аберрационные характеристики объектива.



A_1 -4 - главные точки снимка 1+ 4.

Рис. 8. Проект размещения кодовых знаков и дополнительной информации на пленке.

2. Импульсный осветитель

В системе освещения СКАТ используется 27 импульсных осветителей, расположенных по периферии рабочего объема камеры.

Осветители построены на базе специально разработанного линейного импульсного источника света ИФП-2000-3^{/18/}.

Основным узлом осветителя (рис. 9) является корпус со стеклянным баллоном и коллимирующее устройство, предназначенное для создания равномерного светового потока. Коллимирующее устройство^{*)} состоит из пенала со щелями шириной 1 мм, расположенными шагом 14 мм, 57 кольцевых конденсаторных линз с фокусным расстоянием 16 мм и шторок диаметром 56 мм, устраняющих попадание рассеянного света от линз в объективы. Щели расположены на фокальной поверхности линз. Для подсветки реперных меток на стекле световой поток отклоняется на угол $\alpha = 8^\circ$.

Охлаждение осветителей осуществляется продувкой азота через полость стеклянного баллона. Для предотвращения аварийных ситуаций в случае выхода из строя стеклянного баллона осветителя на трактах подачи охлаждающего азота устанавливаются обратные клапаны. Конструкция осветителя позволяет производить быструю смену вышедших из строя ламп:

1У. Основные системы камеры

1. Система изменения давления

В камере СКАТ изменение давления осуществляется через одну общую мембрану с помощью 25-клапанных устройств, с проходными сечениями диаметром 120 мм. Клапаны расположены в непосредственной близости от мембраны, с целью предельного уменьшения выхлопываемого объема газа.

*) Коллимирующее устройство аналогично использованному в камере Мичиганского университета^{/8/}.

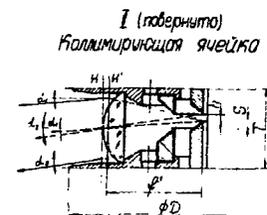
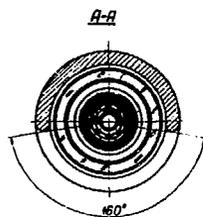
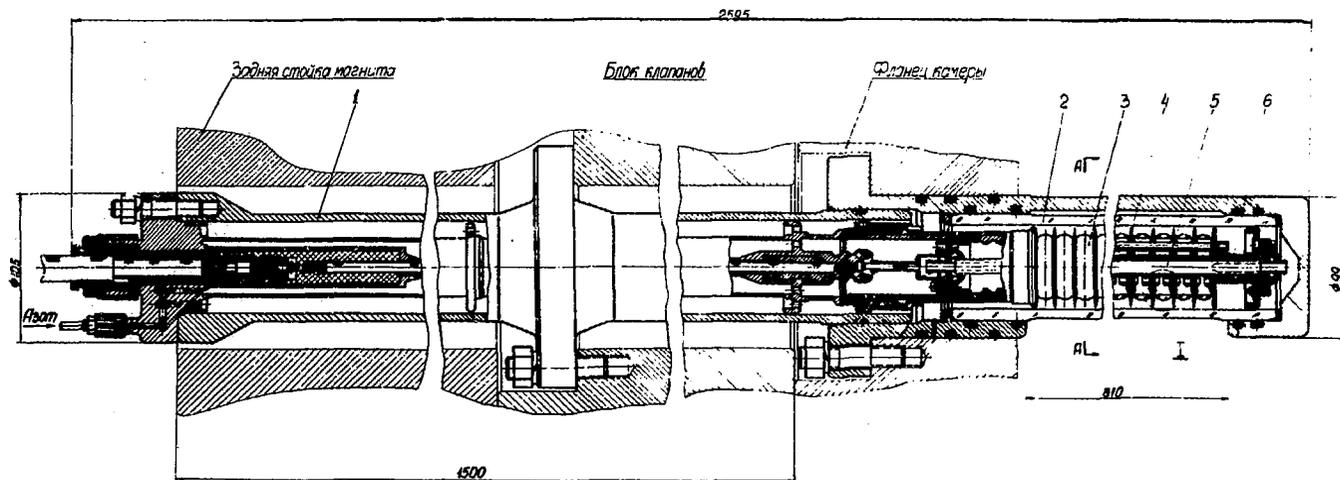


Рис. 9. Осветитель. 1 - пенал для осветителя, 2 - стеклянный баллон, 3 - линзы коллимирующей ячейки, 4 - диафрагма, 5 - импульсная лампа, 6 - отражатель.

Клапанные устройства делятся на две группы - 12 клапанов служат для подачи давления (нижняя группа), тринадцать - для сброса.

На рис. 10 представлена принципиальная схема системы изменения давления в камере. Основными элементами системы являются блок клапанов, ресиверные объемы и газовый пульт управления. Система изменения давления имеет замкнутый цикл и будет работать на азоте.

На рис. 11 представлен блок клапанов и механизм изменения давления в камере. В задней стенке камеры, изготовленной из магнитной стали, размещаются магистрали подачи и сброса давления.

Механизм изменения давления состоит из опорной решетки, мембраны и подвижного щита. Мембрану предполагается изготовить из синтетического материала толщиной 6-8 мм. При площади мембраны $3,8 \text{ м}^2$ и при относительном изменении объема рабочей среды на 3% максимальное перемещение мембраны составит 40 мм.

Перед мембраной предполагается установить подвижной щит. Как показал опыт работы пузырьковых камер ^{/26/}, такой щит резко улучшает фон при фотографировании.

В качестве основного клапана на камере СКАТ использовано двухступенчатое клапанное устройство ^{/17/}. Основная магистраль этого устройства (рис. 12) запирается эластичной цилиндрической диафрагмой. Подача и сброс управляющего газа под диафрагму осуществляется по внутренней магистрали с помощью управляющего клапана. Конструкция основного клапана позволяет быстро производить замену выбывшей из строя цилиндрической диафрагмы, которая вместе со штоком извлекается из блока клапанов и заменяется исправным узлом.

Для управления использованы клапаны золотникового типа с диаметром проходного отверстия 45 мм ^{/17,20/}.

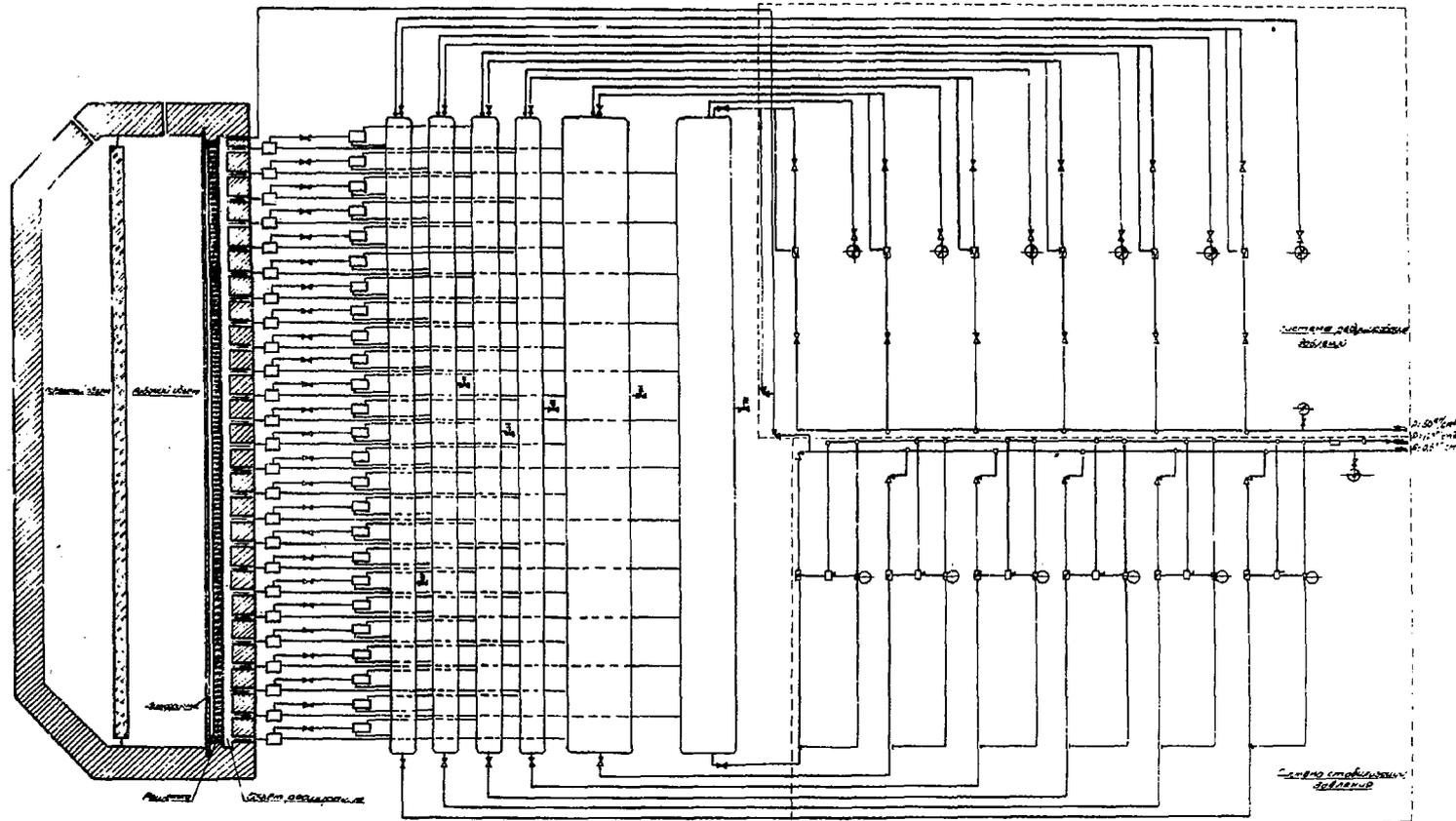


Рис. 10. Принципиальная схема системы изменения давления камеры СКЛТ.

Условные обозначения:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> — вентиль запорный прямой — вентиль угловой — вентиль запорный прямой — клапан регулирующий — клапан редукционный — клапан предохранительный | <ul style="list-style-type: none"> □ — фильтр □ — редуктор □ — регулятор давления □ — клапан основной ⊕ — манометр показывающий ⊕ — манометр с дистанционной передачей показаний |
|---|--|

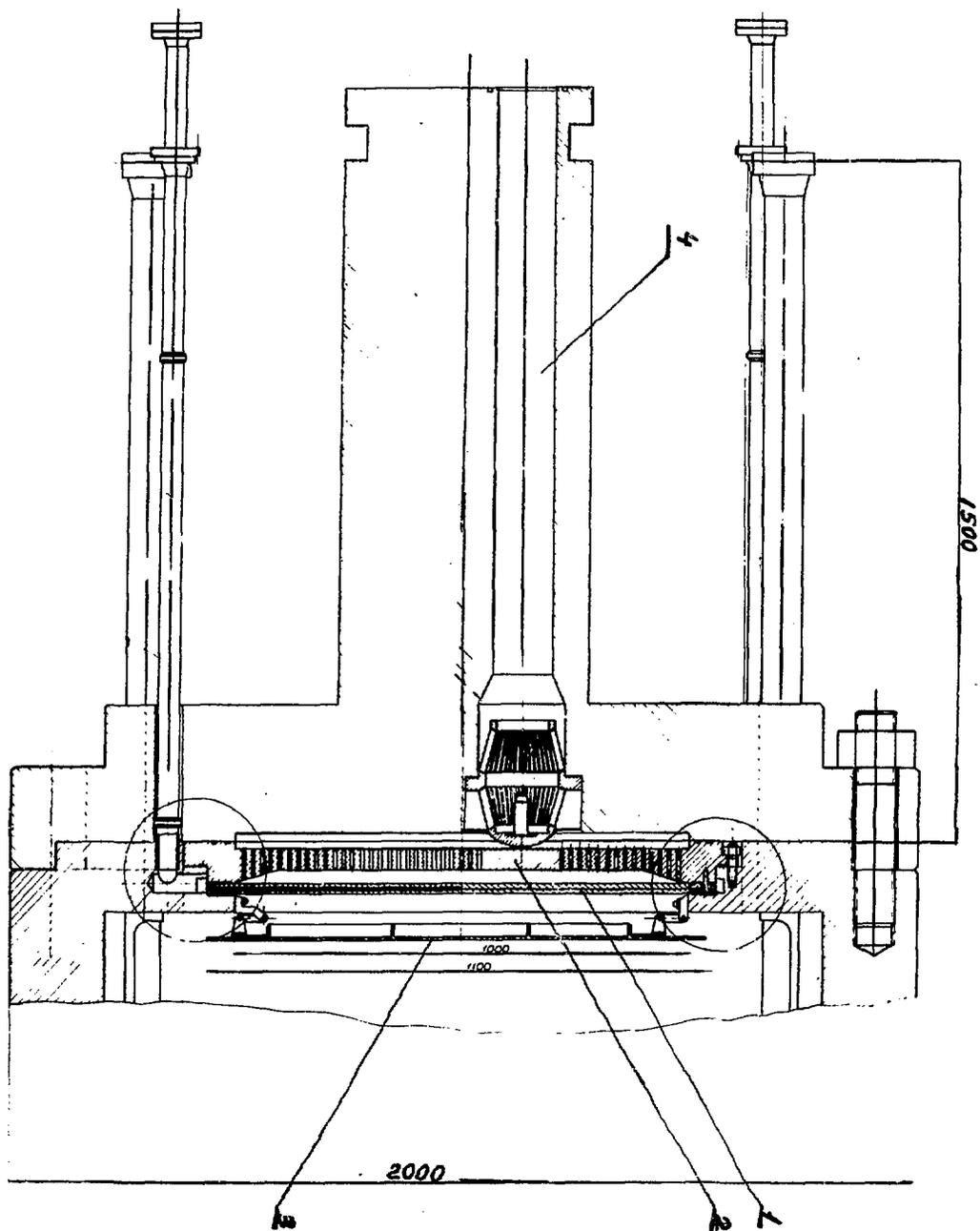


Рис. 11. Блок клапанов и механизм изменения давления. 1 - мембрана, 2 - решетка, 3 - подвижной щит, 4 - газовая магистраль системы изменения давления.

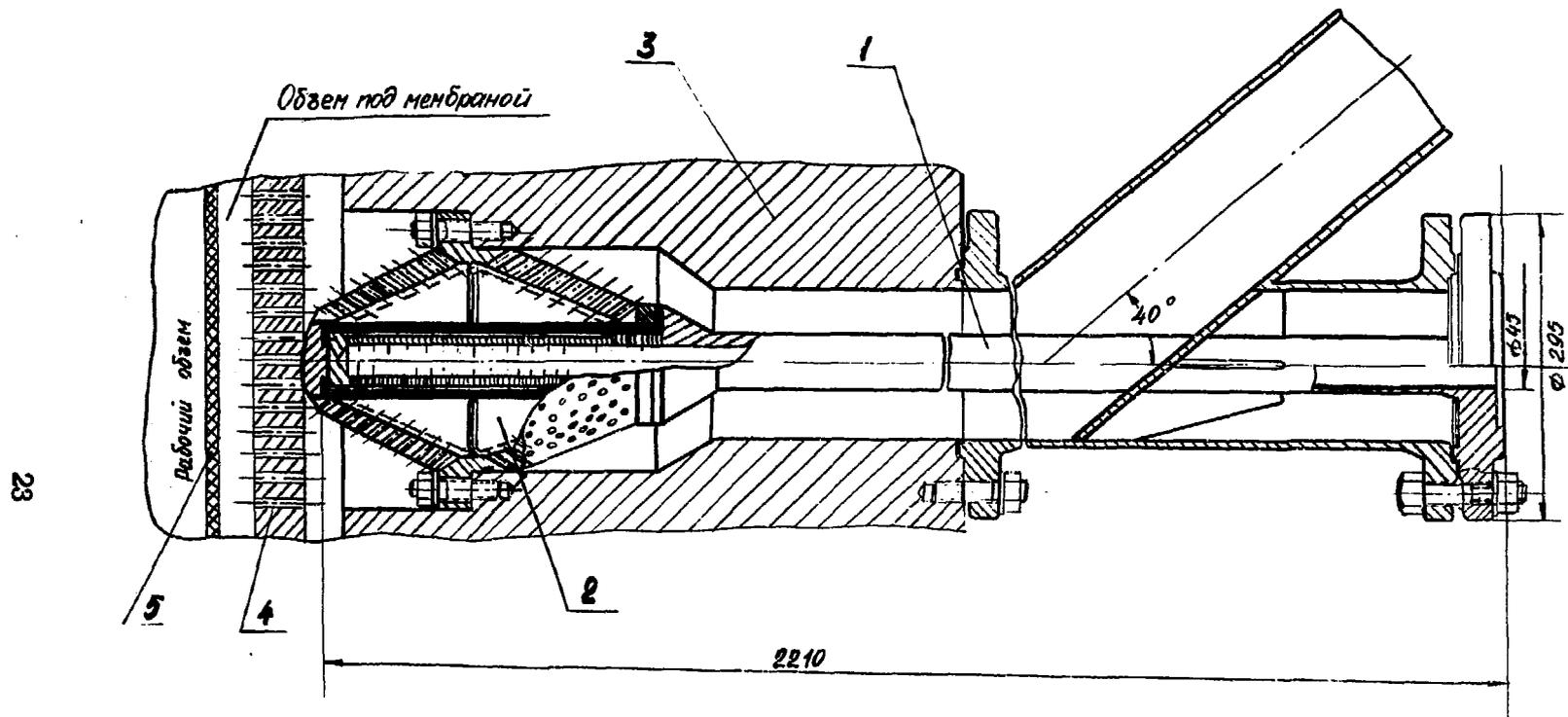


Рис. 12. Клапанное устройство с диаметром проходного сечения 120 мм. 1 – магистраль управляющего давления, 2 – диафрагма управляющего клапана, 3 – блок клапанов, 4 – решетка, 5 – мембрана.

2. Система нагрева и термостатирования

Для нагрева камеры и поддержания равновесной температуры в рабочем объеме на верхней и нижней стенке имеются по две секции теплообменников, выполненных из медных трубок. Циркуляция воды в каждой секции осуществляется по схеме "противоток", что повышает равномерность температуры по длине камеры. Каждая секция имеет свою систему регулирования температуры. Это дает возможность регулировать вертикальный и горизонтальный градиенты температуры в рабочей среде.

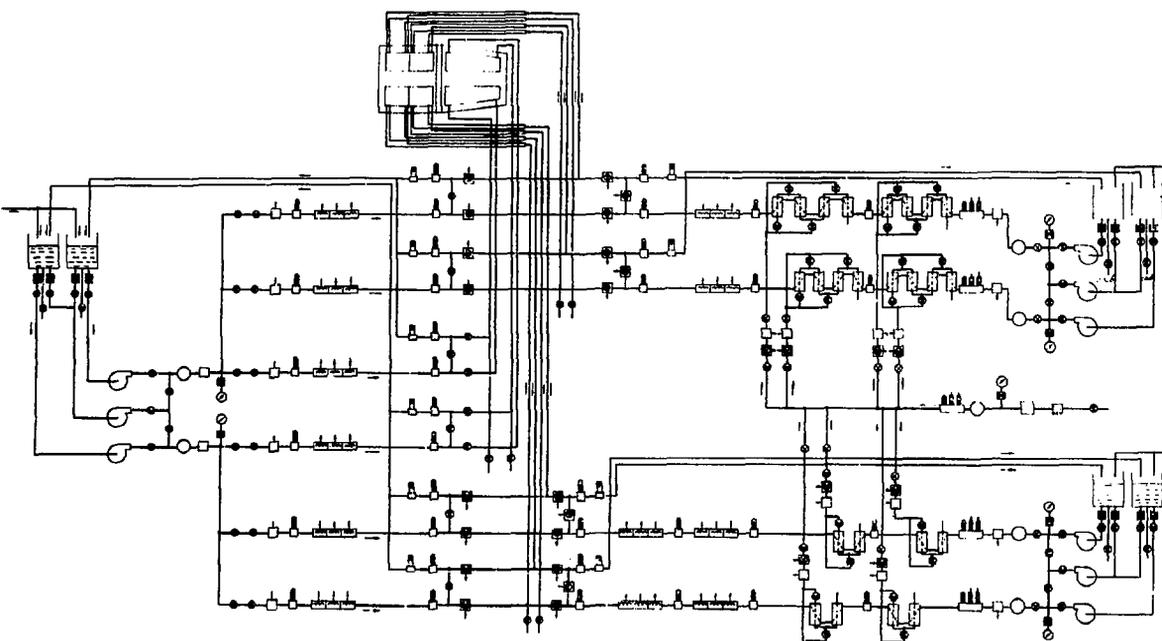
Термостатирующие секции рабочего объема позволяют снимать с верхней части камеры тепло до 50 квт, с нижней (в случае необходимости) — до 25 квт.

Система нагрева и термостатирования (рис. 13) имеет два основных элемента: узел прогрева камеры (левая часть схемы) и узел термостатирования.

В режиме прогрева контуры термостатирования отключены от камеры и работают по замкнутому циклу. При достижении необходимой температуры происходит отключение контуров прогрева рабочего объема и автоматически подключаются контуры термостатирования. Охранный объем, не нуждающийся в съеме большого количества тепла и точном термостатировании, остается подключенным к системе прогрева, обеспечивающей стабильность температуры с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Контуры термостатирования рабочего объема независимы и состоят из баков с водой, насосов, запорных и регулирующих вентилях, счетчиков расхода воды, ротаметров, блока термометров, теплообменников, нагревателей и т.п.

Нагреватели системы термостатирования управляются датчиками температуры, установленными как непосредственно в рабочем объеме камеры, так и в контуре термостатирующей воды. Сигналы с датчиков поступают на измерительные приборы. Погрешность в измерении температуры в режиме автоматического регулирования не хуже $0,5^{\circ}\text{C}$.



Условные обозначения:

- | | | | |
|---|-------------------------|---|---|
|  | - насос центробежный |  | - вентиль запорный (открытое положение) |
|  | - вентиль регулирующий |  | - вентиль запорный (закрытое положение) |
|  | - манометр |  | - ротаметр электрический дистанционный |
|  | - вентиль манометровый |  | - нагреватель электрический |
|  | - фильтр очистки |  | - вентиль запорный с электромагнитным приводом |
|  | - счетчик холодной воды |  | - клапан регулирующий с электродвигательным исполнительным механизмом |
|  | - регулятор давления | | |
|  | - блок термометров | | |
|  | - термометр ртутный | | |
|  | - секция теплообменника | | |
|  | - реле протока | | |

Рис. 13. Общая схема системы термостатирования камеры СКАТ

3. Наполнение рабочими жидкостями и работа камеры

Камера СКАТ может наполняться как чистым бромистым фреоном, так и смесями различной концентрации фреона 13В1 и пропана. Система наполнения обеспечивает (см. рис. 14) хранение рабочей жидкости, вакуумирование камеры, наполнение рабочего и охранного объемов, фильтрацию рабочей жидкости. Рабочие жидкости камеры будут храниться в четырех емкостях объемом по 12 м^3 , которые предназначены для чистого фреона, чистого пропана, смеси пропан-фреон и емкостью для резервного слива.

Наполнение камеры предполагается производить в течение 20 часов. Слив жидкости – за 6–10 часов. Предусматривается также аварийный слив за время порядка одного часа.

Наполнение водой охранного объема камеры осуществляется из трех емкостей с общим объемом 10 м^3 . Для заполнения охранного объема будет использоваться тщательно отфильтрованный бидистиллят воды. Внутренняя поверхность охранного объема, изготовленного из стали 20, покрывается специальным антикоррозийным покрытием для предотвращения загрязнения воды и изменения ее оптических характеристик.

В период между циклами изменения давления специальной системой будет производиться очистка около литра рабочей жидкости. За сутки через фильтр системы очистки проходит объем жидкости 10.000 литров. При остановке камеры система работает непрерывно. Система состоит из насоса, клапанов, фильтров грубой (до 100 мкм) и тонкой (до 10 мкм) очистки и фильтров очистки от воды.

4. Управление и контроль

Камера СКАТ имеет местные и центральный пульты, составляющие единую замкнутую систему управления и контроля.

На общей блок-схеме установки (рис. 15) показана связь систем и узлов камеры с местными пультами, центральным пультом и их функции в процессе работы.

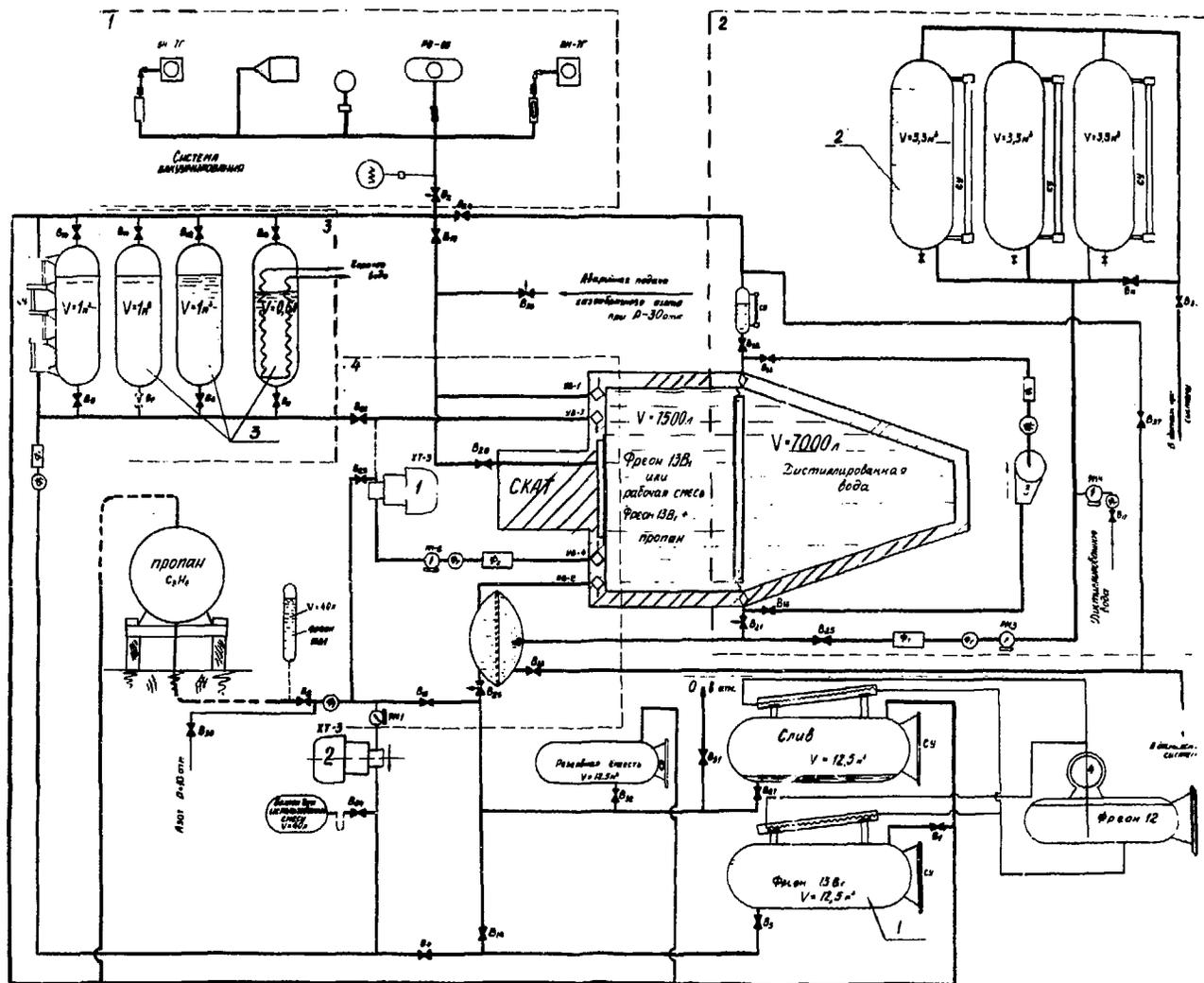


Рис. 14. Схема наполнения камеры, фильтрация рабочей жидкости и компенсации.

Пульт системы наполнения обеспечивает управление процессами вакуумирования, наполнения рабочих полостей дистиллированной водой, газовой и сжиженной фазами рабочей смеси, процессами дозации, фильтрации и слива.

На пульте расположены посты управления напускными клапанами и вентилями магистралей подачи и слива газовой и сжиженной фаз рабочей смеси, вакуумными насосами и насосами для перекачки сжиженного газа и дистиллированной воды, насосами системы дозации и фильтрации.

С местного пульта наполнения контролируется степень откачки на вакуум, давление в рабочем и охранном объемах, уровень рабочей жидкости в камере, расход транспортируемого сжиженного газа.

Пульт прогрева и термостатирования включает в себя аппаратуру для включения насосов и нагревателей; блоков управления режимом работы; блоков автоматического слежения и регулировки рабочей температуры; приборов контроля и сигнализации.

С пульта контролируется рабочая температура в полостях камеры при нагреве и термостатировании. Имеется также световая сигнализация о включении исполнительных и регулирующих устройств системы.

Пульт освещения предназначен для включения функциональных блоков системы и подачи высокого напряжения на импульсные источники света. На пульте контролируется величина рабочего напряжения, его изменение, а также количество вспышек ламп.

Предусмотрена сигнализация включения питания ламп, пропуска вспышек ламп при работе, включения охлаждения осветителей, повышения давления в полостях стеклянных колб при нарушении их герметизации.

При проникновении паров рабочей смеси в полость осветительных колб предусмотрена блокировка работы камеры.

На пульте изменения давления контролируется давление во всех полостях камеры и магистралах газового управления в процессе наладки и работы.

На лицевой панели располагается также аппаратура управления всеми вентилями газовых магистралей с электроприводом. При превышении управляющего давления предусмотрена автоматическая блокировка работы камеры и звуковая сигнализация.

Со стойки фотографирования осуществляется управление лентопротяжными и кодирующими устройствами. На стойке располагаются приборы контроля количества пленки в кассетах фотоаппаратов, счетчики числа отснятых кадров, указатели номера партии пленки.

Центральный пульт управления (ЦПУ) предназначается для дистанционного управления и контроля за основными исполнительными устройствами камеры. ЦПУ состоит из пульта оператора и стоек контроля и сигнализации каждой системы камеры. На ЦПУ выведена вся необходимая контрольная и сигнализирующая информация согласно блок-схеме (рис. 15).

С пульта оператора осуществляется пуск и остановка камеры, управление системой компенсации, аварийным сливом рабочей жидкости. На пульте расположен осциллограф для измерения динамического процесса изменения давления, телевизионная установка для наблюдения за рабочим объемом и контрольными приборами местного пульта изменения давления и т.п.

Электронная схема управления (ЭСУ). Последовательность работы ЭСУ можно проследить по блок-схеме (рис. 16) и по временной диаграмме (рис. 17). Синхроимпульс запускает ЭСУ и с этого момента идет отсчет времени и формирование всех необходимых управляющих сигналов. Через определенное время задержки формируется импульс, который открывает триггер управления для прохождения сигналов от кварцевого генератора с частотой 10 кГц. Схемы совпадений, которые имеются в каждом блоке управления клапаном, позволяют выбрать любую задержку от 1 до 1000 мсек с шагом 1 мсек при точности выставления 0,1 мсек. Подобным способом осуществляется задержка у блоков "ворота", "имитация частиц" и "сброс ЭСУ и исходное положение".

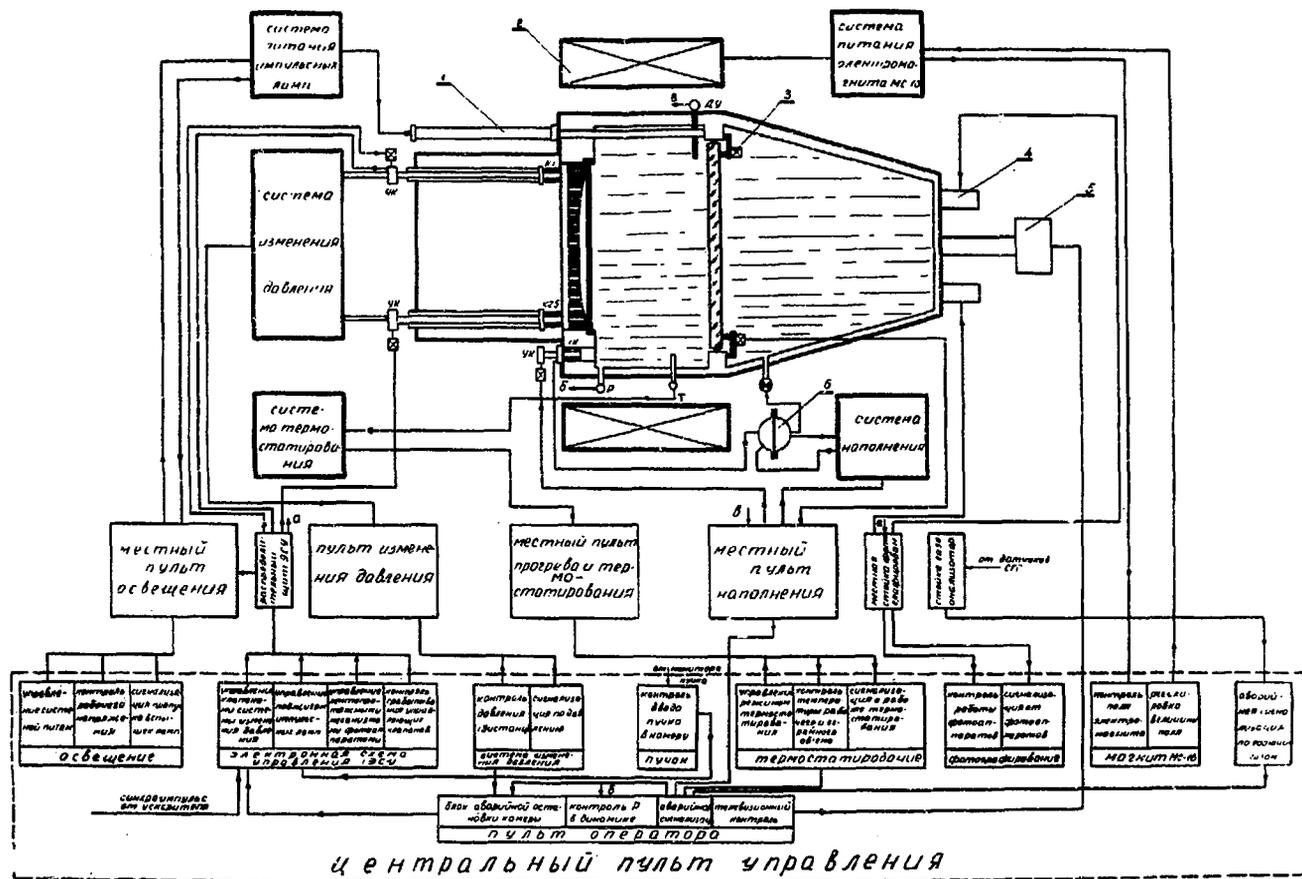


Рис. 15. Общая блок-схема системы управления и контроля. 1 - светильник системы освещения, 2 - магнит, 3 - датчик положения стекла, 4 - фотоаппараты, 5 - система телевизионного наблюдения, 6 - система компенсации, УК - управляющий клапан системы изменения давления, К₁ - К₂₅ - основные клапаны системы изменения давления, ДУ - датчик уровня, Р - датчик давления, Т - датчик температуры, 1К - клапаны наполнения и слива рабочей жидкости.

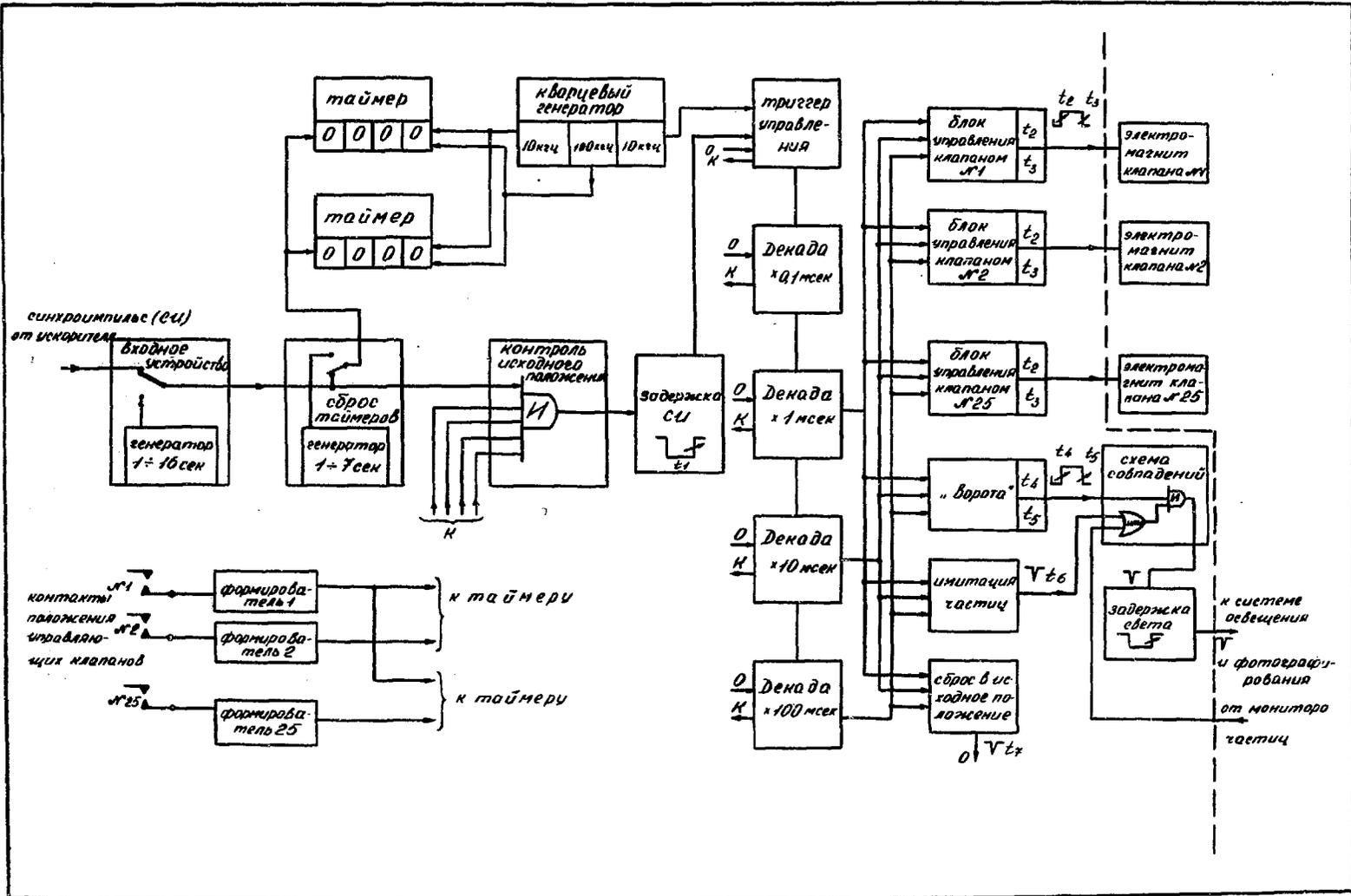


Рис. 16. Блок-схема ЭСУ. 0 - сброс в исходное положение. К - контроль исходного положения.

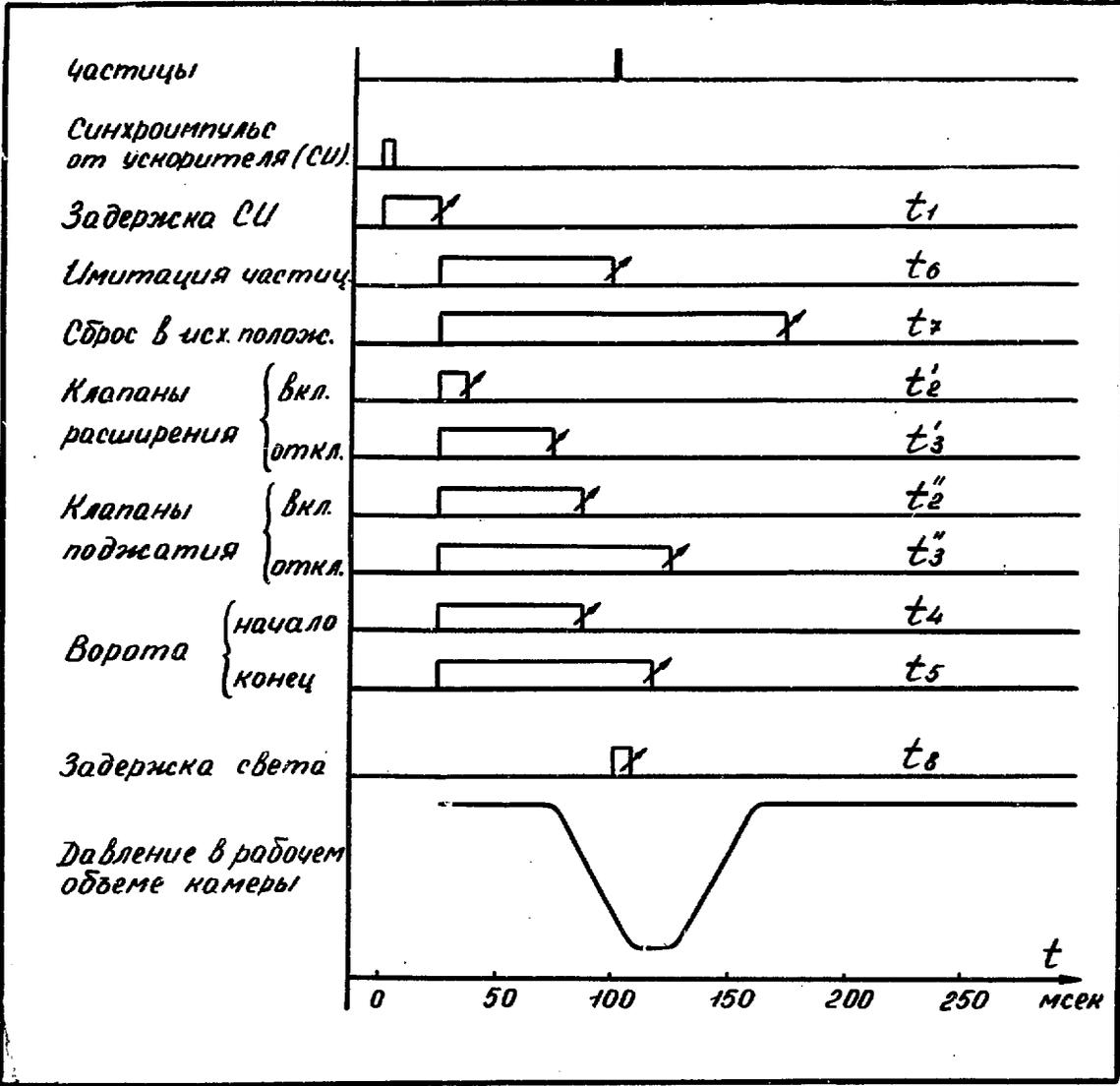


Рис. 17. Временная диаграмма ЗСУ.

Для контроля временных задержек в ЭСУ предусмотрено использование нескольких таймеров, измеряющих интервалы времени до 1000 мсек с точностью 0,01 мсек. Аппаратура ЭСУ вместе с источником питания имеет блочное исполнение.

У. Электромагнит

Достоинства пузырьковой камеры во многом определяются величиной магнитного поля и степенью его однородности. При проектировании магнита для камеры СКАТ были выдвинуты два основных требования: номинальная напряженность магнитного поля в центре камеры должна составлять $H_0 = 25$ кэ с возможностью доведения этой характеристики в форсированном режиме до $H = 27$ кэ; наибольшая неоднородность поля в полезном объеме камеры не должна превышать величины 10%.

Значительный объем камеры и большая величина требуемого поля выдвинули задачу выбора совместной конструкции магнита и камеры.

Особенность магнита камеры СКАТ состоит в том, что большие участки магнитопровода оказываются в состоянии сильного насыщения, поэтому проведение различных модельных исследований и применение методов прикладной математики встречают, порой, значительные трудности. Положение усложняется необходимостью знать при проектировании значение поля на торцах магнита и объемные силы, действующие на отдельные элементы конструкции.

В ходе проектирования магнита и камеры был выполнен ряд исследований. С помощью метода численного решения на ЭВМ плоскопараллельных магнитостатических задач (с учетом эффектов насыщения ферромагнетика) было изучено влияние на основные характеристики поля различных параметров магнита и выполнен детальный расчет сил для окончательного варианта.

Экспериментальные исследования на приближенной модели магнита (в 1/15 натуральной величины) позволили изучить поля (в том числе и на торцах магнита) в области $H_0 = 20 + 23$ кэ при различных изменениях, вносимых в конструкцию, а также сделать полезные оценки относительно точности численных методов /34/.

Электромагнит пузырьковой камеры СКАТ имеет следующие основные параметры /22/:

Номинальная напряженность магнитного поля в центре рабочего объема камеры	25 кэрстед
Величина рабочего объема камеры	4500 x 1300 x 1100 мм ³ 6,4 м ³
Величина объема магнитного поля внутри обмотки	1500 x 2150 x 5300 мм ³
Использование магнитного поля, определяемое конструкцией камеры	41%
Номинальный ток возбуждения	1400 а
Номинальное падение напряжения на обмотке	600 в
Потребляемая мощность	8400 квт [*])
Вес активного железа	1100 т
Вес меди	150 т
Проводник - труба медная, квадратная, размером 60 x 60 мм ² с отв. ϕ 30 мм.	
Площадь сечения проводника	2860 мм ²
Число витков в обмотке	336
Общий расход охлаждающей воды	260 м ³ /час
Перепад напора воды в обмотке	23 кг/см ²
Перегрев воды	50°С

*) Конструкция электромагнита позволяет производить повышение тока в обмотке возбуждения до 18000, а с целью увеличения напряженности магнитного поля - до 27 кэрстед. При этом падение напряжения на обмотке около 800 в.

Конструкция электромагнита показана на рис. 18 и 19. Форма магнитопровода, охватывающего обмотку возбуждения, обеспечивает получение требуемых параметров поля, удобство обслуживания во время эксплуатации и значительную экономию железа. Относительно большие размеры сечения магнитопровода позволяют выдерживать силы, возникающие во включенном магните.

Для установки камеры в магнит в одном из полюсов (переднем) предусмотрено отверстие размером $2070 \times 5300 \text{ мм}^2$. В противоположном полюсе электромагнита предусмотрено отверстие размером $560 \times 3900 \text{ мм}^2$ для размещения блока клапанов камеры. После установки камеры эти отверстия по возможности заполняются сталью, однако большая часть окна в переднем полюсе остается незаполненной, что усложняет задачу получения однородного магнитного поля в рабочей области.

Расчеты и исследования на модели показали, что выбранная конструкция магнитопровода является оптимальной.

Обмотка возбуждения состоит из 12 двухслойных секций. Форма и внутренние размеры секций определяются наружной формой и размерами пузырьковой камеры. Для прохода пучка между лобовыми частями обмоток имеется зазор величиной 250 мм, для чего пять секций выполнены с отгибом лобовых частей под углом 15° относительно оси пучка. Некоторое усложнение конфигурации секций позволило наиболее полно использовать обмоточное пространство и довести коэффициент заполнения его медью до 60%.

Все оборудование, приборы и арматура системы охлаждения магнита рассчитаны на рабочее давление 25 атм и температуру 100°C . Обмотка электромагнита и токопровод заключены в оболочку (кожух), в которую при необходимости может подаваться воздух или азот под избыточным давлением 25 – 30 мм водяного столба.

В ходе эскизного и рабочего проектирования рассматривалось несколько вариантов магнита.

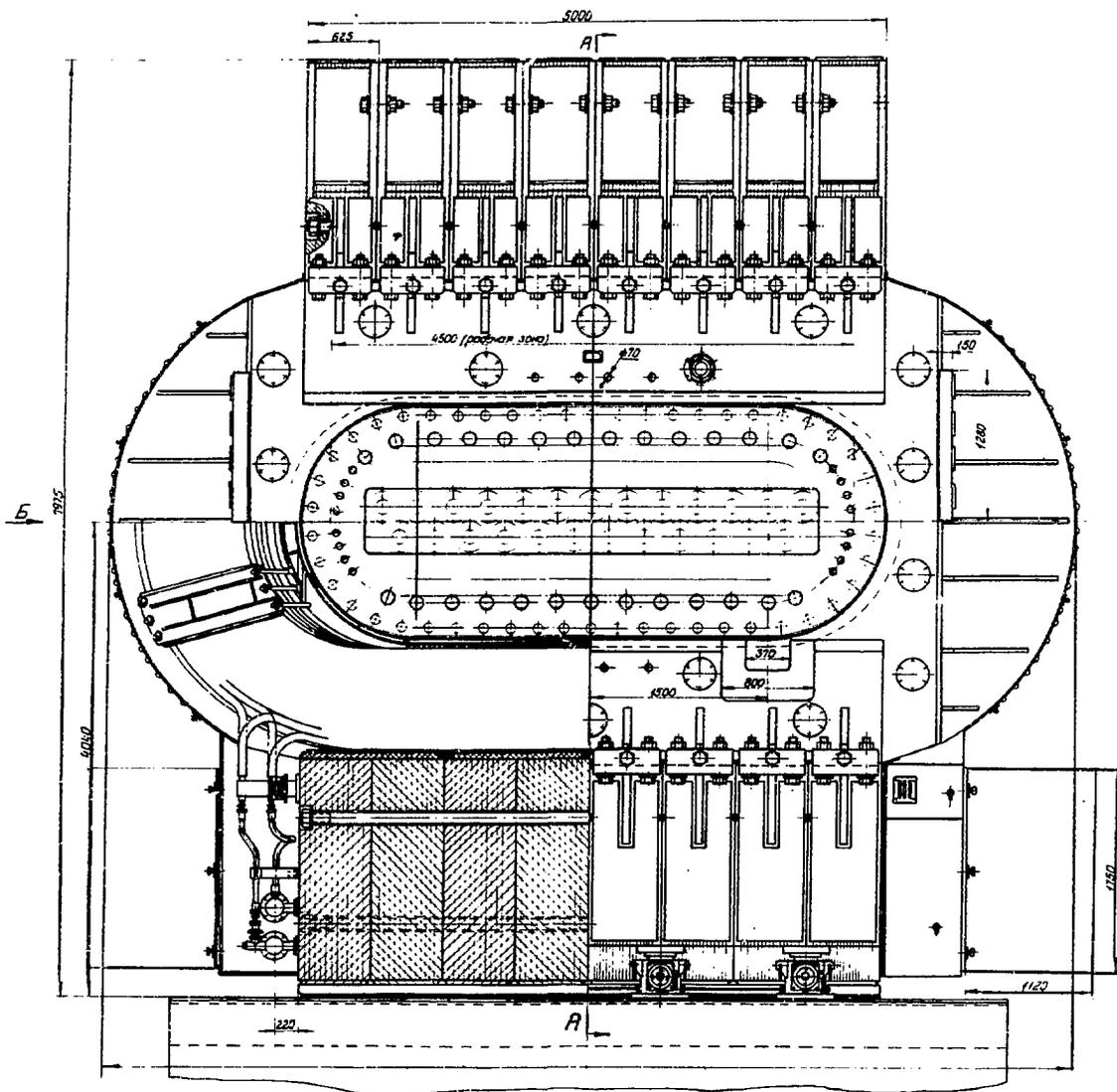


Рис. 18а. Главный вид электромагнита.

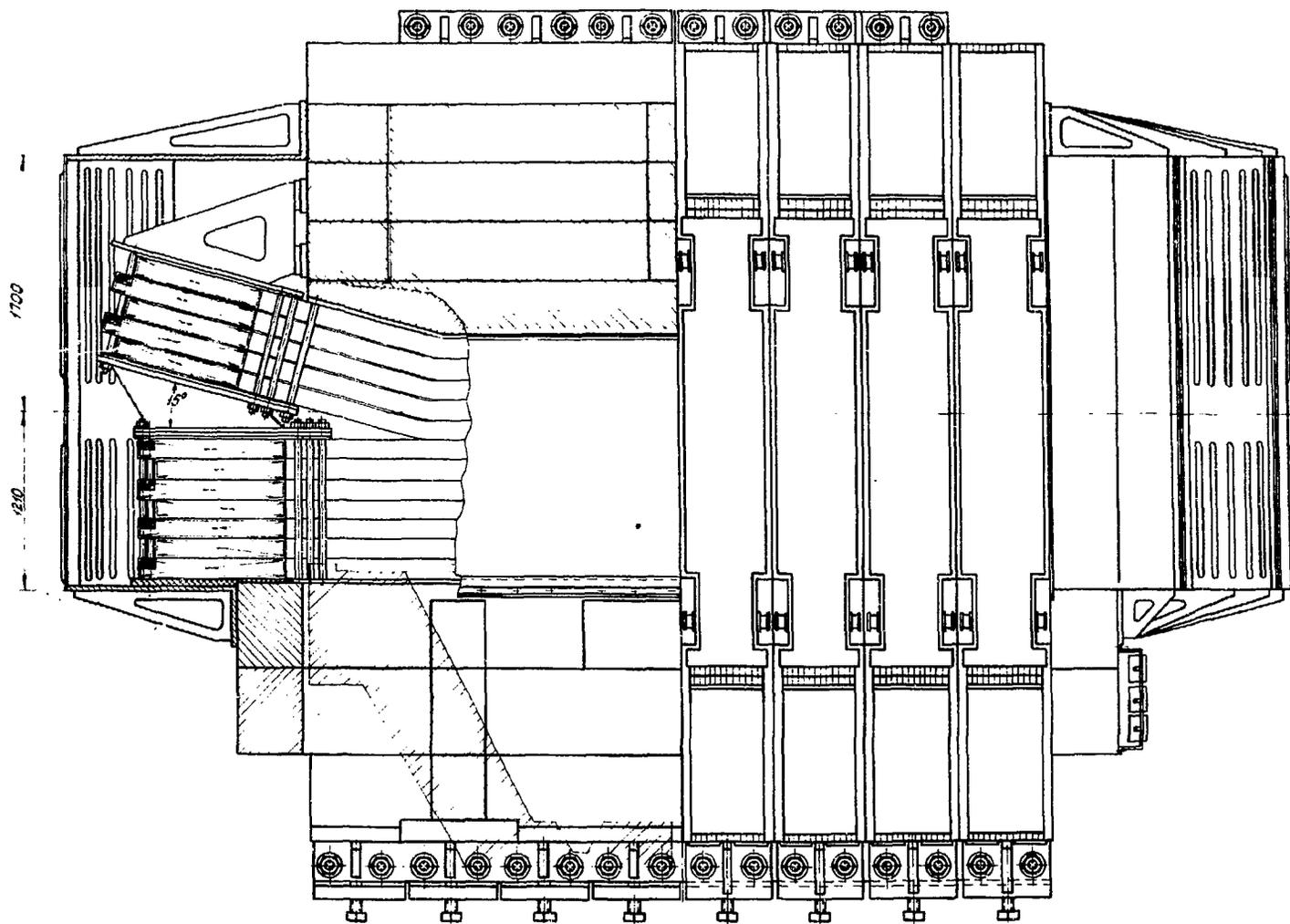


Рис. 19. Вид электромагнита сверху.

На основании серии расчетов, а также исследований на модели, были уточнены основные эксплуатационные характеристики магнита, внешние размеры магнита, наиболее целесообразная конфигурация задней стенки камеры и охранного объема.

На рис. 20 представлен один из вариантов расчета напряженности поля в магните с картой силовых линий и линий $B = \text{const}$ на наиболее насыщенном участке. Пунктиром показаны сечения магнита, корпуса охранного объема и рабочего объема камеры. Полный ток в катушке предполагается равномерно распределенным по ее сечению и равным $5,1 \cdot 10^6$ а.

На рис. 21 представлена карта расчетных значений поля в верхней части зазора магнита для случая работы в форсированном режиме.

У1. Расположение камеры СКАТ на ускорителе ИФВЭ

Камера СКАТ будет установлена в павильоне, расположенном в конце галереи, примыкающей к экспериментальному залу ускорителя (рис. 22). Павильон имеет полезную площадь $60 \times 18 \text{ м}^2$.

Электромагнит камеры СКАТ устанавливается в цокольной части павильона (рис. 23). Система юстировки позволяет установить магнит относительно пучка с требуемой точностью. Камера собирается и отлаживается на монтажной площадке и вкатывается в полость электромагнита по рольганговым направляющим с помощью лебедки. К магниту примыкает система изменения давления с местным пультом управления.

Вдоль дальней стены павильона (по ходу пучка) расположено оборудование и местные пульта наладки и управления системами термостатирования, наполнения и вакуумирования. Транспортировка оборудования в павильоне осуществляется краном грузоподъемностью 80/20 тонн. В правом крыле здания предусмотрена монтажно-разгрузочная площадка с подъездными железнодорожными путями. В примыкающем к левому крылу павильо-

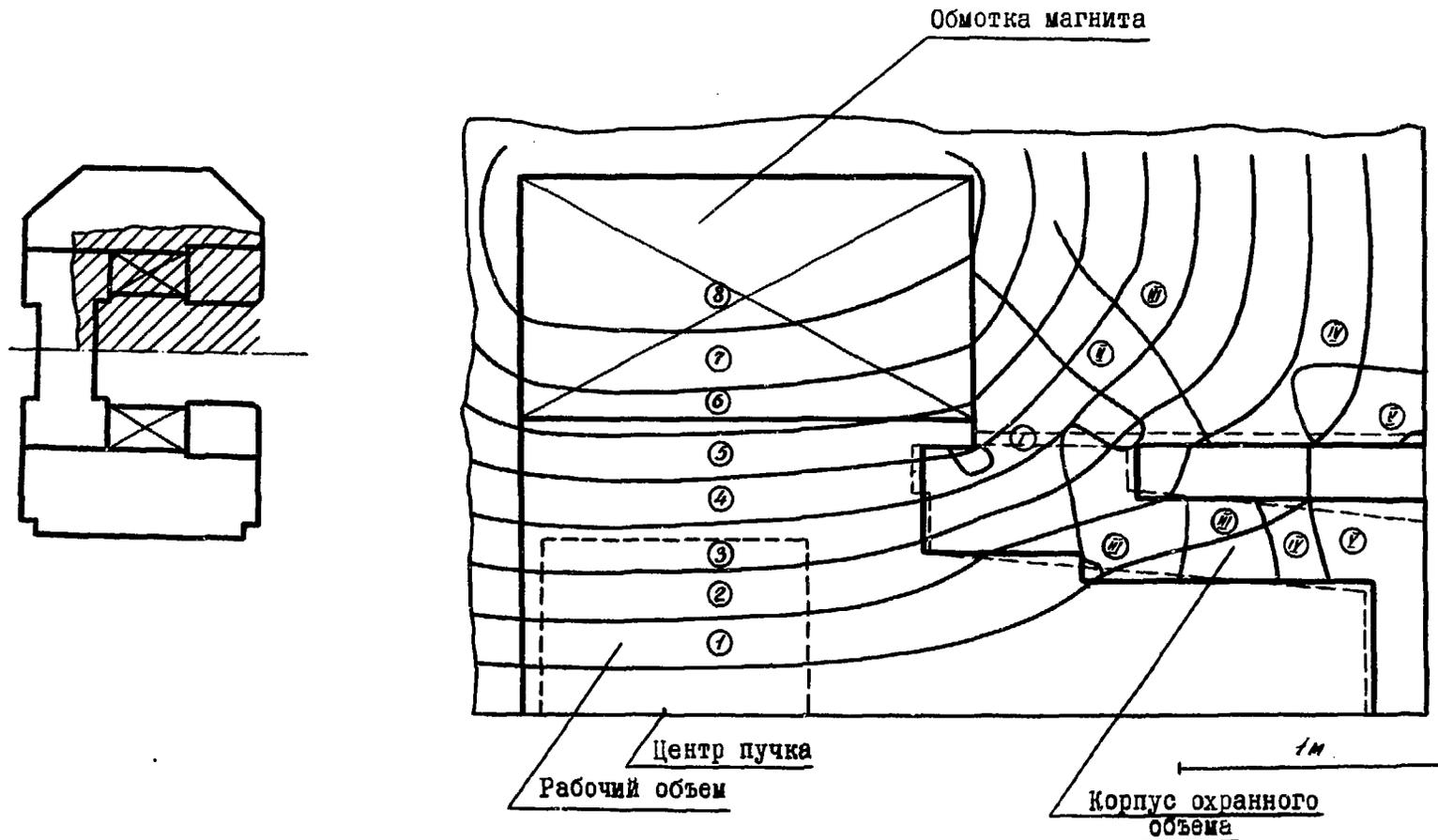


Рис. 20. Один из вариантов расчета напряженности магнитного поля в магните. $A \cdot 10^{-6}$ (гс. см): 1-0,5; 2-1; 3-1; 4-2; 5-2,5; 6-3; 7-3,5; 8-4; В (кгс): 1-40; П-30; Ш-25; У-20; Y-15.

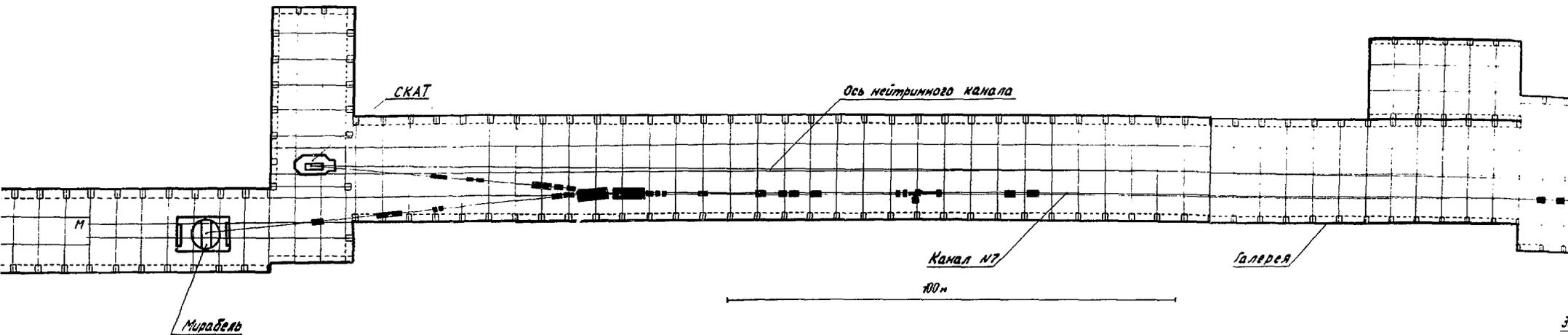
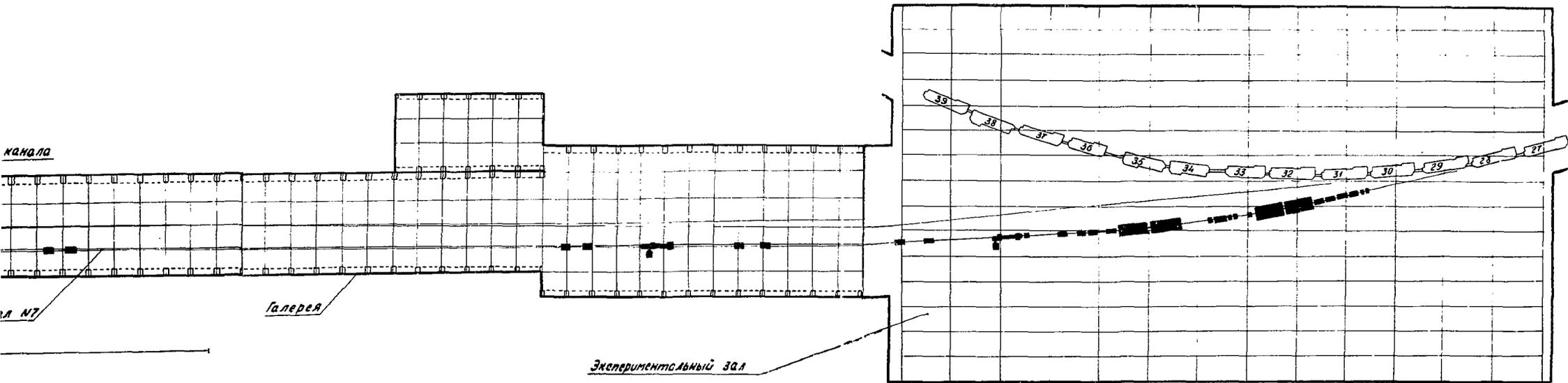


Рис. 22. Расположение павильона СКАТ на ускорителе ИФВЭ.

SECTION 1



SECTION 2

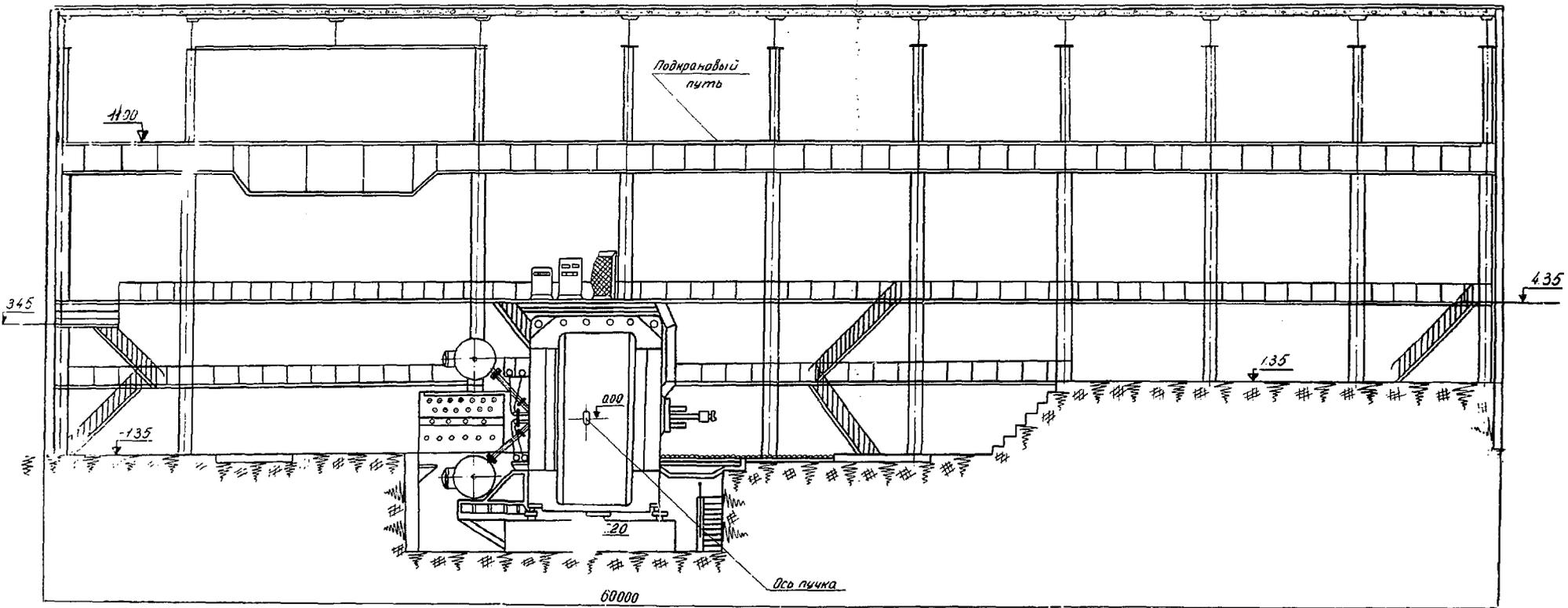


Рис. 23. Общее расположение установки в павильоне.

на СКАТ вспомогательном помещении расположен центральный пульт дистанционного контроля и управления, щиты электропитания, служебные помещения персонала.

Для предотвращения аварийных ситуаций при работе с пропан-фреоновыми смесями и обеспечения максимально возможной безопасности работ в конструкции камеры и в павильоне предусмотрен ряд мероприятий. В полости электромагнита и в подвальном помещении, где возможно скопление паров смеси, имеется 24-кратная аварийная вентиляция и установлены газоанализаторы. Электрооборудование, смонтированное в этих местах, выполнено во взрывозащищенном исполнении. Предусмотрено аварийное отключение электрооборудования по сигналу соответствующих датчиков; павильон оснащен противопожарной системой.

На камеру СКАТ будут выведены сепарированные пучки π^+ -мезонов с импульсами до 60 Гэв/с^{*)}, K^+ -мезонов - до 35 Гэв/с, антипротонов - до 35 Гэв/с, и несепарированные пучки π^- -мезонов - до 60 Гэв/с и протонов - до 70 Гэв/с. Канал обеспечивает импульсное разрешение частиц во всем диапазоне импульсов до 0,25 %^{/24,47/}.

В работе^{/45/} рассмотрена возможность создания нейтринного канала для камеры СКАТ.

УИ. Измерения в камере СКАТ

Качество физической информации, получаемой при изучении той или иной реакции в пузырьковой камере, в значительной мере определяется возможной точностью измерения импульсов частиц и угловых характеристик реакций: пробегов, ионизационных потерь и т.п.

Размеры камеры СКАТ позволяют измерять треки на оптимальных длинах. Однако достижимая точность может быть в значительной мере

ж) Нижний предел импульсов сепарированных частиц ограничивается возрастанием фона от μ -мезонов и составляет приблизительно 17 Гэв/с.

потеряна из-за искажений, обусловленных следующими причинами : фотографирование рабочего объема камеры через большой слой воды; флуктуации показателя преломления рабочей жидкости из-за наличия в камере градиентов температуры; нерегулярные смещения пузырьков , вызываемые турбулентным движением жидкости; всплывание пузырьков за время роста до фотографируемых размеров; наличие подвижного стекла.

Оценки показывают, что суммарная ошибка в определении координат точки в пространстве для камеры СКАТ, вызванная различными искажениями, будет составлять не менее $150 + 200$ мкм.

Графики ожидаемых величин измерительной ошибки, ошибки многократного рассеяния и полной ошибки в зависимости от импульса частиц для различных длин и заполнений при величине поля 25 кгс приведены на рис.24.

Углы. На рис. 25 приведена оптимальная длина для определения азимутального угла в зависимости от импульса трека ^{*)} /36/. На рис. 26 приведены значения ошибок в определении азимутального угла при измерениях на оптимальной длине. Ошибка в определении угла погружения для камеры СКАТ составит $3,5 \Delta \phi$.

Пробеги частиц. Величина пробега заряженной частицы до ионизационной остановки полностью определяет ее энергию. Учет угловых распределений при больших энергиях показывает, что средняя величина потенциального пробега в камере будет около двух метров, что больше длины ядерного пробега как для фреона так и для пропана (если рассматривать как мишень первую половину камеры). При таких пробегах будут претерпевать ионизационную остановку в фреоне - протоны до 1,4 Гэв/с, K^+ -мезоны до 1 Гэв/с, π - и μ -мезоны до 600 Мэв/с, в пропане - протоны 1,0 Гэв/с, K -мезоны 750 Мэв/с, π - и μ -мезоны до 400 Мэв/с.

^{*)} Система координат в камере определена следующим образом: ось Z перпендикулярна плоскости стекла и направлена к объективам, плоскость XOY совпадает с плоскостью стекла и ось X направлена по пучку. Тогда под азимутальным углом понимают угол, который образует касательная к проекции трека на плоскость XOY в первой точке с осью X , а под углом погружения - угол между касательной к треку в первой точке и плоскостью XOY .

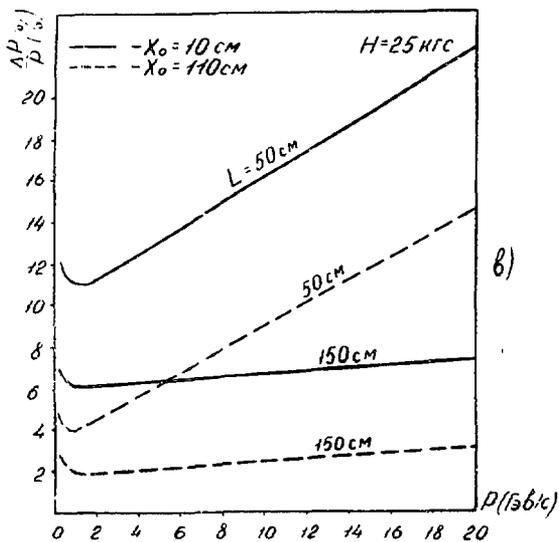
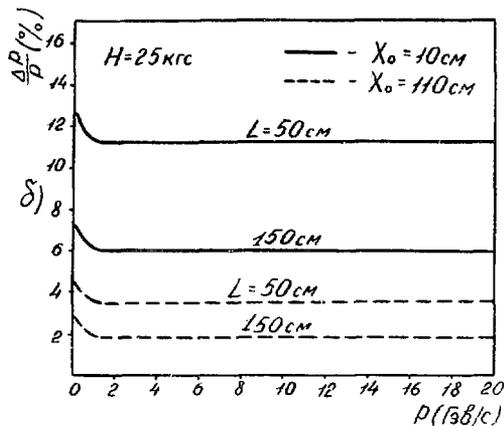
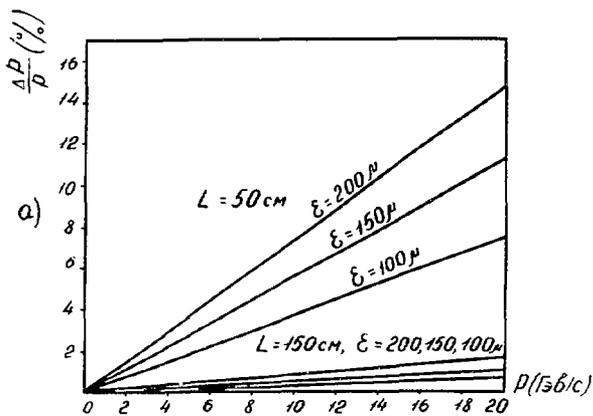


Рис. 24а,б,в. Графики величины измерительной ошибки (а), ошибки многократного рассеяния (б) и полной ошибки в зависимости от импульса частиц и для различных значений ϵ и обмеряемой длины трека.

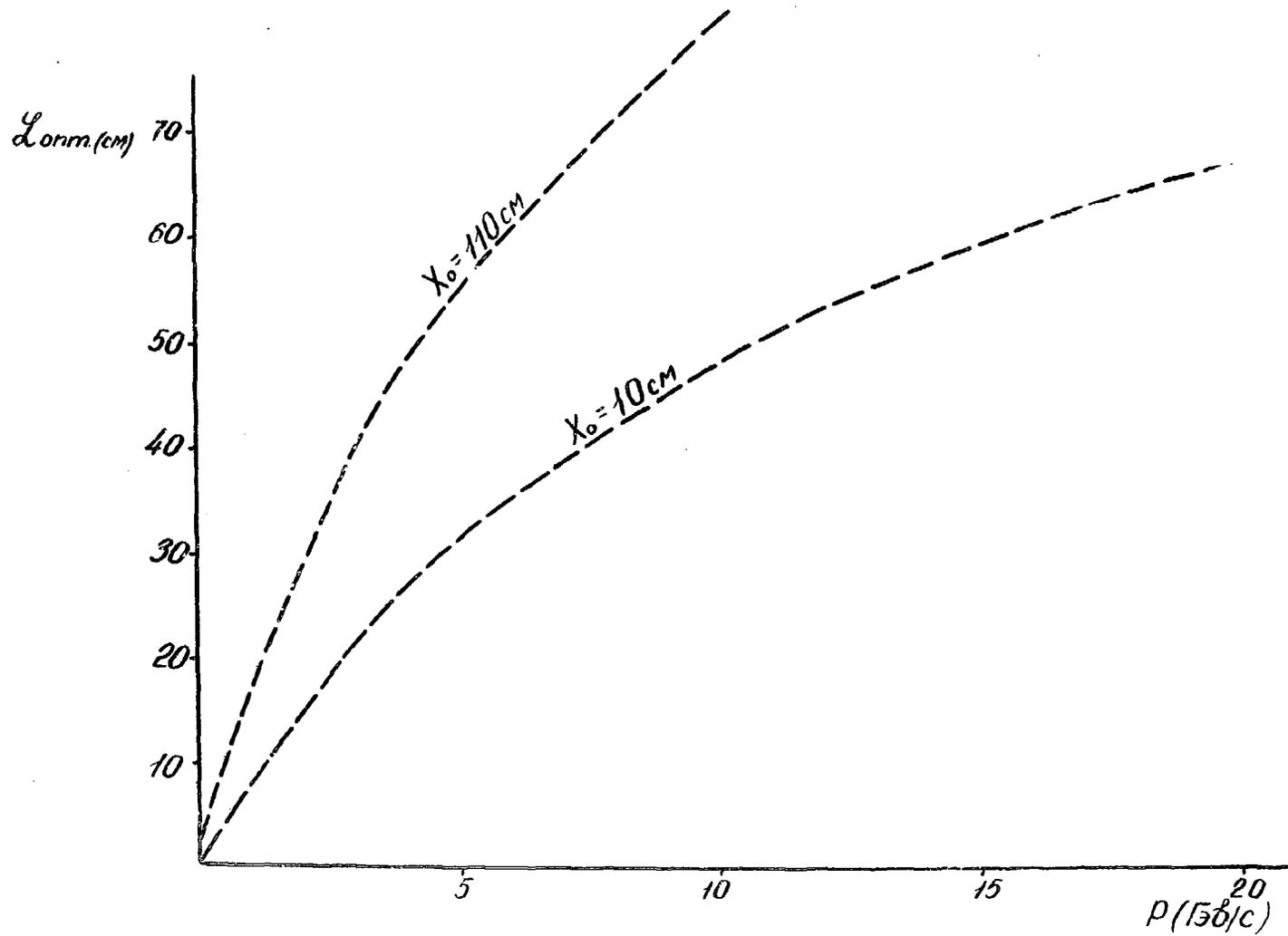


Рис. 25. Оптимальная длина измерений для азимутального угла в зависимости от импульса частицы.

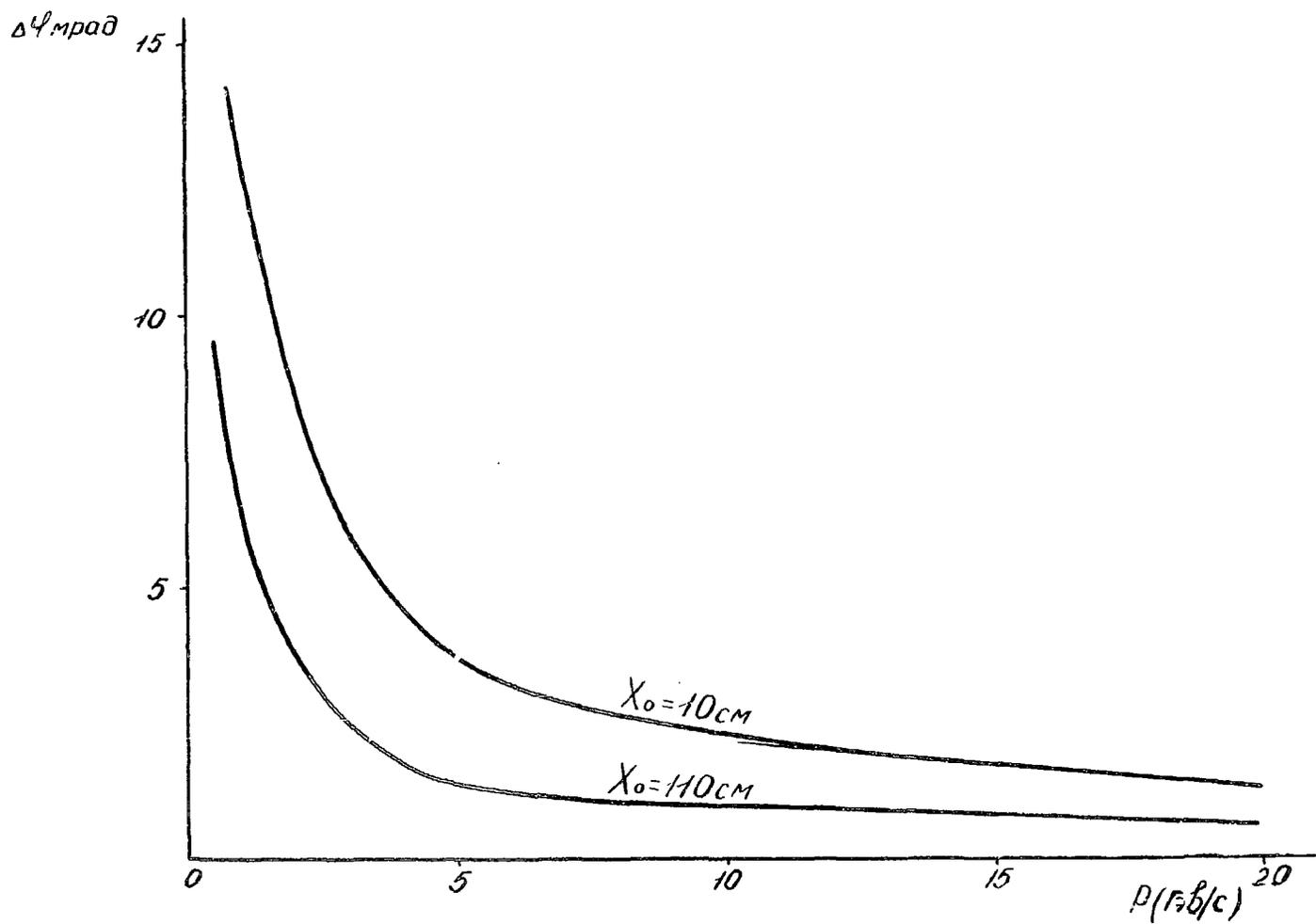


Рис. 26. Значения ошибок в определении азимутального угла при измерениях на оптимальной длине.

Ионизация. В камерах, заполненных тяжелыми жидкостями, возможны ионизационные измерения с целью идентификации заряженных частиц ^{/38/}. Измерения ионизации можно проводить как в области падения ионизирующей способности частиц с ростом энергии, так и в области так называемого "логарифмического" роста потерь энергии. Измерение плотности пузырьков с точностью 3% на треках длиной 1 м позволит разделить π^0 -мезоны и протоны в пропане в интервалах импульсов 2 + 15 Гэв/с и в бромистом фреоне - в интервале 2,5 + 30 Гэв/с ^{/38/}.

Регистрация в камере γ -квантов и π^0 -мезонов

Изучение процессов множественного рождения частиц при энергиях выше 10 Гэв обычно связано с необходимостью регистрации возможно большего числа нейтральных частиц. При энергиях ускорителя ИФВЭ около 90% γ -квантов будут вылетать под малыми углами к направлению движения первичной частицы и иметь большие пролетные длины ^{/14/}. В таблице приведены вероятности регистрации различного числа γ -квантов в камере СКАТ в зависимости от типа заполнения.

Т а б л и ц а

Заполнение	W_1	W_6	W_{12}
Ф 13В1	0,995	0,92	0,78
25% Ф13В1			
75% C_3H_8	0,97	0,83	0,68
C_3H_8	0,84	0,35	0,12

где W_1 - вероятность конверсии в камере отдельного γ -кванта;
 $W_{6,12}$ - вероятности регистрации всех шести или двенадцати γ -квантов, образовавшихся при распаде трех или шести π^0 -мезонов соответственно. Приведенные в таблице цифры рассчитаны для потенциальной длины 2 м и импульса γ -кванта 1 Гэв/с.

Определение энергии π^0 -мезонов зависит от точности определения энергии электрон-позитронных пар. Можно показать /41/, что при некоторых предположениях величина ошибки в определении импульса π^0 -мезона будет лежать в пределе 6 - 20% при импульсах 0,3 - 10 Гэв/с.

Нейтроны

При решении целого класса задач возможность детектирования нейтронов (даже самого факта вылета) играет большую роль. Нейтроны могут быть зарегистрированы в результате их взаимодействий (упругих и неупругих) с ядрами рабочей жидкости. При упругом рассеянии на водороде (пропан) имеется возможность измерить как угол вылета, так и импульс нейтрона по протону отдачи. При расчете вероятности регистрации нейтронов в камере СКАТ предполагалось, что регистрацией нейтрона считается наличие звезды или протона отдачи с пробегом 1 см. Потенциальная средняя длина пробега в камере была принята равной 1,1 м (изотропный вылет из центра камеры)*). Результаты расчетов показывают, что вероятность регистрации нейтронов в большом диапазоне энергий может быть равной 0,4.

Странные частицы

Камера СКАТ сочетает в одном приборе мишень большого размера и эффективный детектор вторичных частиц. Благодаря этим свойствам открывается возможность исследовать редкие процессы с сечениями до нескольких микробарн.

*). Согласно экстраполяции имеющихся экспериментальных данных к энергии первичных частиц при 100 Гэв/41/, большинство нейтронов будет вылетать под теми углами, где доминируют протоны при упругом π - p-рассеянии, т.е. под большими углами.

Таковыми труднонаблюдаемыми процессами, например, могут быть реакции, сопровождающиеся рождением высоковозбужденных гиперонов и К-мезонов, а также взаимодействие образовавшихся гиперонов с ядрами вещества наполнителя камеры. Расчеты показывают ^{*}), например, что количество Ω^- -гиперонов, которое можно будет наблюдать в бромистом фреоне на 200000 фотографиях при 10 первичных частицах, составляет около 100. При тех же условиях можно ожидать рождение 1500 Ξ^0 -гиперонов.

Расчет по двухтемпературной модели ^{/10/} показывает, что на протяженном пучке с импульсом 70 Гэв/с гипероны, образующиеся в P-N-взаимодействии будут иметь импульсы до 60 Гэв/с и средний импульс \bar{P} 20 Гэв/с. На пучке К-мезонов с импульсом 22-33 Гэв/с в К-P-взаимодействии средний импульс Λ^0 -гиперонов будет порядка 7-10 Гэв/с.

Распадные длины гиперонов при таких импульсах довольно велики, например, при импульсе 20 Гэв/с, Λ^0 имеет пробег 140 см, $\Xi^- \sim 80$ см, $\Xi^0 \sim 135$ см, $\Xi^+ \sim 40$ см, $\Xi^- \sim 80$ см. Если сечение взаимодействия гиперонов 30 + 40 мбарн (известное при 3 - 5 Гэв/с ^{/11/}) мало изменится при переходе к большим энергиям, то ядерные длины вещества наполнителя камеры (фреон ~ 60 см, пропан ~ 150 см) окажутся сравнимыми с распадными длинами гиперонов. Это позволит эффективно наблюдать взаимодействие гиперонов. При этом можно ожидать, что около 50% рожденных в камере гиперонов провзаимодействуют. Это открывает возможность изучения свойств гиперонов при взаимодействии с веществом.

^{*})Сечения рождения гиперонов в пучках π^\pm , P, \bar{P} , K^\pm были взяты из экспериментальных работ, выполненных в области энергий от 3 до 25 Гэв. При расчете использовалось значение эффективной рабочей длины камеры 3 м.

Нейтрино

На ускорителе ИФВЭ имеется возможность проведения нейтринных экспериментов^{/45/}. При интенсивности ускорителя 10^{12} протонов в секунду и в случае справедливости формулы Коккони^{/46/} для оценки спектров вторичных частиц (нижняя оценка) в камере СКАТ будет регистрироваться до нескольких тысяч событий в сутки (при заполнении тяжелым фреоном). Эффективный объем камеры принимался при этих расчетах равным 4 м^3 . При экспозиции 10^6 кадров можно надеяться изучить на камере ряд проблем физики нейтрино^{/45/}.

Л и т е р а т у р а

1. The 1963 NPA Seminars. The Neutrino Experiment. Preprint CERN 63-37, 1963, p. 77.
2. C.A.Ramm, L.Resegotti. Proc. Int. on Instrum. for High Energy Phys., Berkley, 1960, p. 127.
3. A.Lagarrigye, A.Rousset, P.Ranson, M.Bioch, L.Onde. Electrigue vol XLI, n. 417, 1961, p. 417.
4. А.С.Алексанян, А.И.Алиханян, М.М.Веремеев, А.М.Гальпер, В.Г.Кириллов-Угрюмов, Л.П.Котенко, Л.А.Кузин, Е.П.Кузнецов, Г.И.Мерзон. ПТЭ, № 6, 34, 1961.
5. А.В.Боголюбов, Ю.А.Будагов, А.Т.Василенко, В.П.Джелепов, Н.И.Дьяков, В.Г.Иванов, В.С.Кладницкий, В.И.Лепилов, Ю.Ф.Ломакин, В.И.Москалев, В.Б.Флягин, Т.И.Штет, П.В.Шляпников. Препринт ОИЯИ 1278, Дубна, 1963.
6. И.И.Першин, В.М.Голубчиков, Н.С.Коноплев, А.А.Никитин, Т.А.Чистякова. Препринт ИТЭФ 202, 1963.
7. М.Ф.Ломанов, А.Г.Мешковский, М.С.Хромов, В.А.Шеголев. ПТЭ № 2, 37, 1963.
8. В.Р.Рое, D.Sinclair, I.C.Vander Velde. XII Международная конференция по физике высоких энергий. т.II. Дубна, 1964, стр. 478.
9. М.П.Баландин, Н.Г.Борисов, Ван-Юн-Чан, Р.П.Кухарева, В.А.Моисеенко, В.И.Снятков, М.И.Соловьев, И.В.Чувилло. Nucl. Instrum., 20, 110, 1963.
10. Е.В.Кузнецов, А.Н.Розанов, Ю.В.Бардюков, И.Н.Виноградов, В.В.Бармин, В.М.Голубчиков, А.Г.Долголенко, Н.С.Коноплев, А.Г.Мешковский, В.А.Шебанов. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, 55, Дубна, 1969.

11. M. Ohayon, P. Petráň. Int. Conf. on Instrum. for High Energy Phys., Stanford, 1966.
12. Int. Coll. on Bubble Chambers (Heidelberg), CERN 67-26, v. 1, 1967, p. 111.
13. Е.П.Кузнецов. Школа ОИЯИ по применению ЭВМ в задачах экспериментальной физики. Препринт ОИЯИ 10-4269, Дубна, 1968.
14. А.З.Барабашев, Л.Н.Гердюков, И.А.Данильченко, Э.П.Кистенев, Е.П.Кузнецов, В.А.Кренделев, В.В.Макеев, О.И.Михайлов, С.Н.Паршикура, М.А.Самарин, В.И.Снятков, А.В.Астахов, В.А.Большаков, В.Д.Борисов, Г.А.Град, Н.И.Дойников, В.П.Муратов, В.П.Одинцов, А.В.Попкович, А.С.Смирнов, Н.С.Стрельцов, Ю.И.Фролов. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, 51, Дубна, 1969.
15. U. Camerini, W.F. Fry, C.M.M. Derric. Preprint ANL-7265, 1966.
16. Int. Coll. on Bubble Chambers (Heidelberg), preprint CERN 67-26, v. 11, 1967.
17. А.З.Барабашев, И.А.Данильченко, В.И.Ермолов, Е.П.Кузнецов, С.Н.Паршикура, Ю.Г.Рябов, М.А.Самарин, В.И.Снятков. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 208.
18. А.З.Барабашев, Е.Н.Глухов, А.Г.Костин, Е.П.Кузнецов, О.И.Михайлов, С.Н.Паршикура, М.А.Самарин, В.И.Снятков. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 85.
19. Е.П.Кузнецов, О.И.Михайлов, Ю.К.Румянцева, В.И.Снятков, М.З.Шлякин. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 70.
20. А.З.Барабашев, В.А.Кренделев, Е.П.Кузнецов, В.В.Макеев, О.И.Михайлов, С.Н.Паршикура, В.Г.Рыбаков, М.А.Самарин, В.И.Снятков, В.Я.Углеков. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 204.
21. В.А.Алексеев, Г.А.Град, Е.П.Кузнецов, О.И.Михайлов, А.С.Смирнов, В.И.Снятков. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер, ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 74.
22. В.Б.Борисов, Г.А.Град, Б.Е.Грицков, Н.И.Дойников, Е.П.Кузнецов, Н.А.Моносзон, В.П.Муратов, В.А.Петров, В.Б.Рождественский, О.Б.Сенченко, А.С.Симаков, В.И.Снятков, Н.С.Стрельцов. Материалы рабочего совещания по технике пузырьковых камер. ОИЯИ 13-4466, Дубна, 1969, стр. 125.
23. G.N. Trilling. Preprint UCRL 16000.
24. Л.Н.Гердюков, И.А.Данильченко, Е.П.Кузнецов, А.В.Самойлов. Препринт ИФВЭ 68-37-К, Серпухов, 1968.
25. Int. Coll. on Bubble Chambers (Heidelberg), CERN 67-26, v. 1, 1967, p. 135.
26. C.A. Ramm, Ch. Scherer. Int. Coll. on Bubble Chambers (Heidelberg), CERN 67-26, v. 11, 1967, p. 467.

27. И.А.Данильченко, Е.П.Кузнецов, Е.А.Паршин. Препринт ИФВЭ 68-24-К, Серпухов, 1968.
28. А.М.Тищенко, Б.М.Лебедев, М.Д.Штерк, Б.Я.Климушев, А.А.Федорин, В.И.Егорычев. Расчет и проектирование импульсных устройств на транзисторах М., " Сов. радио", 1964.
29. R.Dahl, G.Parzen, R.S.Christian. IEEE Transacattions on Nuclear Science NS-12, No. 3, 1965, p. 408.
30. I.H. Dorst. IEEE Transacattions on Nuclear Science NS-12, No.3, 1965, p.412.
31. A.M.Winslow. Proc. Int. Symp. on Megnet. Stanford, 1965, p. 170.
32. I.S.Colonias, I.H.Dorst. Proc.Int.Symp. on Megnet. Stanford, 1965, p. 188.
33. Н.И.Дойников, А.С.Симаков. Совещание по формированию пучков заряженных частиц высоких энергий. Препринт ОИЯИ 9-3582, Дубна, 1967.
34. В.Д.Борисов, Г.А.Град, Б.Е.Гришков, Н.И.Дойников, Е.П.Кузнецов, В.П.Муратов, В.А.Петров, О.Б.Сенченко, А.С.Симаков, В.И.Снятков, Н.С.Стрельцов. Электромагнит большой серпуховской пузырьковой камеры. НИИЭФА, Ленинград, 1968.
35. Ю.А.Александров, Г.С.Воронов, В.И.Горбунков, Н.Б.Делоне, Ю.М.Нечаев. Пузырьковые камеры. М., "Госатомиздат", 1963.
36. A.Leveque. Материалы школы ОИЯИ по применению ЭВМ в задачах экспериментальной физики. Алушта, 5-19 мая 1969; Препринт ОИЯИ 10-4319, Дубна, 1968, стр. 25.
37. M.Derric. Preprint ANL 7265, 1966.
38. Э.П.Кистенев, Е.П.Кузнецов, Ю.Г.Рябов. Препринт ИФВЭ 68-18-К, Серпухов, 1968.
39. P.Musset. Int. Coll. on Buble Chambers., CERN 67-26, v. 1, 1967, p. 73.
40. C.M.Fisher. Int. Coll. on Bubble Chambers., CERN 67-26, v. 1, 1967, p. 25.
41. H.Leutz. Int. Coll. on Bubble Chambers, CERN 67-26, v. 1., 1967, p. 49.
42. В.Г.Гришин, Э.П.Кистенев, Л.И.Лепилова, Му-Цзюнь. Препринт ОИЯИ 2277, Дубна, 1965.
43. T.V.Wayland and T.Bowen. Nuovo Cim., 48, 3, 1967.
44. D.Bassano, C.Y.Chang, M.Goldberger. Phys. Rev., 160, 5, 1967.
45. В.Н.Болотов, Л.Н.Гердюков, С.С.Герштейн, П.А.Горичев, И.А.Данильченко, М.Н.Девишева, М.И.Девишев, С.П.Денисов, Э.П.Кистенев, Е.П.Кузнецов, В.Н.Лебедев, В.В.Макеев, С.Н.Паршикура, А.В.Самойлов, В.А.Титов, В.Н.Фоломешкин, И.Р.Ямпольский. Препринт ИФВЭ 68-56-К, Серпухов, 1968.
46. G.Cocconi, L.T.Koester, D.H.Perkins. UCRL 100022.
47. N.Galjaev, V.Kotov, A.Samollov, V.Vaghin, P.Beruard, D.Lazard, P.Lazeyras, H.Lengeler. Preprint CERN/D Ph. 11/SEP 64-4, 1969.

48. В.Н.Одинцов, О.В.Семенов, Ю.В.Спирченко (НИИЭФА), Е.П.Кузнецов, В.И.Снятков. Препринт ИФВЭ 70-9, Серпухов, 1970.

Рукопись поступила в издательскую группу
11 мая 1971 года.

Цена 30 коп.

Издательская группа И Ф В Э
Заказ 384. Тираж 290. 2,5 уч.-изд.л.Т-06572.
Редактор М.Л.Фоломешкина. Июль 1971.