

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

4392/83

22/8-83

10-83-357

Н.Н.Агапов, Н.П.Базылева, В.М.Слепнев, И.Турзо

МАТОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
БОЛЬШИМ ГЕЛИЕВЫМ ОЖИЖИТЕЛЕМ

1983

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Матобеспечение написано на ассемблере для системы MISKA<sup>1/</sup>, которая создана на базе микропроцессора Intel 8080.

Аппаратурная часть автоматизированной системы управления /АСУ/ криогенно-гелиевого ожигителя /КГУ 1600/4,5/ описана в<sup>1/2/</sup>. Для работы АСУ было создано необходимое матобеспечение объемом 28,5 Кбайт. В матобеспечение входят следующие программы системного типа:

- |   |              |
|---|--------------|
| 1/ набор арифметических подпрограмм /НАП/ <sup>1/</sup>                                   | - 4 Кбайт,   |
| 2/ набор подпрограмм для обслуживания интерфейса цветного ТВ монитора /ЦТМ/ <sup>3/</sup> | - 4 Кбайт,   |
| 3/ программа линейной регрессии /ЛР/  | - 1,5 Кбайт, |
| 4/ программа проверки памяти /ПП/   | - 1 Кбайт.   |

Перечисленные программы предназначены для общего пользования. Наборы подпрограмм 1/, 2/ и программа 3/ входят в системы пользовательских программ различного назначения, а программа 4/ является автономной и служит для наладки и проверки аппаратуры, для управления которой используется система MISKA, программа хранится на перфоленте и загружается в микро ЭВМ с помощью монитора.

Пакет программ пользователя, которые специально написаны для АСУ КГУ-1660/4,5, содержит:

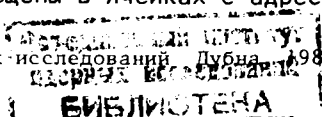
- |   |              |
|---|--------------|
| 1/ программу сбора данных /СД/                              | - 3 Кбайт,   |
| 2/ программу обработки данных и вычисления результатов /ОВ/ | - 2,5 Кбайт, |
| 3/ программу представления результатов /ПР/                 | - 5 Кбайт,   |
| 4/ программу диалога /Д/                                    | - 4,4 Кбайт, |
| 5/ программу управления установкой /У/                      | - 3 Кбайт.   |

Все программы системного типа и некоторые программы пользователя рассчитывают на использование подпрограммы монитора<sup>4/</sup>.

## 2. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ СИСТЕМНОГО ТИПА

### 2.1. Набор арифметических подпрограмм /НАП/

За основу был взят набор подпрограмм, описанный в<sup>1/</sup>. В новой версии НАП был полностью изменен системный подход к построению набора. НАП расположен в ЗУ микро-ЭВМ в зоне от адреса E000 по EFFF /непосредственно перед программой-монитором/, рабочие регистры и буфера размещены в ячейках с адресами 0050+0120.



Подпрограммы ввода и вывода пользуются исключительно подпрограммами монитора для обслуживания периферийных устройств. Используемый формат записи чисел позволяет оперировать числами диапазона  $10^{-37} \leq Z \leq 10^{+37}$  с точностью до 4 десятичных знаков. Все метки для вызова подпрограмм НАП расположены в его начале с целью уменьшения возможности ошибочного определения метки пользователем. Новая версия построена так, что она дает возможность производить формирование специальных НАП путем отбора их из основного с целью экономии объема ЗУ. Организация новой версии позволяет также хранить НАП в ЗУ типа ПЗУ, что повышает надежность, помехоустойчивость и разрешает повторный запуск НАП при отключении питания.

## 2.2. Набор подпрограмм для обслуживания интерфейса монитора цветного телевизора /ЦТМ/

Интерфейс цветного телемонитора типа ИТВ-574 позволяет отображать информацию на экране телевизионного монитора в графическом и алфавитно-цифровом виде<sup>/3/</sup>. С помощью созданного пакета подпрограмм можно изобразить на экране линии /сплошные, пунктирные, штрих-пунктирные/, прямоугольники, треугольники, т.е. те элементы, которые необходимы для построения гистограмм, блок-схем. Имеется также подпрограмма, позволяющая работать с ЦТМ в режиме алфавитно-цифрового дисплея. Набор занимает 4 Кбайт памяти

## 2.3. Линейная регрессия /ЛР/

Программа ЛР введена для определения соответствующих коэффициентов преобразователей сопротивление-период<sup>/2/</sup>. Она работает автономно и использует НАП, подпрограммы монитора для ввода-вывода данных и частично программу СД. Вначале пользователем определяется число точек, определяющих прямую  $n = /2 \div 9/$ , коэффициент усреднения для измеряемого параметра  $N = /1 \div 127/$  и номер измерительного канала /1-32/. После ввода определенного количества  $n$  величин  $R$  /сопротивление в комах/ программа автоматически измеряет соответствующие величины  $T$  /период в секундах/ и по формулам /1/, /2/ вычисляет коэффициенты  $AN$ ,  $BN$ , которые хранятся в ячейках с определенными адресами ОЗУ.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n T_i R_i - \frac{(\sum_{i=1}^n R_i)(\sum_{i=1}^n T_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n R_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n R_i)^2}{n}}; \quad B = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - A \left(\frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}\right)}{n} \quad /1/$$

$$AN = \frac{A}{N}; \quad BN = \frac{B}{N} \quad /2/$$

$$T = f(R) = AN \cdot R + BN \quad /3/$$

Программа вызывается посредством диалога Д в начале измерений. В случае, если не нужно менять коэффициенты в уравнении /3/, можно непосредственно запустить программы СД, ОВ и т.д. /см. ниже/.

## 2.4. Программа проверки памяти /ПП/

Данная программа позволяет выявить ошибки в блоках памяти. Опыт работы с микро-ЭВМ MISKA показывает, что в блоках памяти наиболее часто встречаются неисправности трех типов:

- 1/ ошибки в монтаже блоков /замыкания, разрывы в проводниках печатной платы/;
- 2/ неисправности в микросхемах памяти /в основном внутренние замыкания/;
- 3/ динамические ошибки /непродолжительное время хранения информации/.

Работа программы начинается с диалога, в котором задаются начальный и конечный адреса проверяемой памяти. Алгоритм работы можно разбить на несколько шагов:

- 1/ Запись шахматных кодов: ААН, 55Н,...
- 2/ 1-я проверка записанных кодов на истинность.
- 3/ Временная пауза ~20 с.
- 4/ 2-я проверка на истинность записанных в п.1 кодов и перезапись их на дополнительные.
- 5/ 3-я проверка записанных кодов на истинность.
- 6/ Временная пауза ~20 с.
- 7/ 4-я проверка записанных кодов на истинность.

Если в ходе проверок не обнаружено ошибок, то программа текстом на дисплее информирует, что блок исправен, и цикл повторяется сначала.

Если обнаружена ошибка в ходе проверок /1,2,3,4/, то программа информирует, на каком адресе обнаружена ошибка, печатает на консоли записанное и прочитанное содержимое ячейки памяти и управление передается монитору.

Если программа обнаружила ошибку, но прочитанные и записанные данные совпадают, то это свидетельствует о нарушении временной структуры цикла чтения памяти. При исправной работе один цикл проверки 4К адресов памяти длится около 45 с.

### 3. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ СБОРА, ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ КГУ-1600/4,5/

#### 3.1. Программа сбора данных /СД/

Данная программа обеспечивает сбор данных с преобразователей датчиков установки, временную последовательность ее работы и вызов программ управления. Программа генерирует главным образом команды КАМАК типа СНАФ и состоит из нескольких подпрограмм, которые вызываются через систему прерываний микро-ЭВМ. Структура программы полностью определена аппаратурой КАМАК, которую она обслуживает, и алгоритм ее работы описан в /2/.

Цикл работы при граничных измеряемых величинах составляет:

- а/ при измерении оборотов - 300 мс/канал,
- б/ при измерении уровней жидкостей - 100 мс/канал,
- в/ при измерении температуры - 10 мс/канал.

Временные параметры определяются в основном обслуживаемой аппаратурой /время переключения мультиплексора, время преобразования АЦП и т.д./.

#### 3.2. Программа обработки данных и вычисления результатов /ОВ/

Исходные данные программа получает от программы СД. Обработываются три типа величин:

Обороты, которые прямо пропорциональны двоичному числу на выходе ВЦП и вычисляются по формуле

$$n = \frac{N \cdot 1,5 \cdot 10^9}{n_{\text{изм.}}} / \text{об./мин./}, \quad /4/$$

где  $n_{\text{изм.}}$  - двоичный код числа на выходе ВЦП;  $N$  - число периодов работы ВЦП, за время которых происходит усреднение.

Уровни жидкого азота или гелия в разных местах ожигителя, определяющиеся напряжением на выходе уровнемеров и вычисляемые по формуле

$$U = \frac{U_{\text{изм.}} \cdot 100}{U_{\text{макс.}}} (\%), \quad /5/$$

где  $U_{\text{изм.}}$  - напряжение, измеренное АЦП посредством СД,  $U_{\text{макс.}}$  - величина, соответствующая максимальному уровню.

Температура в разных местах ожигителя, измеряемая в пределах 300-4,2 К и пропорциональная длине временного интервала на выходе преобразователей сопротивление-период. Сигнал из преобразователей поступает на ВЦП, на выходе которого получают входные данные для программы ОВ. Программа вначале определяет ве-

личину сопротивления, используя коэффициенты  $\Delta N$  и  $B_N$ , по формуле

$$R = \frac{T - B_N}{\Delta N} / \text{Ом./}, \quad /6/$$

$T$  - длительность временного интервала.

Затем определяется температура  $T$  /К/ с помощью методики, описанной в /5/, с той разницей, что при ее вычислении используется единая формула /7/ для всего диапазона 300-4,2 К при сохранении точности пересчета <1% во всем диапазоне и ~0,25% в области гелиевых температур.

$$T = \sum_{k=0}^4 C_k (R_0 / R)^k, \quad /7/$$

где  $R_0$  - нормировочное сопротивление,  $R_0 = 1000 \text{ Ом}$ ;  $R$  - сопротивление, получаемое из /4/;  $C_k$  - коэффициенты, рассчитанные на основе калибровочной зависимости датчика  $R = f(T)$  методом наименьших квадратов с точностью до четырех значащих цифр.

#### 3.3. Представление результатов оператору /ПП/

Результаты измерений представляются оператору в виде таблицы на экране консоли или ТВ дисплея. Полная информация на экране обновляется один раз за ~20 с, что достаточно в стационарном режиме установки. При изменении ее режима нужно более тщательно следить за изменением определенных параметров установки. Для этого с помощью диалога Д можно выделить нужную часть таблицы. В случае выделения оборотов или уровней обновление информации будет происходить через 2,6 с, а в случае выделения температур - через ~15 с.

Таблицу с экрана дисплея можно вывести на цифропечать /ДЗМ-180/ нажатием клавиш П и CRLF.

Для более наглядного представления некоторых величин служит цветной ТВ монитор, куда можно выводить измеряемые величины в виде гистограмм /например, зависимость давления от времени/. Подпрограмма гистограммирования отображает текущее значение давления и обеспечивает следующие возможности:

- автоматический выбор области значений, в которой происходит изменение давления,
- изменение цвета гистограммы при завершении очередного цикла отображения /для различения истории процесса и его текущих значений/.

Для наглядного представления состояния установки на экран телемонитора выводится цветная блок-схема, на которой изменением цвета показывается текущее состояние КГУ. Программа обслуживает

аппаратуру, измеряющую текущее и начальное время, и его значение в формате "день, час, минута" выводится на консоль ЭВМ.

### 3.4. Программы управления установкой

В процессе управления установкой требуется автоматическое регулирование многих различных по характеру параметров: давления, объема газгольдера, уровней жидкого азота и гелия и др. Однако все разнообразие программ управления можно свести к трем основным типам.

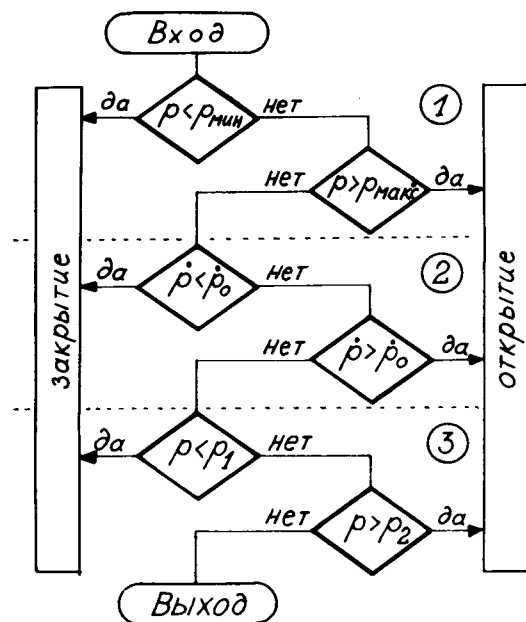
К первому относятся программы управления по принципу жесткой обратной связи<sup>6/</sup>, когда положение регулирующего органа /степень открытия/ находится в соответствии с текущим значением регулируемого параметра. Такие программы применяются, если разность значений регулируемой величины в начале и конце переходного процесса может находиться в достаточно широких пределах и этот процесс допустим в виде затухающих колебаний. По принципу жесткой обратной связи управляются клапаны установки. Нужная степень открытия клапанов обеспечивается цикличностью их работы.

Ко второму типу программ управления относятся более сложные программы, для которых жестко задан порядок их выполнения. Они применяются, если к качеству регулирования предъявляются повышенные требования. В этих случаях сложный многозвенный алгоритм строится следующим образом. В первую очередь программой проверяются условия, обеспечивающие безаварийную работу, затем производятся операции, приводящие к уменьшению производной по времени от регулируемой величины, и, наконец, плавно, с минимальной производной регулируемая величина подводится к заданному коридору значений.

Рассмотрим в качестве примера алгоритм управления вентилем, регулирующим давление сжатого газа. При его открытии давление падает, при закрытии - растет. Привод вентили исполняет три команды: открытие, закрытие и остановка. Движение происходит с постоянной скоростью. Пусть давление нужно держать в интервале  $p_1 \leq p \leq p_2$ , допустимые значения давлений с точки зрения безопасной работы лежат в интервале  $p_{мин.} < p < p_{макс.}$ , а величина производной по времени, при которой достигается нужное качество регулирования, находится в пределах  $-\dot{p}_0 < \dot{p} < \dot{p}_0$ . Алгоритм, основанный на применении изложенных выше общих принципов, показан на рисунке.

Исходя из величины временных констант установки и возможностей микро-ЭВМ период управляющих воздействий выбран равным 300 мс.

Третий тип программ - программы блокировки от аварий и сигнализации о предаварийных ситуациях. К ним относится, например, программа блокировки турбомашин от превышения числа оборотов вращения. Если число оборотов какой-либо из турбомашин прибли-



зится к предельно допустимому, то об этом сигнализируется оператору. При дальнейшем увеличении скорости вращения вырабатывается сигнал, приводящий в действие защитное устройство, которое останавливает турбины.

Алгоритм управления: 1 - предельные параметры, 2 - уменьшение производной, 3 - рабочие параметры.

### 3.5. Программа диалога /Д/

Программа диалога использует принцип древовидного способа определения места воздействия программы. Она работает в режиме прерываний от программ СД и У, что позволяет менять режим или параметры установки, не прекращая сбора данных и управления. Программы ОВ и ПР по отношению к Д взаимно исключаются. Программа Д печатает на экране дисплея следующие тексты:

Запуск установки КГУ-1600/4,5

Установка начальных констант /К/

Установка констант управления /У/

Способ вывода информации:

на дисплей /И/

на ТВ-монитор /М/

Режим диалога:

/К/ - В этой части программы определяется дата, начало времени отсчета, № разрешенного /Р/ или запрещенного /З/ измерительного канала и т.д., затем программа Д автоматически переходит к выполнению части /У/.

/У/ - Эта часть служит для ввода констант программы управления, таких, как: пределы объема газгольдера, абсолютные и рабочие /в кубометрах/, пределы давления после компрессора /в атмосферах/ и др. После задания констант Д переходит к /И/.

/И/ - Здесь задается способ вывода информации на консоль /полная таблица параметров или ее выделенная часть/. Затем Д переходит к выполнению программы СД. Из этой части /И/ возможен возврат в начало диалога к повторному определению /К, У, И, М/.

/М/ - В эту часть программы можно попасть только непосредственно из начала Д и можно выбрать изображения на цветном ТВ-мониторе: блок-схему установки, гистограмму выбранного параметра или текстовую часть.

После определения выходного устройства программа диалога проходит отдельные части текста в последовательности /К, У, И/, причем начинать можно с любой из них. В часть /М/ можно попасть только непосредственно. При опытных запусках установки было определено, что наиболее часто нужно вызывать часть /И/, и поэтому повторный возврат в диалог, который инициируется нажатием клавиш Д и CRLF, начинается с этой части.

Нажатие клавиш П и CRLF инициирует вывод информации, которая отображена на консоли, на цифropечающее устройство.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданное матобеспечение системы совместно с фирменным матобеспечением /монитор/ и буфером данных занимает 33,5 Кбайт памяти, и ее распределение для отдельных частей дано в таблице:

##### 4.1. Таблица

№ пп	Вид матобеспечения	Объем памяти	
1.	Фирменное /монитор/	1	3
2.	Буфер данных	4	12
3.	Системные программы /гл.2/	10,5	31
4.	Спец. программы для установки КГУ-1600/4,5 /гл.3/	18	54
	Итого:	33,5	100

Общий вес системного и фирменного матобеспечения, без учета буфера данных, составляет 39% и специального матобеспечения - 61% от всего матобеспечения, используемого для АСУ КГУ. Затраты на создание матобеспечения АСУ КГУ можно оценить в ~12 человеко-месяцев.

В настоящее время происходит комплексная проверка и отладка всех программ, они хранятся в виде перфолент, и потому система не допускает автоматического рестарта при отключении сети. В конце проверочного периода матобеспечение будет записано в ППЗУ, что даст возможность рестарта в случае аварии. Уже в настоящее время ясно, что система работает удовлетворительно, причем в режиме запуска и останова высвобождает одного квалифицированного специалиста и в режиме оживания способна полностью управлять всем комплексом КГУ-1000/4,5 самостоятельно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Немеш Т. и др. ОИЯИ, 10-12077, Дубна, 1979.
2. Агапов Н.Н. и др. ОИЯИ, P10-82-368, Дубна, 1982.
3. Рапп Х. ОИЯИ, 10-80-125, Дубна, 1980.
4. Intelc/MDS Monitor Version 2.0. Intel Corporation, Santa Clara, 1975.
5. Дацков В.И. и др. ОИЯИ, 10-81-200, Дубна, 1981.
6. Герасимов С.Г. Теоретические основы автоматического регулирования тепловых процессов. Изд-во "Высшая школа", М., 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 июня 1983 года.

Агапов Н.Н. и др.

10-83-357

Матобеспечение для системы управления большим гелиевым ожижителем

Описаны программы, которые используются при управлении криогенно-гелиевой установкой КГУ-1600/4,5. К ним относятся программы системного типа /набор арифметических подпрограмм, набор подпрограмм для обслуживания интерфейса цветного ТВ-монитора, программа линейной регрессии, программа проверки памяти/ и специальные программы /программа сбора данных, программа обработки данных и вычисления результатов, программа представления результатов, программа диалога, программа управления установкой/. Матобеспечение в целом занимает 28,5 Кбайт памяти ЭВМ, из этого объема 39% относится к программам системного типа и 61% - к специальным.

Трудоемкость созданного матобеспечения оценена в 12 человеко-месяцев. Система в целом в режиме запуска и останова высвобождает одного квалифицированного специалиста и в режиме ожижения способна полностью управлять всем комплексом КГУ самостоятельно.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Agapov N.N. et al.

10-83-357

A Software of the System Control of a Large Helium Liquefier

A software which is used for the control and monitoring of a large helium liquefier of KGU-1600/4,5 type (cryogenic-helium setup) is discussed. Programs of two types are used in this software package. The first-type - system programs as: arithmetic subroutines, colour T.V. monitor service subroutines, linear regression, memory test program. The second type - programs determined by the equipment: data acquisition and data handling program, result imaging program, dialog and control program. The software as a whole occupies 28.5 Kbyte of the memory, 39% of which occupy a system type and 61% - equipment determined by a special program. The volume of work was estimated approximately as 12-man-month. The whole system in the start and stop regimes saves one specialist power, and in the liquefying regime it is possible to control the cryogenic-helium equipment independently.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.

Агапов Н.Н. и др.

10-83-357

Матобеспечение для системы управления большим гелиевым охладителем

Описаны программы, которые используются при управлении криогенно-гелиевой установкой КГУ-1600/4,5. К ним относятся программы системного типа /набор арифметических подпрограмм, набор подпрограмм для обслуживания интерфейса цветного ТВ-монитора, программа линейной регрессии, программа проверки памяти/ и специальные программы /программа сбора данных, программа обработки данных и вычисления результатов, программа представления результатов, программа диалога, программа управления установкой/. Матобеспечение в целом занимает 28,5 Кбайт памяти ЭВМ, из этого объема 39% относится к программам системного типа и 61% - к специальным. Трудоемкость созданного матобеспечения оценена в 12 человеко-месяцев. Система в целом в режиме запуска и останова высвобождает одного квалифицированного специалиста и в режиме охижения способна полностью управлять всем комплексом КГУ самостоятельно.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Agarov N.N. et al.

10-83-357

A Software of the System Control of a Large Helium Liquefier

A software which is used for the control and monitoring of a large helium liquefier of KGU-1600/4,5 type (cryogenic-helium setup) is discussed. Programs of two types are used in this software package. The first-type - system programs as: arithmetic subroutines, colour T.V. monitor service subroutines, linear regression, memory test program. The second type - programs determined by the equipment: data acquisition and data handling program, result imaging program, dialog and control program. The software as a whole occupies 28.5 Kbyte of the memory, 39% of which occupy a system type and 61% - equipment determined by a special program. The volume of work was estimated approximately as 12-man-month. The whole system in the start and stop regimes saves one specialist power, and in the liquefying regime it is possible to control the cryogenic-helium equipment independently.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.