

УДК 681.324:66.012

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДНЫМ ЦЕХОМ

П. Невржива

Центральный кислородный цех г.Острава (ЦКЦО) ЧССР нового металлургического завода имени Клемента Готтвальда производит технологический кислород в объеме 2340 т/сутки (85% от общего количества). Строительство ЦКЦО начато в 1977 г. и завершено в 1981г. Общая величина капиталовложений превышает 0,6 миллиардов крон. Выделение кислорода из воздуха в ЦКЦО осуществляется двумя параллельными полностью автоматизированными производственными линиями. Поставщиком части технологических средств является национальное предприятие Ферокс Дечин. Реализация проекта автоматизированной системы, включающая программное обеспечение ЦКЦО, осуществлена Институтом черной металлургии (ВУЖ) г.Добра. В предлагаемой статье уделяется внимание основным проблемам, связанным с организацией функционирования работ АСУ ЦКЦО.

Экспериментальная версия АСУ ЦКЦО. В основу исследовательской части работ, проводимых в ВУЖ при сотрудничестве с национальным предприятием Ферокс Дечин, был положен опыт создания экспериментальной АСУ кислородным цехом Тржинецкого металлургического завода им. Великой Октябрьской социалистической революции (национальное предприятие, г.Тржинец). Базовой ЭВМ в данной АСУ была взята машина HP-2116C с емкостью памяти 16К слов. Задание и алгоритмы были разработаны экспериментальной лабораторией предприятия Ферокс Дечин, а программное обеспечение и АСУ ЦКЦО - отделом вычислительной техники ВУЖ г.Добра. При установке и запуске в эксплуатацию системы принимали участие также сотрудники кислородного цеха Тржинецкого завода. К вычислительной ма-

шине подключено 44 аналоговых и 12 цифровых входных и 27 цифровых выходных специальных устройств. Весь комплекс используется для управления температурным режимом регенеративных теплообменников по парам (путем изменения периода) и между парами (путем изменения количества протекаемого воздуха), для выдачи на печать производственных, сменных и суточных протоколов и отчетов для научно-технического развития АСУ кислородного цеха.

Управление всеми технологическими процессами осуществилось без особых сложностей и продолжалось всего 45 дней, а основным технологическим процессом – в течение 30 дней и в замкнутом цикле. Этот опыт использования вычислительной машины наглядно доказал ее способность к управлению указанным технологическим процессом и позволил предприятию Ферокс Дечин в сотрудничестве с ВУГМ внедрить АСУ в производство.

Объем программы управления составляет 14,5К слов, а трудозатраты по ее составлению оцениваются примерно 1000 часов работы программиста-аналитика. Программа написана на языке ФОРТРАН П, на ассемблере фирмы HP и работает по управлению операционной системы HP-BCS.

Структура и функционирование АСУ ЦНО.

Центральный кислородный цех г.Острава имеет две производственные линии, каждая из которых обладает производительностью 1170 т.технологического кислорода в сутки. Управление линиями T_A и T_B осуществляется от вычислительной системы (BC), состоящей из 2-х ЭВМ HP-1000 (рис.1). В нормальном режиме функционирования BC все функции по управлению одной из линий T_A или T_B осуществляются машиной соответственно А или В. Любая из ЭВМ имеет оперативную и дисковую память емкостью 128К байт и 15М байт. Для управления технологическими процессами каждая ЭВМ использует 160 аналоговых, 48 цифровых, 24 прерывающих цифровых входов и 8 аналоговых, 72 цифровых выходов с программируемым временем включения. К каждой ЭВМ подключается печатающее устройство HP-2607 и два дисплея HP-2645 А, один из которых служит в качестве сервисного средства и не доступен оператору-технологу. Взаимная связь между ЭВМ осуществляется посредством системы HP-91-700 (рис.1).

В аномальном режиме работы BC, т.е. в случае остановки одной из ЭВМ, вторая машина автоматически берет на себя функции первой и в несколько ограниченном режиме управляет обеими производствен-

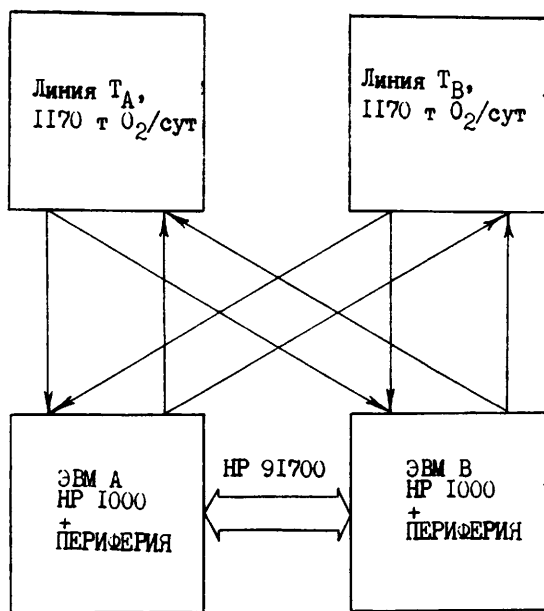


Рис. I

ными линиями. Останов машины, как правило, производится из-за профилактического обслуживания диска, но может также произойти и из-за ее отказа. После восстановления машина подключается к своему технологическому оборудованию, берет на себя свои управляющие функции и далее обе вычислительные машины работают параллельно. В ЦИЦО нет запасной системы управления, реализована лишь возможность ручного измерения основных тех-

нологических величин и управления несколькими активными параметрами. Расчетное среднее время безотказной работы системы управления в целом заключено в пределах от 10000 часов до 25000 часов. К моменту написания настоящей статьи АСУ ЦИЦО уже проработала безотказно 12000 часов.

Обеспечение надежности системы. С целью повышения надежности и исключения влияния запланированных остановов ЭВМ в системе реализован режим взаимозаменяемости машин.

В программных условиях эксплуатации системы управления, когда работают обе ЭВМ, каждая управляет собственной производственной линией. Исходные данные аналоговых и цифровых измерительных контуров поступают одновременно в обе ЭВМ. Через каждые 10 сек. ЭВМ производят взаимопроверку хранимых данных и информации, получаемой при исследовании и управлении производственных линий, таким образом, чтобы в памяти каждой из ЭВМ находились одинаковые данные об обеих производственных линиях. Это позволяет любой ЭВМ вычислить -

тельной системы в любое время взять на себя обязанности другой машины.

ЭВМ непрерывно автоматически взаимопроверяются с точки зрения правильности действий. При выключении или при отказе одной из ЭВМ (определенной посредством проверки, проводимой каждую секунду соседней ЭВМ), последняя автоматически останавливается; соседняя же ЭВМ автоматически подменяет ее и продолжает в несколько ограниченным объеме управлять обеими производственными линиями.

Останов одной из двух ЭВМ системы и переход к режиму взаимозаменяемости можно осуществить путем диалога с дисплеем. После устранения неисправности в ЭВМ или после проведения запланированной профилактики и включения ЭВМ осуществляется автоматическое введение в эксплуатацию операционной и прикладной программной систем и обновление базы данных. Перевод управления производственной линией от режима взаимозаменяемости обратно к режиму параллельной работы ЭВМ осуществляет обслуживающий персонал так же посредством диалога с дисплеем.

В случае одновременного отказа обеих ЭВМ осуществляется автоматический переход к традиционному режиму управления цехом, в котором обеспечивается аварийная нерегулируемая работа обеих линий.

Программное обеспечение для осуществления взаимозаменяемости ЭВМ. Две независимые технологические линии T_A, T_B управляются ВС из двух ЭВМ A, B в режиме взаимно симметричного активного резерва (рис.1). Задачу о взаимозаменяемости ЭВМ запишем в упрощенном виде. Пусть заданы следующие состояния: T_A, T_B - линии подключены к ЭВМ A, B и работают нормально; $\bar{T}_A, \bar{T}_B$ - линии подключены к ЭВМ A, B , но не работают; $\hat{T}_A, \hat{T}_B$ - линии отключены от ЭВМ A, B ; A, B - рабочие состояния ЭВМ A и B (управление, исследование технологического процесса); $\bar{A}, \bar{B}$ - ЭВМ A и B на ремонте (неисправны), $\hat{A}, \hat{B}$ - ЭВМ A и B отремонтированы и подготовлены к подключению к технологическому процессу.

Таким образом, существует совокупность из 23 различных состояний системы управления ($T_A T_B A B, T_A T_B \hat{A} \hat{B}$ и т.д.). Допустимые переходы системы из одного состояния в другое, которые определяются неисправностью (остановом) ЭВМ, восстановлением ЭВМ, подключением восстановленной ЭВМ к технологическому процессу, отключением ЭВМ от процесса, изменением рабочих состояний технологии. За исключе-

нием случайных переходов (например, вследствие неисправности ЭВМ) переходы между состояниями системы управления осуществляются на основании требований оператора-технолога с его дисплея.

Прикладное программное обеспечение для взаимозаменяемости ЭВМ обеспечивает "бестолчковый" переход между отдельными состояниями системы управления, диалог для управления переходами между состояниями, связь между ЭВМ. АСУ в целом осуществляет оптимизацию перехода системы в состояние $T_A T_B AB$). Прикладные программы для этой части функции имеют объем примерно 40К слов (релаксационная версия). Объем этой программы, по сравнению с объемом всего прикладного программного обеспечения, не велик, но он привел к двухкратному повышению требований по времени в сравнении с программным обеспечением для режима без обеспечения взаимозаменяемости ЭВМ. Последнее является следствием того, что реализация режима взаимозаменяемости ЭВМ отражается на всем прикладном программном обеспечении.

Разработка эксплуатационного программного обеспечения на логической модели технологии. Работы по техническому проекту АСУ ЦНЦО были завершены предприятием Ферокс Дечин и ВУГЖ к 1978 г. После чего ВУГЖ (на основании данных предприятия Ферокс Дечин) начал работы на эксплуатационном проекте АСУ, т.е. по написанию прикладного программного обеспечения.

Из-за необходимости соблюдения срока введения системы управления в эксплуатацию, одинакового со сроком так называемого второго холодного технологического испытания строившегося ЦНЦО, потребовалось установить систему ЭВМ в январе 1979 г. в лаборатории ВУГЖ и пустить в действие подготовленную предварительно логическую модель состояний технологического объекта. В период с января 1979 г. по июнь 1979 г. на двухмашинной ВС (2-х HP-I000, канале связи HP-91700-020, периферии связи с процессом, периферии связи оператора-технолога с управляющей и управляемой системой и модели) была отработана базовая версия прикладного программного обеспечения, включающая организационную структуру системы, программы диалога и четыре из семи гарантируемых подсистем АСУ.

При использовании модели не преследовалась цель проверки действия управляющего алгоритма. (Он был построен на основе долговременных практических применений систем без ЭВМ, затем адаптивно запрограммирован с возможностью проведения диалоговых изменений

не только в его структуре, но также в его параметрах и, наконец, проверен во время экспериментов в Тржинецком металлургическом заводе.) Задачей модели стали практическая проверка и увязка прикладного программного обеспечения с операционной системой ЭВМ, обеспечение взаимосвязи между ЭВМ и обработки превышающих сигналов, изучение во времени взаимодействий между запрограммированной манипуляцией и данными и программами при наличии прерываемых сигналов и т.д. Вследствие проведенных мероприятий, стало возможным всю систему из ВУТЖ в июне 1979 г. переместить в ЦИЦО, а в июле 1979 г. одновременно с открытием ЦИЦО включить ее в работу по управлению технологическим процессом (4 из 7 окончательных гарантируемых подсистем были запущены к марту 1981 г.). Подготовленные на модели программы содержали примерно 100000 слов, израсходованное время на программирование составило примерно 2000 часов.

Само собой разумеется, что для будущих приложений целесообразно взамен структурированной, хотя и универсальной, модели использовать микро-ЭВМ.

Логическая структура системы управления АСУ ЦИЦО. АСУ ЦИЦО с логической точки зрения состоит из девяти подсистем, из которых 1-7 подсистемы предприятием Ферокс Децин гарантированно поставляются заказчику, 8-я подсистема (долговременной оптимизации) носит с точки зрения собственного технологического использования научно-исследовательский характер и 9-я подсистема (диагностики и документации) предложена, запрограммирована и использована только при внедрении АСУ. Последние две подсистемы заказчику не поставляются.

Опишем назначение подсистем АСУ ЦИЦО.

1. Подсистема супервизора и монитора обеспечивает автоматическое введение в действие, работу и останов системы управления, осуществляет изменения состояний управления (например, переходы при реализации режима взаимозаменяемости ЭВМ), организует работу всей периферии, управляет связью между ЭВМ и поддерживает в действии всю систему.

2. Подсистема регулирования температурным режимом производственных линий собственно производит реверс регенераторов и управляет работой регенераторов по парам, перестраивая период их работы, и между парами путем изменения количества протекаемого воздуха.

3. Подсистема протокола хроматографом оценивает данные хроматографа о концентрации углеводородов, передает предупреждения о превышении выбранных концентраций, печатает хроматографические протоколы.

4. Подсистема сбора данных обрабатывает на десятисекундных промежутках времени измеряемые данные и вычисляет, печатает и хранит эксплуатационные протоколы.

5. Подсистема графических изображений отображает измеряемые и вычисляемые величины на экране и печатающем устройстве в виде графика с временным шагом от 10 сек. (для последних 8 часов) до 8 часов (для последних 5 лет).

6. Подсистема сменной и суточной информации осуществляет оценку, хранение и печать сменных (в 6, 14 и 22 часов) и суточного (в 6 часов) протоколов, содержащих технические и экономические параметры производства.

7. Подсистема долгосрочной информации предоставляет возможность выбора путем диалога и проведения долгосрочной оценки параметров производства в сроки от одного дня до пяти лет по различным критериям выбора.

8. Подсистема долгосрочной оптимизации позволяет регулировать производство кислорода в зависимости от мгновенного и ожидаемого (упрежденного) расхода кислорода; учитывая большую инерцию производственного агрегата упрежденное регулирование способствует значительной экономии электроэнергии.

9. Подсистема диагностики и документации осуществляет печать эксплуатационных ошибок и особых состояний системы, печать предупреждений, вида режима управления, параллельную обработку, выдает графическое изображение и распечатку программной документации системы.

Структура программного обеспечения АСУ ЦКЦО. Логической структуре АСУ ЦКЦО соответствует эксплуатационная структура программного обеспечения (рис.2). Определяющим фактором во время разработки и внедрения структуры программного обеспечения явилась ее модульность, обеспечивающая возможность планируемого и, в определяемой степени, непланируемого расширения функций системы во время рабочего режима АСУ.

Самой сложной и ключевой является подсистема супервизора и монитора управления. Ее задачами являются введение в действие и поддержание в действии или останов всей эксплуатационной системы, организация и контроль большей части работы периферии, вклю -

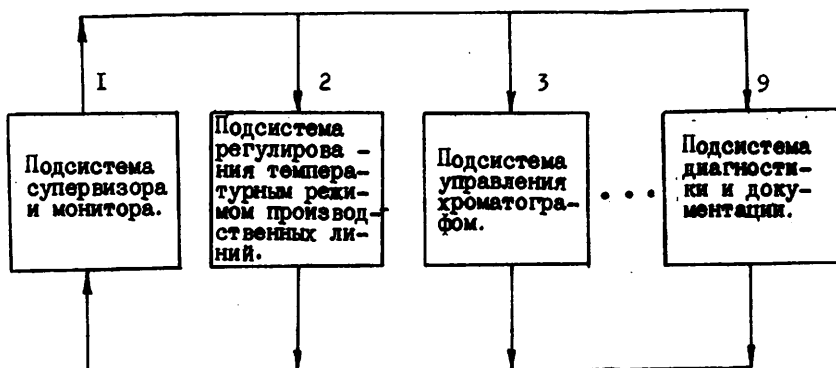


Рис. 2

чая связь с соседней ЭВМ, осуществление связи оператора-технолога с управляемым процессом и контроль состояния синхронизации системы управления с управляемой разделительной установкой. При требовании оператора-технолога на запланированное окончание работы системы при возникновении неисправимой ошибки системы, управляющая ЭВМ заканчивает работу таким образом, что хранит текущее состояние для нужд программного перехода в управлении и передает управление соседней ЭВМ.

Прочие подсистемы, осуществляющие собственно управляющие и информационные функции, образованы ансамблями замкнутых программ. Эти ансамбли программ во время введения в эксплуатацию АСУ постепенно включаются посредством подсистемы супервизора и монитора управления.

Во время нормальной работы подсистемы работают автономно и только на основе информации, полученной от процесса, общего массива данных и ансамблей базы данных. К супервизору и монитору управления обращаются с требованиями на работу с периферией (аналоговое измерение, печать, связь с соседней ЭВМ).

Супервизор и монитор управления, наоборот, к остальным подсистемам обращаются с требованиями на работу их программ диалога (рис.2).

Решение связи оператор-ЭВМ технологический процесс. Оператор-технолог осуществ-

ляет связь (за исключением нескольких запасных управляющих и измерительных элементов) с технологическим процессом только посредством ЭВМ. Для этого используется дисплей HP-2645A, печатающее устройство HP-2607, подключенный к ЭВМ пульт оператора-технолога с кнопками и сигнализационными надписями и панель-индикатор с упрощенной технологической схемой. Связи оператора с технологическим процессом производятся в основном при помощи дисплея и подразделяются на две группы.

1. Связь, вызванная ЭВМ. К этой группе принадлежат все предупреждения, воспроизводимые ЭВМ прерываемым светом на дисплее, звуковыми сигналами, а также путем печати соответствующей информации на печатающем устройстве. ЭВМ выдает предупреждение в том случае, когда определит отклонения в технологическом процессе или неисправность в системе ЭВМ, которые она не в состоянии устранить (например, неисправность датчика), требует от обслуживающего персонала определенных действий (например, предписывает задание смены) и т.п. Обслуживающий персонал должен подтвердить получение предупреждения. О времени возникновения предупреждения, его типе, времени подтверждения получения предупреждения ведется запись в архивной памяти ЭВМ (учитываются 500 последних предупреждений). Оператор-технолог в любое время имеет возможность просмотреть текущее состояние предупреждений, т.е. предупреждения, подтвержденные и может быть уже не сигнализируемые, но причина которых пока не устранена.

2. Связь, вызванная оператором.

а) Табличное и графическое изображения информации о технологическом процессе на дисплее. Изображение вызывается посредством стандартных комбинаций стандартных ключей дисплея; вид изображений можно изменять путем диалога (т.е. можно осуществлять выбор параметров для графиков, таблиц, их масштабов, сигнализируемых предельных значений и т.п.). Эта связь доступна каждому интересующемуся, изображенные данные можно воспроизводить нажатием кнопки на печатающем устройстве.

б) Связь, предохраняемая паролем первого уровня (вопросы) или второго уровня (проведение изменений в структуре, или в параметрах АСУ ЦКЦО). Путем задания допустимого четырехзначного буквенно-цифрового пароля первого уровня оператор-технолог входит на первую страницу диалога, где ему предоставляется возможность выбора подсистемы АСУ ЦКЦО, с которой он будет работать.

После выбора подсистемы, структура последней изображается более детально, с указанием задач (вторая страница диалога). Далее, выбрав задачу, оператор получает информацию о составе ее блоков и т.д. Этот процесс заканчивается после того, как оператор достигнет требуемой информации (например, данных о технологической величине или о состоянии управляемой петли, названия смены, хранимой статистической величины, схемы управления технологией, текста программной документации, раздела программ и т.д.) или состояния, допускающего проведение требуемого изменения (например, изменения величин графиков и таблиц, изменения их масштабов и сигнализированного предельного значения и т.д., изменения параметров регуляции и постоянных управления, задания названия смены, изменения текста программной документации, изменения структуры управления, включения одной ЭВМ, изменения пароля и т.п.). Изменения предохраняются от злоупотреблений паролем второго уровня, а от ошибки обратным контролем с обязательным двойным подтверждением. Пароли на экране не изображаются.

Связь "б" предоставляет возможность доступа примерно к 200 измеряемым и вычисляемым величинам (в различных комбинациях), к восьмичасовому и пятилетнему архиву, изобразить текущее состояние 84 цифровых сигналов. Путем диалога можно изменить примерно 1500 названий АСУ (постоянных, параметров и т.д.). Такое решение позволяет исключить ошибки обслуживающего персонала и обеспечивает непрерывное поступление информации о том, когда и какие операции должен проделать оператор-технолог.

Система, как составная часть технологии производства кислорода, обслуживается рабочими, обученными по специальности "Производство кислорода" и не требует специалистов по вычислительной технике. АСУ ЦКЦО с июля 1979 г. работает без остановок непрерывно в три смены.

Внедренное эксплуатационное программное обеспечение АСУ ЦКЦО в окончательном виде имеет объем более чем 6000 слов для каждой ЭВМ. Для его создания потребовалось примерно 30000 часов чистого программирования, что соответствует скорости программирования приблизительно 20 машинных команд в час. Это определяется тем, что при разработке программного обеспечения использовали операционную систему RTE-III, языка ФОРТРАН-IV, ISA-ФОРТРАН, фирменные программы для работы с ансамблями и т.п.

Реализованная АСУ ЦКЦО полностью применима для других кислородных цехов и в случае использования ЭВМ, которые производятся в странах Совета Экономической Взаимопомощи.

При написании статьи использованы работы [1-10].

Л и т е р а т у р а

1. АСУТП ЦКЦО /Бин Л., Черн К., Котва Й., Микула Б., Невржи-ва П., Сайдл Й. -В кн.: Дни новой техники ЧСВТС. Добра, 1980.
2. БИН Л., КОТВА Й. Автоматическое управление температурным режимом регенеративных теплообменников. - Автоматизация, Прага, 1968, XI, № 3.
3. Исследование, разработка и внедрение алгоритмов программного обеспечения системы управления кислородным цехом НГЧ, ТЖ, ВОСР/Черн К., Микула Б., Невржица П., Сайдл Й. - Заключительный отчет по отраслевой задаче, ВУЖ, Добра, 1978.
4. ЧЕРН К., МИКУЛА Б., САЙДЛ Й. Программная документация АСУТП ЦКЦО. - ОХУ 2-А, ВУЖ, Добра, 1979.
5. Программная документация АСУТП ЦКЦО/Черн К., Масны З., Микула Б., Сайдл Й. - ОХУ 2-А, ВУЖ, Добра, 1981.
6. КОТВА Й. Устройство с управляющей ЭВМ для деления воздуха. Разработка алгоритмов. -Ферокс Дечин, 1977.
7. КОТВА Й, КРАНИХ Й. Технический проект системы АСУТП Центрального кислородного цеха. г.Острава (ЦКЦО). -Ферокс Дечин, 1977.
8. МИКУЛА Б. Повышение надежности автоматизированных систем управления технологическими процессами. Канд.диссертация ВУТ, Брно, 1980.
9. МИКУЛА Б., САЙДЛ Й. Вопросы подготовки прикладного программного обеспечения системы управления Центральным кислородным цехом г.Острава. -В кн.: Сборник конференции АСУТП 80. ЧСВТС УСМЖилина, Тале, 1980.
10. NEVRIVA P. Computer Control in Metallurgy.-Compcontrol. 1979, Sopron, 1979.

Поступила в ред.-изд.отд.

5 ноября 1981 года