

4914/2-79



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

СЗ44.322

К-43

3/12-79

13 - 12421

В.И.Киреев, В.Т.Толмачев, Ю.В.Хренов

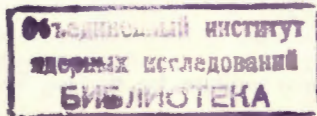
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ПУЗЫРЬКОВОЙ  
ВОДОРОДНОЙ КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"

1979

13 - 12421

В.И.Киреев, В.Т.Толмачев, Ю.В.Хренов

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ПУЗЫРЬКОВОЙ  
ВОДОРОДНОЙ КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"



Киреев В.И., Толмачев В.Т., Хренов Ю.В. 13 - 12421

Система автоматического регулирования рабочих параметров пузырьковой водородной камеры "Людмила"

Проведено исследование пузырьковой камеры как объекта регулирования по температуре и давлению рабочей жидкости. Экспериментально получены динамические характеристики камеры по различным каналам регулирующего воздействия. Обоснован выбор информационной схемы как основы для построения системы регулирования. Подобраны регуляторы и схемы их включения для различных регулирующих каналов с учетом необходимой точности регулирования. На основе накопленного при создании системы регулирования опыта даны практические рекомендации по настройке и регулировке как отдельных приборов, так и системы в целом.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Kireev V.I., Tolmachev V.T., Khrenov Yu.V. 13 - 12421

Automatic Control System for Operating Parameters of "Lyudmila" Hydrogen Bubble Chamber

A bubble chamber was investigated as an object of control over temperature and pressure of a working liquid. Its dynamical characteristics are obtained for different channels of control. Controllers and their wiring diagrams for different control channels taking into account necessary control precision have been selected. Practical recommendations on adjustment and control for both separate units and the system as a whole are given.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

После проведения исследований различных типов пневматических регуляторов и выяснения их применимости на таких объектах, как пузырьковые камеры /1/, были проведены работы по созданию автоматической системы регулирования температуры и давления рабочей жидкости пузырьковой камеры, а также некоторых параметров ожижителей В0-2М.

В предлагаемой работе дается описание созданной системы, приводятся ее характеристики, опыт эксплуатации и методика настройки.

#### 1. Объект регулирования

Пузырьковая камера как объект регулирования в данной работе рассматривается с точки зрения поддержания оптимальной температуры рабочей жидкости  $T$  и ее давления  $P$ .

Объект регулирования представляет собой теплоизолированный сосуд, снабженный теплообменниками, в котором находится рабочее тело - жидкий водород. В процессе работы на него оказываются различного рода воздействия как со стороны других систем комплекса, так и со стороны окружающей среды. Одни из таких воздействий необходимы для осуществления рабочего цикла. К ним относятся: расширение-сжатие рабочего тела; воздействие хладагента, протекающего по теплообменникам, и некоторые другие, менее значительные. Иные не являются обязательными для осуществления рабочего цикла, и могут быть отнесены к помехам. Наиболее значительные из них - колебания температуры и влажности окружающей среды, состояние теплоизоляции. К помехам относятся также воздействия, поступающие по каналам необходимых воздействий, но являющиеся результатом неустойчивости последних, а именно: неустойчивость степени расширения рабочего тела, неустойчивость расхода и температуры хладагента, являющиеся, в свою очередь, следствием неустойчивости других параметров, и т.д. При всем многообразии воздействий и их энергетической природы на рабочее тело в конечном итоге оказывается тепловое

воздействие. Это обстоятельство позволяет осуществлять регулирование параметров рабочего тела /Р и Т/ с помощью теплообменников, что существенным образом упрощает работу оператора при ручном регулировании, а также позволяет упростить информационную схему при автоматическом регулировании.

Характеризуя объект, следует отметить его несимметричность относительно воздействий по каналу регулирования, т.е. то, что время переходного процесса при увеличении температуры существенно меньше, чем при ее понижении. Это связано с расходом энергии хладагента на компенсацию теплопритока к рабочей жидкости и понижением ее энтальпии. При повышении температуры участие теплообменника в принципе вообще не обязательно.

Далее приходится учитывать то, что динамический теплоприток, обусловленный рабочим циклом, имеет дискретный характер, в отличие от статического теплопритока. Реально теплообменники, снимающие динамический теплоприток, в таком режиме работать не могут. Однако благодаря значительной инерционности рабочей жидкости по температуре оказывается возможным регулирование по среднему значению теплопритока с достаточной для практических целей точностью.

Для выбора типа регуляторов, схемы регулирования, а также для расчета оптимальных параметров настройки регуляторов необходимы динамические характеристики объекта. Пути получения таких характеристик могут быть различными. Нами выбран экспериментальный как наиболее точный. В зависимости от удобства получения они снимались в двух видах: переходных и частотных. Эти характеристики приведены на рис. 1-4.

## 2. Выбор регуляторов и схем регулирования

Основываясь на анализе полученных динамических характеристик, а также на результатах работы /1/ для всех контуров регулирования, кроме контура регулирования давления, мы выбрали ПИ-регуляторы типов ПРЗ.31 и ПРЗ.32, для контура давления - ПИД-регулятор типа ПРЗ.35.

Наш опыт, а также опыт, накопленный в промышленности /2/, показывает, что для достижения высокого качества процесса регулирования не меньшее значение, чем выбор закона регулирования, имеет выбор информационной схемы. Получение информации о давлении рабочего тела не вызывает трудностей, поскольку этот параметр однозначен. Иное дело с температурой. Этот параметр является распределенным и тут можно го-

Рис. 1. Переходный процесс температуры стекла при ступенчатом воздействии:  $P_{вх.}$  - входной сигнал /давление в исполнительном механизме VII теплообменника над стеклом /см.рис. 6/;  $T_{ст.}$  - температура стекла /контролируется конденсационным термометром IV, см. рис. 6/,  $d$  - амплитуда входного воздействия,  $d = 1,5 \text{ кг/см}^2$ .

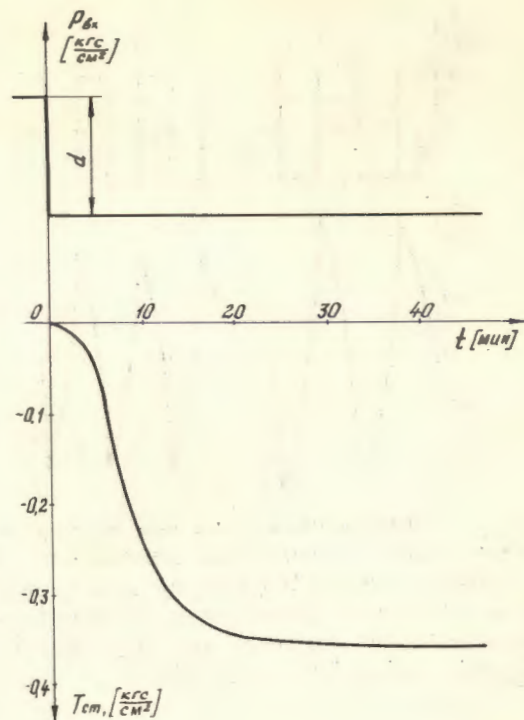
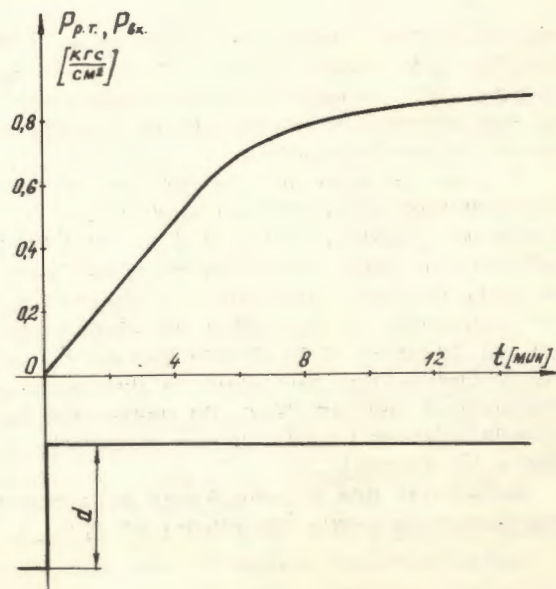


Рис. 2. Переходный процесс давления рабочего тела в камере:  $P_{вх.}$  - входной сигнал /давление в исполнительном механизме VII теплообменника над поршнем, см.рис.6/,  $P_{р.т.}$  - давление рабочего тела;  $d$  - амплитуда входного сигнала,  $d = 0,2 \text{ кг/см}^2$ .



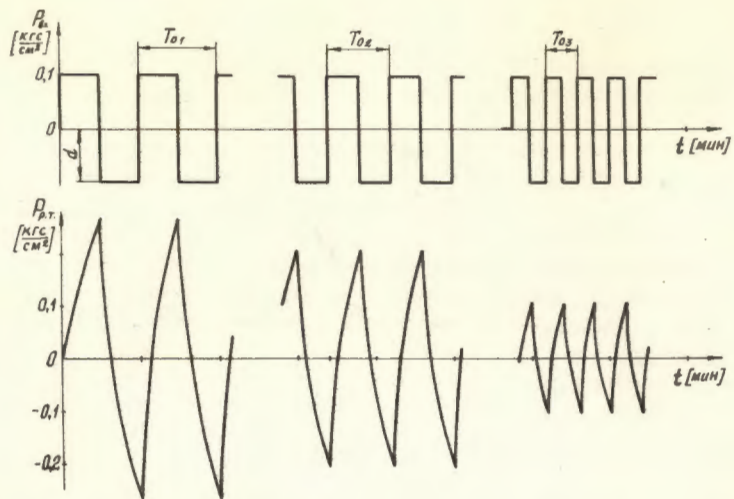


Рис. 3. Колебания выхода при прямоугольном периодическом воздействии, позволяющие рассчитать частотную характеристику объекта регулирования по давлению рабочего тела:  $P_{вх}$  - входной сигнал /давление в исполнительном механизме VII теплообменника над поршнем, см. рис. 6/;  $T_0$  - период колебания:  $T_{01} = 600$  с;  $T_{02} = 480$  с;  $T_{03} = 240$  с.

ворить о поле температур. Контроль температурного поля и обработка информации о нем - задача не из простых. По этой причине для формирования регулирующего воздействия выбраны три опорные точки контроля температуры в зоне расположения теплообменников.

В ряде случаев для достижения необходимого качества регулирования недостаточно информации о текущих значениях основных параметров /P и T/. Необходимо введение дополнительной. Такой информацией может быть информация о параметрах, которые изменяются с меньшей постоянной времени, чем основные. По контурам регулирования температуры в качестве таковой использован параметр, характеризующий режим теплообменников. Для контура регулирования давления такая информация неприемлема по названной выше причине. Другой, удовлетворяющей необходимым условиям, в данном случае выбрать не удалось.

Выбранная для формирования регулирующих воздействий информационная схема приведена на рис. 5.

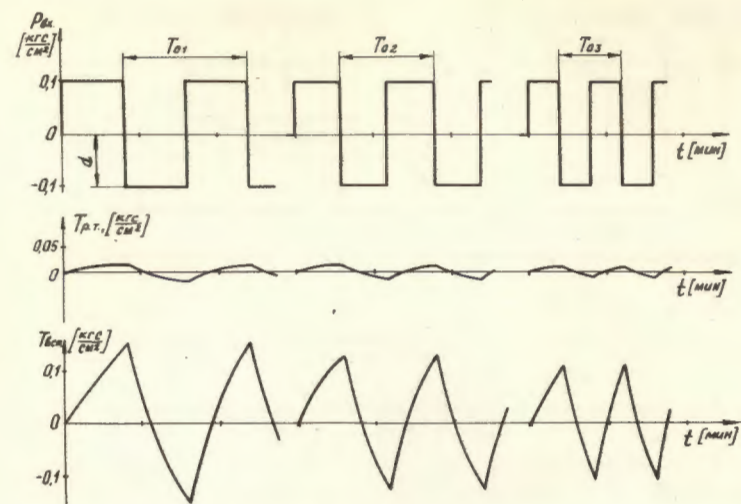


Рис. 4. Колебания выхода при прямоугольном периодическом воздействии, позволяющие рассчитать частотные характеристики объекта регулирования по температуре рабочего тела и вспомогательному регулируемому параметру:  $P_{вх}$  - входной сигнал /давление в исполнительном механизме VII теплообменника горловины, см. рис. 6/;  $T_{р.т.}$  - температура рабочего тела /контролируется конденсационным термометром IV, см. рис. 6/;  $T_{всп.}$  - вспомогательный регулируемый параметр, характеризующий расход хладагента через теплообменник горловины /контролируется конденсационным термометром IV после теплообменника горловины, см. рис. 6/;  $T_{01} = 960$  с;  $T_{02} = 720$  с;  $T_{03} = 480$  с.

На основе приведенной информационной схемы и требуемого качества процесса регулирования применены: одноконтурная схема регулирования давления рабочего тела, одноконтурная схема регулирования температуры стекла, каскадно-двухконтурные схемы регулирования температуры рабочего тела в горловине камеры и под ее стеклом.

Составляющие элементы, в основном, типичны для всех контуров и охарактеризованы в работе <sup>1/</sup>.

В процессе отладки схемы для стабилизации рабочей точки дифманометров к опорным объемам последних подключены буферные емкости, помещенные в жидкий азот, кипящий при атмосферном давлении.

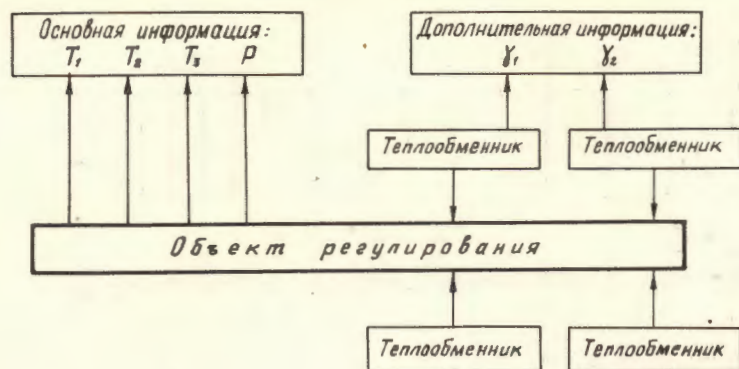


Рис. 5. Информационная схема системы регулирования:  $T_1$  - температура стекла;  $T_2$  - температура рабочего тела в горловине камеры;  $T_3$  - температура рабочего тела в фотографируемом объеме камеры;  $P$  - давление рабочего тела в камере;  $y_1$  и  $y_2$  - вспомогательные параметры, характеризующие режимы теплообменников горловины и под стеклом, соответственно.

Для питания пневмоприборов применена схема с общим стабилизатором квазистатического типа, что значительно улучшает качество стабилизации давления питания и упрощает обслуживание системы /3/.

На начальном этапе нами был создан экспериментальный стенд /рис. 6/, позволяющий производить качественную стабилизацию рабочих параметров камеры, производить испытания в натурных условиях различных схем и приборов, но сложный из-за большого количества арматуры, оборудования, трубных разводов, и поэтому неудобный для обслуживания во время сеанса.

С получением приборов контроля пневматических самопишущих типа ПВ10.2П со станциями управления, обеспечивающими возможность трехрежимного ведения процесса: ручного управления, автоматического регулирования и автоматического программного регулирования, схема значительно упростилась /рис. 7/, а возможности ее увеличились.

Упрощение схемы происходит вследствие того, что данный прибор, кроме станции управления, включает в себя пневматическое самопишущее устройство с непрерывной записью двух параметров, контролирует давление задания и давление на исполнительном механизме, имеет гнездо для местной установки

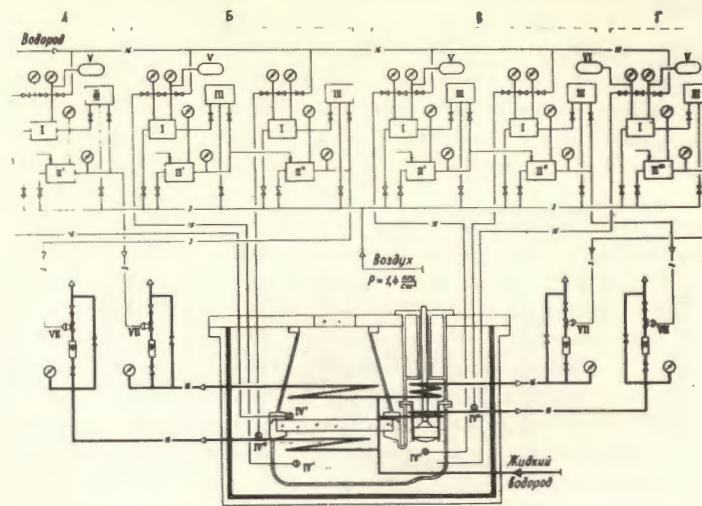


Рис. 6. Монтажная схема части экспериментального стенда с объектом и органами регулирования: 1 - дифманометр ДС-П4-1; II' - регулятор ПР3.32; II'' - регулятор ПР3.31; II''' - регулятор ПР3.35; III - регистрирующий прибор РПВ4.33; IV' и IV'' - конденсационные термометры; V - буферная емкость, подключенная к опорной камере дифманометра; VI - емкость с дросселем, сглаживающая пульсации давления в камере, вызванные работой механизма расширения; VII - исполнительный механизм и регулирующий орган; 3 - воздушные линии; 16 - водородные линии; А - одноконтурная схема регулирования температуры стекла; Б и В - каскадно-двухконтурные схемы регулирования температуры рабочего тела под стеклом и в горловине камеры, соответственно; Г - одноконтурная схема регулирования давления рабочего тела.

регулятора. Этим исключаются работы по большому количеству трубных разводов, монтажу манометров, вентиля и гнезд регуляторов.

В целях удобства эксплуатации было бы целесообразным разместить пульт с приборами пневмоавтоматики непосредственно на рабочем месте оператора рядом с камерой. Но при работе установки вблизи нее возникает вибрация и существует сильное магнитное поле, что отрицательно влияет на работу приборов пневмоавтоматики и на качество стабилизации. В зависимости от этих условий экспериментальный стенд установ-

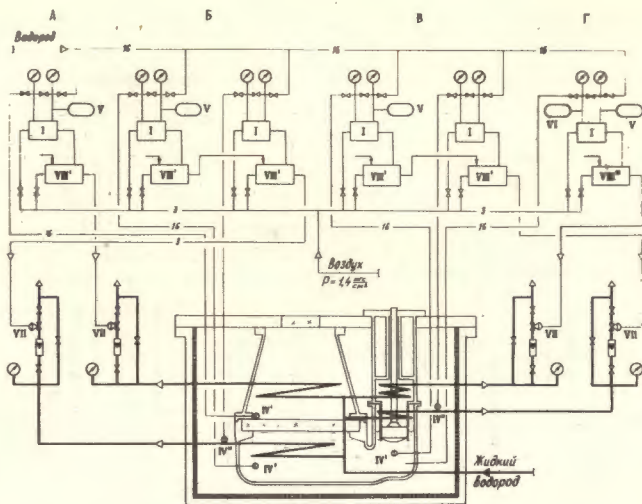


Рис. 7. Схема системы регулирования параметров рабочего тела камеры: VIII' - прибор контроля пневматический самопишущий со станцией управления ПВ10.2П с регулятором ПР3.31; VIII'' - прибор контроля пневматический самопишущий со станцией управления ПВ10.2П с регулятором ПР3.35. Остальные обозначения те же, что и на рис. 6.

ливается на максимально возможном расстоянии от камеры. Исполнительные механизмы смонтированы непосредственно на пульте термостатирования. Для их изготовления использованы немагнитные материалы.

После монтажа система стабилизации была подвергнута наладке и регулировке:

а/ дифманометры отрегулированы таким образом, что при нулевом перепаде давлений камер давление выходного сигнала устанавливается  $0,6 \text{ кг/см}^2$ . Это позволяет использовать дифманометры в качестве преобразователей давления при изменении входного сигнала как в плюсовую, так и в минусовую сторону. Коэффициент усиления каждого дифманометра установлен:  $K = 1$ ;

б/ регуляторы проверялись на работоспособность, а также на требуемые направления изменения давления на выходе регулятора при увеличении или уменьшении регулируемого параметра, путем соответствующей установки положения диска изменения полярности;

в/ в приборах типа ПВ10.2П изменена разводка линий питания.

К пневмодвигателям лентопротяжных механизмов подведены отдельные линии от коллектора питания  $P = 1,4 \text{ кг/см}^2$ , так как при осуществленном в приборе монтаже пневмодвигатель работал нестабильно из-за резкого колебания давления питания перед ним при работе регулятора и показывающих устройств;

г/ в исполнительных механизмах регулировалась сила натяжения пружины и проходное сечение регулирующего органа. Сила натяжения пружины подбиралась таким образом, чтобы мембрана находилась в верхнем положении при давлении на ней  $0,2 \text{ кг/см}^2$  и в нижнем положении при давлении  $1,0 \text{ кг/см}^2$ . Длины штоков исполнительных механизмов подобраны так, чтобы при максимальном давлении на мембрану проходное сечение регулирующего органа не могло перекрыться полностью, так что при работе системы стабилизации не могут быть полностью отключены теплообменники системы термостатирования.

Включение систем пневмоавтоматики в работу производится отдельными контурами последовательно после того, как ручной регулировкой предварительно установлен заданный режим работы камеры. Вначале включают в работу систему регулирования температуры стекла, затем системы регулирования температуры в горловине и под стеклом камеры, и, в последнюю очередь, систему регулирования давления рабочего тела камеры.

Последовательность операций при включении одноконтурной системы следующая:

- подача водорода в камеры дифманометра до давления в конденсационном термометре, разобщение камер дифманометра и подключение измерительной камеры к конденсационному термометру;
- подача питания к дифманометру;
- установка параметров настройки регулятора в соответствии с расчетными;
- подача питания на приборы;
- включение станции управления на ручное регулирование;
- открытие полностью вентилях на линии с исполнительным механизмом;
- ручное регулирование с выводом регулируемого параметра на заданную величину /подбор задания/;
- переход на автоматическое регулирование;
- пуск пневмодвигателя и настройка системы записи параметров.

Включение каскадно-двухконтурной схемы производится аналогично. Дополнительно:

- второй контур подключается к первому станцией управления в режиме автоматического программирования;
- задание выставляется на первом контуре.

В заключение нам приятно выразить признательность администрации отдела за внимание к работе. Авторы благодарят сотрудников НЭОВК В.И.Спирякина, В.И.Сафарова, В.П.Сидорова, Г.С.Фролова и сотрудников СНЭО Г.В.Гусарова и И.С.Соковнина за участие в монтаже системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Толмачев В.Т., Хренов Ю.В. ОИЯИ, 13-9166, Дубна, 1975.
2. Ротач В.Л. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. "Энергия", М., 1973.
3. "Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления". Сборник статей, вып. 1. "Машиностроение", М., 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 апреля 1979 года.