

УДК 621.74.043.2

Богушевский В. С., Антонец Я. К., Антонец О. О.

РАЗРАБОТКА ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧАСТКА ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Введение. Одна из основных задач по совершенствованию и расширению области применения процессов литья под давлением (ЛПД) – повышение эффективности производства на базе создания комплексно-автоматизированных быстро переналаживаемых систем оборудования и передовой технологии, обеспечивающей значительный рост производительности труда и качества литых заготовок.

Низкий технический уровень оборудования в современных цехах, отсутствие средств механизации и автоматизации, большой объем ручного тяжелого и монотонного труда увеличивает материало- и энергоемкость производства отливок, создает недопустимые экологические условия для работающих.

Хранение шихтовых материалов на открытых площадках способствует дополнительному их загрязнению и влагонасыщению, что приводит к простоям по организационным причинам. Загрузка плавильно-раздаточных печей (ПРП) производится вручную без прокалки шихты. Используемые в цехе алюминиевые сплавы АК10СУ и АК-7 содержат большое количество примесей, неконтролируемое содержание которых от плавки к плавке приводит к дестабилизации свойств сплава и необходимости частой отладки технологии для ликвидации брака литья. Кроме того многономенклатурное производство при неполной информации о параметрах технологического процесса и производственной ситуации приводит к тому, что настройка оборудования «на глаз» при отсутствии оперативной связи между рабочим местом литейщика и службой организации производства вызывает большие простои при замене оснастки.

Основное направление развития литейного производства на современном этапе – интенсивное его перевооружение на основе гибкого автоматизируемого производства, включающего гибкие автоматизируемые линии и гибкие автоматизируемые участки (ГАУ) [1–6]. Внедрение ГАУ предусматривает проведение технического перевооружения цеха, в основу которого положены решения, основанные на внедрении комплексно-технологического и транспортно-складского оборудования, обладающего необходимой организационно-технологической гибкостью и высокой эксплуатационной надежностью, на базе автоматизированного технологического оборудования, средств вычислительной техники, современных методов организации и управления производством.

Создание ГАУ стало возможным благодаря появлению роботов и технологических комплексов, внедрению микроэлектроники и вычислительной техники в устройства контроля и управления. Достоинство микропроцессоров – низкая стоимость (в 15 раз меньше, чем блок с такой же функцией в конструкции мини-ЭВМ [7]).

Опыт внедрения ГАУ показывает их высокую эффективность: трудозатраты изготовления отливок снижаются в 1,5–1,8 раза, сокращается производственный цикл и уменьшается количество работающих (в будущем безлюдный производственный процесс).

Исследования, приведенные в статье, проводились в НТУУ «Киевский политехнический институт» по теме «Математическая модель и система управления машинами литья под давлением», Государственный регистрационный номер 0112U002173.

Цель исследований. Повышение эффективности производства цехов ЛПД.

Результаты исследований. На базе разработанных информационной АСУ [8] и АСУТП комплекса ЛПД [9] спроектирована АСУ гибким участком ЛПД для Полтавского завода «Электромотор». Цель создания системы – координация в реальном масштабе времени на гибком участке технологического и производственного процессов с непрерывно-дискретным характером прохождения.

В состав КТС ГАУ (рис. 1) входят:

Четыре литейных модуля 1–4, каждый из которых состоит из автоматизированного комплекса ЛПД (поз. 5) модели А711И08, трехсекционного роликового конвейера 6 для приема, перемещения тары и тары с отливками, роботизированной ПРП (поз. 7) с установкой для выгрузки чушек 8; транспортно-складское оборудование – монорельсовая подвесная дорога 9 грузоподъемностью 2,0 т типа ОПД-2 с четырьмя устройствами автоматизированного управления стрелками 10; два подвесных транспортных робота (ПТР) 11 типа РПТ-1000, один из которых находится на транспортной линии производства отливок, другой – на транспортной линии склада литья; трехсекционный перегрузочный конвейер 12–14; автоматизированный склад стеллажного типа шихтовых материалов 15 и литья 16 с передаточными секциями соответственно 17–20 и 21–24;

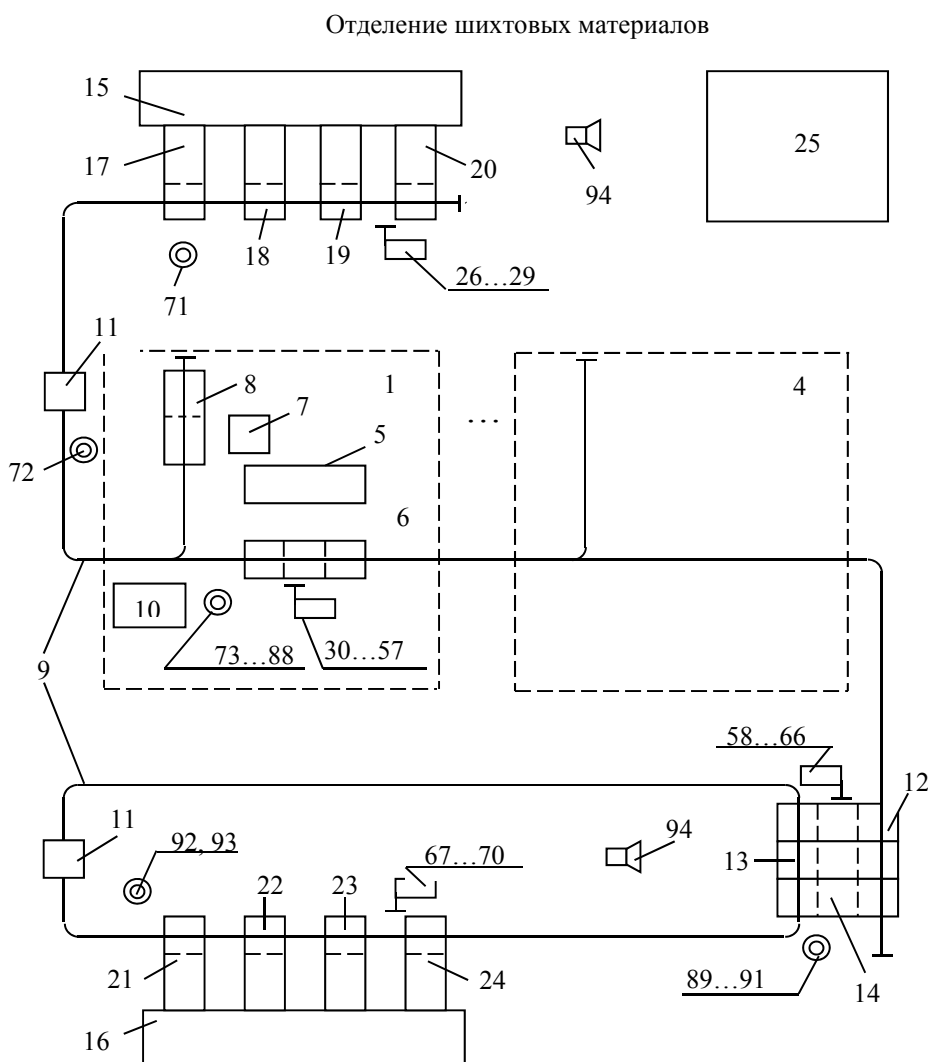


Рис. 1. Схема КТС ГАУ ЛПД

КТС АСУ – УВК в помещении вычислительного центра (поз. 25); бесконтактные датчики положения (БДП) груза 26–70; датчики перевода режима работы оборудования 71–93; сигнальные серены 94.

АСУ ГАУ – многофункциональная информационно-управляющая система, реализующая информационное сопровождение литейным циклом машин ЛПД, управление околомашиными операциями (смазка пресс-формы камеры прессования, заливка сплава и съем отливки), определение производительности машины, числа отливок за смену и на данной пресс-форме с момента ее установки, управление транспортно-складскими и погрузочно-разгрузочными операциями.

АСУ ГАУ обеспечивает оптимальное ведение технологического процесса, осуществляя функции логико-программного управления объектом по результатам его идентификации. В системе использованы стандартные методы реализации функций управления, типовые математические методы и модели, унифицированные формы документов и диалоговые методы решения задач.

АСУ ГАУ выполняет следующие информационные функции:

- автоматический контроль, оперативное отображение и регистрацию показателей состояния оборудования (заполнение тары литьем, наличие тары на каждой секции установки для загрузки чушек в ПРП, роликового и перегрузочного конвейера, положение стрелок монорельсовой подвесной дороги);
- обнаружение, отображение, регистрацию отклонений показателей состояния оборудования от установленных пределов (контроль продолжительности цикла комплексов ЛПД, контроль продолжительности транспортной операции);
- определение заказа на пресс-форму;
- сигнализацию о потребности в порожней таре, тары под возврат с чушками;
- учет производственной деятельности за смену (сменный рапорт);
- подготовку информации и выполнение процедур обмена с системами верхнего уровня (получение сменного задания от системы верхнего уровня, передачу последней сменного рапорта, получение информации о параметрах работы комплексов ЛПД и передачу ее системе верхнего уровня).

Управляющие функции системы:

- выдача команд в локальную подсистему управления стрелками монорельсовой дороги;
- выдача команд в локальную подсистему управления ПТР;
- распределение заказов между комплексами ЛПД.

В объекте управления функционируют 44 транспортно-технологические операции по подаче тары, в том числе: порожней тары со склада литья к машинам ЛПД и обратно грузенной литьем (32 операции), тары с чушками со склада шихтовых материалов к ПРП и обратно порожней (8 операций), тары с возвратом со склада литья на склад шихтовых материалов и обратно порожней (4 операции).

Все операции по внутрицеховой транспортировке перемещаемых элементов на гибком участке осуществляются по дискретным сигналам датчиков нахождения груза на секциях, автоматически поступающим к УВК. В качестве первичных преобразователей в системе использованы бесконтактные датчики положения (БДП) 26–70, расположены на контролируемых транспортных линиях объекта. Металлические флажки, установленные в определенных местах трассы, взаимодействуют с датчиками, расположенными на ПТР. Сигналами от датчиков робота определяется адрес места, на котором происходит разгрузка или загрузка, плавное изменение скорости перемещения ПТР и его точная остановка. По ходу трассы по мере срабатывания БДП в УВК подаются соответствующие сигналы, идентифицирующие наличие и состояние тары. Перемещение ПТР на участке ЛПД управляется УВК, который передает команды в подсистемы управления стрелками 10 монорельсовой подвесной дороги 9.

Подсистемами управления складами обеспечиваются автоматический учет и выдача информации о текущих значениях количества и номенклатуры объектов хранения, автоматизированное складирование и выдача объектов хранения по команде операторов средств внутрицеховой транспортировки исходных материалов и готовой продукции.

КТС ГАУ функционирует следующим образом.

По сигналу УВК автоматизированный склад шихтовых материалов выдает на приемную секцию 18 тару с чушками, которая по монорельсовой дороге 9 ПТР 11 перевозится на приемную секцию роликового конвейера 8 ПРП 7 соответствующего литейного комплекса 5, а обратным ходом работа перевозится порожняя тара с секции выдачи конвейера.

При подаче тары с чушками на приемную секцию установки 8 замыкается соответствующий БДП, подающий в УВК сигнал о наличии тары с чушками на этой секции. Манипулятор в темпе с расходом металла грузит чушки в ПРП 7, порожняя тара при снятии последней чушки передается на секцию 8 выдачи установки 8. БДП обеих секций выдают соответствующие сигналы в УВК, который вырабатывает управляющие сигналы для транспортной подсистемы. В соответствии с этими сигналами тара с чушками с секции выдачи 17 подается на освободившуюся приемную секцию роликового конвейера 8, а порожняя тара – на склад шихтовых материалов 15, на приемную секцию 18. Перемещение тары по сигналам БДП фиксируется УВК.

Доведенный по температуре и химсоставу в ПРП 7 жидкий металл с помощью дозирующего робота заливается в камеру прессования машины ЛПД 5. Готовая отливка извлекается из раскрытой пресс-формы с помощью робота съемщика и сбрасывается в тару, расположенную на промежуточной секции трехсекционного роликового конвейера 6. УВК определяет количество отливок нарастающим итогом от начала смены и на данной пресс-форме с момента ее установки, а также производительность машины ЛПД 5.

От соответствующих БДП в УВК поступают сигналы о наличии тары на секции выдачи и об ее отсутствии на приемной секции трехсекционного роликового конвейера 6. УВК вырабатывает управляющие сигналы для транспортной линии, согласно которым тара с литьем перемещается ПТР 11 с секции выдачи на приемную секцию трехсекционного перегрузочного конвейера 12. Затем тара с литьем ступенчато через промежуточную секцию перемещается на секцию выдачи перегрузочного конвейера, откуда роботом отделения обрубки и зачистки литья 11 – на автоматизированный склад литья 16, а обратным ходом работа 11 перевозится порожняя тара с секции выдачи перегрузочного конвейера 13. По мере срабатывания БДП в УВК подаются соответствующие сигналы о наличии тары с литьем на секциях приемной, промежуточной и выдачи перегрузочного конвейера 12.

На автоматизированном складе литья 16 соответствующие БДП 67–70 выдают в УВК сигналы о наличии тары с литьем (секция 21), порожней под литье (секция 22), с возвратом (секция 23) и порожней под возврат (секция 24). Тара под возврат и порожняя под литье подается ПТР 11 отделения обрубки и зачистки литья на перегрузочный конвейер 13. При этом из соответствующих БДП в УВК поступают сигналы о наличии тары с возвратом и порожней под литье на секциях приемной, промежуточной и выдачи.

Весь комплект оборудования увязывается с помощью АСУ в едином цикле работы, обеспечивая устойчивое функционирование ГАУ с координацией технологического и производственного процессов. Предельно допустимый регламент функционирования АСУ – управление тремя ГАУ, состав каждого из которых аналогичен описанному.

Структура и анализ эффективности функционирования АСУ ГАУ ЛПД формировалась на основе принципа композиции путем решения набора оптимизационных задач, с каждой из которых может быть составлен наилучший метод построения и анализа соответствующей математической модели. Использовались методы теории графов, расписаний и массового обслуживания с вероятностной аксиоматикой.

Для анализа надежности работы АСУ построен полный граф рабочих элементов, в котором были выделены подсистемы, осуществляющие операции по складированию, изготовлению отливок и транспортные. При исследовании надежности системы рассчитывались вероятности связности соответствующих графов, граничные оценки для которых определялись методом Эзари-Прошана в соответствии с выражением:

$$h_{\text{н}} \leq M\Phi(x) \leq h_{\text{в}}, \quad (1)$$

где $h_{\text{н}} = P(1 - Pg_i)$, $h_{\text{в}} = P(1 - Pr_i)$ – соответственно нижняя и верхняя оценки надежности; P – функция Эзари-Прошана; g_i , r_i – соответственно вероятности отказа и безотказной работы i -го элемента системы; $M\Phi(x)$ – математическое ожидание структурной функции.

В результате анализа надежности установлено, что вероятность бесперебойного получения отливок на комплексах ЛПД равна 0,8. Для дальнейшего повышения надежности необходимо увеличить безотказность работы элементов системы. Для выполнения складскими операциями составлены расписание заполнения ячеек склада, программа обслуживания, перечень необходимых технологических операций. Последовательность операций варьировалась таким образом, чтобы минимизировать возможный простой оборудования. В результате получен оптимальный вариант расписания, при котором не возникает ситуации ожидания поступившей заявки, приводящей к возникновению очередей.

Для построения имитационной модели системы использовался вариант временных сетей Петри, которые формально описываются набором вида $N = (P, T, E, M_0)$, где P, T – непустое конечное множество соответственно позиций и переходов; $E \leq (P \times T)U(T \times P)$ – отношение инцидентности позиций и переходов; M_0 – начальная маркировка; $M : P \rightarrow N$; $N = \{0, 1, 2 \dots\}$.

Графическая сеть Петри представлена двудольным графом с вершинами двух типов: позиции и переходы. Дуги графа могут быть направлены только от позиций к переходам или наоборот. Динамика сетей Петри связана с механизмом изменения маркировок позиций и соглашениями о правилах срабатывания переходов. В рамках обычных сетей Петри наиболее целесообразное направление формального анализа – исследование по частям. Исходная сеть разбивалась на технологические фрагменты, каждый из которых исследовался как отдельная сеть. При этом ставилась наиболее сложная задача сетевого анализа – проверка сетей на достижимость. Была построена и реализована программа моделирования, оценивающая длительность основного и вспомогательного циклов. В результате моделирования сокращено время пребывания единицы материальных потоков в производственном цикле путем устранения непредусмотренных задержек и уменьшения потерь на синхронизацию.

АСУ ГАУ ЛПД как средний уровень иерархии, который координирует работу локальных подсистем, входит в состав системы верхнего уровня – цеховую интегрированную производственно-технологическую АСУ.

Структурная схема алгоритма функционирования системы приведена на рис. 2. Алгоритм циклический и последовательно выполняет решение задач в соответствии с событиями, происходящими на объекте. Функционирование алгоритма начинается с опроса датчиков. Если выполняется одно из условий появления прерывания (табл. 1), то системой решается соответствующая задача. После выполнения всех задач по прерываниям, работа системы повторяется.

Алгоритм *SCHET* позволяет определить по каждому комплексу ЛПД количество изготовленных отливок, сигнализирует о выполнении сменного задания и необходимости отправки пресс-формы в ремонт (количество изготовленных на пресс-форме отливок достигло заданной величины). Алгоритм управления ПТР участка ЛПД позволяет осуществить в соответствии со сложившейся обстановкой следующие перевозки:

- тары с литьем с любого роликового конвейера 6 на перегрузочный конвейер 12 и порожней тары с перегрузочного конвейера 13 при движении в обратном направлении;
- тары с чушками с передаточной секции 17 склада шихтовых материалов на любую установку для загрузки 8 в ПРП 7 и порожней тары при движении в обратном направлении;
- тары с возвратом с перегрузочного конвейера на передаточную секцию 19 склада шихтовых материалов 15 и порожней тары при движении в обратном направлении.

Алгоритм *ROBOT 2* позволяет осуществить перевозки ПТР 11 в отделение обрубки и зачистки литья в соответствии со сложившейся обстановкой перевозки:

– тары с возвратом со склада отделения обрубки и зачистки литья (передаточная секция 23) на перегрузочный конвейер 14 и порожней при движении в обратном направлении с перегрузочного конвейера на передаточную секцию 22 или 24;

– тары с литьем с перегрузочного конвейера 12 на передаточную секцию 21 склада отделения обрубки и зачистки литья и порожней тары при движении в обратном направлении на перегрузочный конвейер 13 с передаточных секций 22 и 24.

Алгоритм контроля продолжительности цикла предназначен для определения количества отливок, изготовленных на каждом комплексе ЛПД в единицу времени. Решение задачи начинается с опроса модуля ввода число импульсных сигналов (МВВЧ), подключенного к комплексу ЛПД, т. е. определение количества отливок, изготовленных комплексом за время работы. Из этого числа вычитается значение, полученное на предыдущем опросе. То же самое выполняется для других комплексов ЛПД.

В системе предусмотрена возможность ввода оператором УВК с клавиатуры дисплейного модуля сообщений по замене пресс-формы (подпрограмма *ZAMPF*), сменного задания (*SMEZD*), а также выполнения транспортных операций ПТР 11 по команде оператора УВК.

Алгоритм смены обеспечивает формирование и вывод сменного рапорта, в котором указывается количество отливок, изготовленных за смену на каждом комплексе ЛПД, а также максимальное количество отливок, изготовленных в единицу времени.

Информация о замене пресс-формы на каком-либо комплексе ЛПД, вводит в систему оператор УВК. При этом количество отливок, изготовленное на замененной пресс-форме, заносится по номеру последней в память УВК. Заданное количество отливок, которое должно быть изготовлено на данной пресс-форме до нового ремонта, также вводится в систему.

Получив сменное задание, система определяет в нем число наименований отливок и возможность их выполнения тем количеством комплексов ЛПД, которое введено оператором УВК. Определяется время, необходимое на изготовление конкретного вида отливок, как частное от деления количества отливок этой номенклатуры на среднюю производительность комплекса ЛПД. После этого определяется суммарное время, необходимое на изготовление всех отливок, указанных в сменном задании. Если время на выполнение задания достаточно, то циклично в несколько этапов производится его распределение между комплексами ЛПД. Сначала назначаются сменные задания тем комплексам, на которых можно изготавливать отливки без смены пресс-формы. Затем назначаются сменные задания комплексам ЛПД, которым необходимо сменить пресс-форму для изготовления нового вида отливок. Заканчивается распределение оставшегося количества отливок сменного задания комплексам, имеющим резерв свободного времени.

АСУ ГАУ ЛПД – средний уровень управления многоуровневой АСУ литейным цехом, верхний уровень которой решает оптимизационные задачи управления производством цеха, технико-экономические и диспетчерские задачи (хранение и оперативное обновление данных о текущем состоянии складов, анализ информации и координирование управления). Нижний уровень АСУ – информационная система контроля параметров технологического процесса, позволяющая по результатам анализа вводить корректирующие воздействия.

Каждый уровень системы выполнен на основе своего УВК: верхний на базе ПЭОМ, средний и нижний – на базе контроллеров. В состав среднего уровня входит автоматизированное рабочее место оператора-технолога.

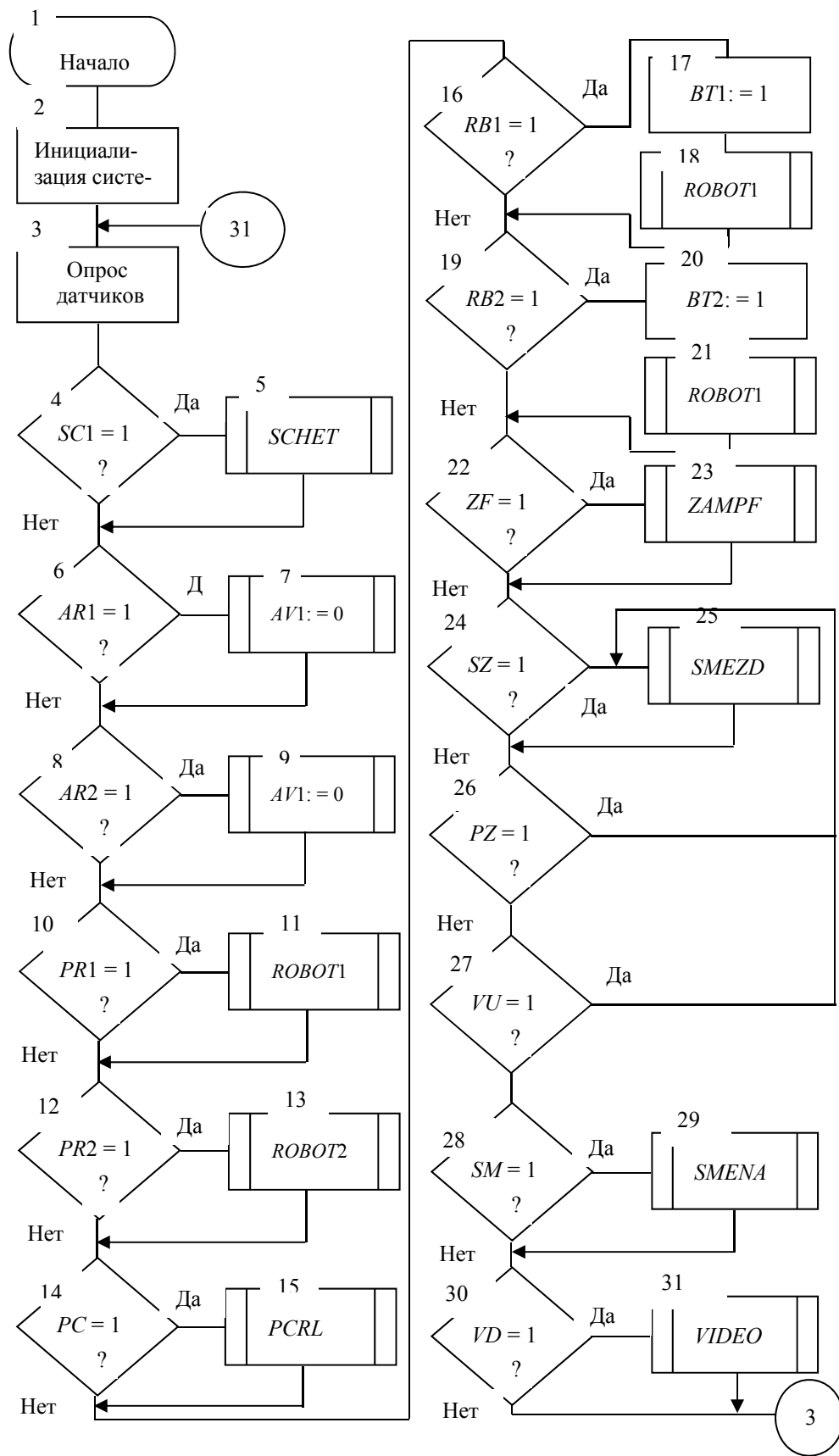


Рис. 2. Структурная схема алгоритма функционирования АСУ ГАУ

Таблица 1

Условия появления прерываний и решаемые задачи в системе

Наименование прерывания	Признак прерывания	Решаемая задача
Временное (каждые 60 с)	$SC = 1$	Определение количества изготовленных отливок (<i>SCHEP</i>)
Наличие тары на секциях установки для загрузки чушек в ПРП	$PR1 = 1$	Управление ПТР участка ЛПД (<i>ROBOT 1</i>)
ПТР участка ЛПД исправен	$AR1 = 1$	Установка признака исправности работа $AV1: = 0$
Наличие тары с литьем на секциях перегрузочного конвейера	$PR2 = 1$	Управление ПТР отделения обруб-ки и зачистки литья (<i>ROBOT 2</i>)
ПТР отделения обруб-ки и зачистки литья исправен	$AR2 = 1$	Установка признака исправности работа $AV2: = 0$
Временное (каждые 3600 с)	$PC = 1$	Определение продолжительности цикла комплексов ЛПД (<i>PCKL</i>)
Ручной ввод команды на перевозку ПТР участка ЛПД	$RB1 = 1$	Установка признака получения задания $BT1: = 1$, выполнения задания
Ручной ввод команды на перевозку ПТР отделения обруб-ки и зачистки литья	$RB2 = 1$	Установка признака получения задания $BT2: = 1$, выполнения задания
Ручной ввод информации о замене пресс-формы	$ZF = 1$	Выполнение задания о замене пресс-формы (<i>ZAMPF</i>)
Ручной ввод информации о сменном задании	$SF = 1$	Распределение сменного задания между комплексами ЛПД (<i>SMEZD</i>)
Ручной ввод корректирующих данных сменного задания	$PZ = 1$	То же
Автоматический ввод информации о сменном задании системой верхнего уровня	$VU = 1$	«
Временное – в начале смены (7 ч 00 мин, 15 ч 00 мин, 23 ч 00 мин)	$SM = 1$	Учет производственной деятельности ГАУ за смену (<i>SMENA</i>)
Ручной ввод команды на вывод видеокadra «Состояние технологического оборудования участка ЛПД»	$VD = 1$	Вывод видеокadra (<i>VIDEO</i>)

В специфицированный УВК входят модули: ввода дискретных сигналов; ввода число-импульсных сигналов (подсчет количества отливок за смену и производительности машины); вывода дискретных сигналов для управления стрелками; сопряжения с интерфейсом, предназначенным для подключения видеотерминала, печати, связи с подсистемой управления ПТР, а также выход на верхний и нижний уровни системы.

В системе предусмотрена возможность работы в отладочном (ручном) режиме. Для этого на каждом литейном модуле 1–4, в постах локальных подсистем управления стрелками 10 и на каждой секции загрузки – выгрузки имеются кнопки 71–93, позволяющие отключать соответствующие узлы системы. Сигнал «Отладочный режим» соответствующего адресата поступает в УВК.

В случае аварийной ситуации УВК выдает сигнал для технологического персонала на сигнальные сирены 94, а экран видеотерминала сообщения следующего вида:

- ПТР 11 не явился на контрольный пункт по истечении регламентированной продолжительности движения;
- не переведена стрелка для осуществления транспортной операции на соответствующем модуле комплекса ЛПД.

Сигнал о неполадках получает оператор УВК для последующей ликвидации аварийной ситуации.

ВЫВОДЫ

На базе разработанных информационной АСУТП комплекса ЛПД спроектирована АСУ гибким участком ЛПД с целью координации в реальном масштабе времени на гибком участке технологического и производственного процессов с непрерывно-дискретным характером прохождения. Описаны основные характеристики, приведены информационные и управляющие функции системы, алгоритмы работы, рассмотрены и описаны схемы участка и его частей.

При разработке программного обеспечения использованы пакеты прикладных программ, содержащие операционную систему, мультипроцессорную систему реального времени, тестовые программы и программы пользователя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошилина Л. В. Развитие гибкой автоматизации машиностроительного производства / Л. В. Ворошилина – К. : УкрНИИИИТИ, 1984. – 384 с.
2. Информационная технология оперативного дистанционного мониторинга состояний объектов литейного производства / О. И. Шинский, Б. М. Шевчук, В. П. Кравченко, И. О. Шинский // Процессы литья. – 2007. – № 1, 2. – С. 18 – 23.
3. Гибкое автоматическое производство / В. О. Избель, В. А. Егоров, А. Ю. Звоницкий [и др.]; под общ. ред. С. А. Мойорова, Г. В. Орловского, С. М. Халкионова. – Л. : ЛО. Машиностроение, 1985. – 455 с.
4. Городецкий М. С. Системы управления гибкими производственными модулями / М. С. Городецкий, И. У. Сулейманов // Обзор информации НИИМаш. – М. : НИИМаш, 1983. – 72 с.
5. Основы создания гибких автоматизированных производств / Л. А. Пономаренко, Л. В. Адамович, В. Т. Музычук [и др.] – К. : Техніка, 1986. – 144 с.
6. Титов А. М. Основные концепции построения гибких автоматизированных производств / А. М. Титов, А. А. Лейман, Л. Е. Маршак – Минск : БелНИИИИТИ, 1984. – 36 с.
7. Панов А. А. Управление автоматизированными производственными системами с использованием датчиков и микропроцессоров / А. А. Панов // Автоматизация и современные технологии. – 1992. – № 10. – С. 30 – 31.
8. Богушевский В. С. Автоматизация технологического процесса литья под давлением / В. С. Богушевский, Я. К. Антонец. // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – № 4. – С. 29–33.
9. Богушевский В. С. Система керування машинами лиття під тиском / В. С. Богушевский, Я. К. Антонец. // Наукові праці НУХТ. – 2013. – № 48. – С. 10–17.
10. Филипенко Е. В. Использование статистических методов анализа при мониторинге брака отливок в литейных цехах / Е. В. Филипенко, В. М. Карпенко, В. П. Самарай // Металл и литье Украины. – 2011. – № 5 (216). – С. 10–15.