

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ ГРУППОЙ МАШИН МЕТОДОМ «ПЕРЕДВИГАЕМОГО» УЗКОГО МЕСТА

О.Ю. Кузнецова, К.А. Харахнин (Череповецкий государственный университет)

Рассматривается алгоритм принятия решений для построения последовательности выполнения заданий для группы машин с целью минимизации общего времени выполнения работ методом «передвигаемого» узкого места. Для отдельных машин последовательность обработки выбирается методом Largest Tail по наибольшей остаточной длительности. Рассматривается изменение графика при уменьшении объема партии.

Ключевые слова: передвигаемое узкое место, остаточная длительность, расписание для группы машин.

Введение

Металлургическое производство характеризуется длительным циклом обработки и большим объемом производственных запасов, поэтому точное планирование производственных операций становится важным методом оптимизации запасов незавершенного производства и оборотных средств предприятия, а также повышения уровня клиентоориентированности компании (выполнение заказов точно в срок). В данном случае под точным планированием понимается построение графика, в соответствии с которым будет выполняться производство: когда и на каком агрегате будет обрабатываться запас или группа запасов.

Выпускаемая продукция характеризуется большим числом характеристик. Обычно планировщик анализирует более десятка характеристик готового продукта в зависимости от производства, которое он планирует. Основными среди них являются характеристики на марку и продукцию, стандарты: допуски, маршрутная карта, размеры, химические и технические характеристики, зависящие от стандарта. Аналогичный набор характеристик разработан на полуфабрикаты. При планировании производства также необходимо учитывать параметры оборудования, на котором будет выполняться соответствующая производственная операция: ограничения на входную заготовку, а также ограничения на выходе из агрегата. Так, планировщик стана горячей прокатки видит в своих интерфейсах около сотни параметров по каждому заказу, еще столько же параметров характеризует запас. Эти параметры могут использоваться не одновременно и быть представленными на разных интерфейсах в зависимости от операции, которую выполняет пользователь. Еще большее число параметров поступает в систему планирования и анализируется системой, помогающей пользователю принимать решения и исключаяющей ошибки. При ручном планировании система проверяет на корректность определенное действие пользователя: сравниваются параметры химического состава запаса и заказа, технические характеристики, а также геометрические параметры запаса и ограничения на агрегате производства.

При автоматических расчетах в задачах оптимизации необходимо анализировать эти параметры не для одного действия, а пересчитывать большое число доступных вариантов назначений запаса и последовательности выполнения. Под выполнением

следует понимать и последовательность выполнения заданий — однотипных заказов с целью уменьшения числа перевалок и последовательность выполнения заказов в этих заданиях. Формирование расписания занимает значительное время, напрямую зависящее от объемов запаса, числа заказов и принимаемых во внимание параметров этих сущностей. В процессе выполнения этого расписания может происходить отклонение от регламента, появление несоответствующей продукции, поступление новых заказов, выход из строя оборудования. Все эти события требуют пересмотра существующего расписания, то есть пересмотр расписания является непрерывным процессом. В это время с заказами, запасами, машинами в системе планирования также работают люди, и любое их действие также влияет на сформированное расписание.

Все это в совокупности делает задачу планирования операций сложной и ресурсоемкой. Именно поэтому требуется глубокая проработка моделей и алгоритмов, описывающих производственный процесс, а также процессы планирования, начиная с закупки полуфабриката и заканчивая производством готовой продукции.

Существует большое число алгоритмов для решения задачи поиска оптимального расписания выполнения работ. При этом методы решения зачастую универсальны, то есть применимы в различных отраслях знаний. Но при выборе метода для решения фактической задачи следует руководствоваться спецификой производства, для которого выбирается модель или алгоритм. Так в книге ««Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок» приведен длинный список моделей принятия решений для различных задач планирования [1]. Но на практике, зачастую, возникают более сложные задачи, требующие комбинации методов в зависимости от фактических особенностей производства и бизнес-процесса. В случаях с небольшими объемами хорошие результаты могут быть достигнуты с использованием достаточно простых алгоритмов. На крупных производствах с большим числом заказов и машин задача планирования делится на несколько уровней — оперативное планирование, детальный уровень, ограниченные горизонтами планирования.

Рассмотрим алгоритм «передвигаемого» узкого места формирования последовательности производственных заданий для технологического оборудования металлур-

гического производства с целью минимизации совокупного времени выполнения операций, описанный в [1]. Для выбора первой работы используется алгоритм LT (largest tail), оценивающий время выполнения каждой операции с учетом остаточной длительности производственных операций [2].

Таблица 1. Маршрут производства

Продукция	Цепочка агрегатов
1	Перемотка рулона на агрегате резки А→ Порезка на агрегате резки В→ Прокатка на стане С
2	Порезка рулона на агрегате резки А→ Прокатка на стане D
3	Порезка на агрегате резки В→ Прокатка на стане С
4	Прокатка на стане E

Решение задачи

Пусть имеются объемы заказов продукции, которые необходимо произвести. Заказы приняты в производство и имеют одинаковую важность. Суммарный объем (масса) продукции одного типа определяется по формуле:

$$m_n = \sum_{i=1}^{ln} m_{n,i},$$

где ln — число заказов на продукцию типа n .

Каждому виду продукции соответствует определенный набор параметров: профиль и профилаэрозмер, длина, марка. Считаем, что соответствующие полуфабрикаты уже назначены под заказы и имеются в необходимом для производства готовой продукции объеме на складе.

Для выполнения заказов требуется последовательная обработка заготовок на различных агрегатах. В зависимости от параметров продукции, определенных в заказе, определяется тип необходимого полуфабриката, получаемого из других производств (различные виды входных рулонов). В зависимости от вида продукции формируются маршруты производства — цепочки агрегатов, по которой должен пройти полуфабрикат (ПФ) до получения готовой продукции. Обозначим машины буквами А, В, С, D, E (табл. 1).

Таким образом, на агрегате резки А могут выполняться две операции: перемотка и порезка. Пе-

ремotka — это порезка по длине. На выходе получаются рулоны с меньшим весом. Вторая операция — это порезка рулона по ширине заготовки для прокатки.

Технология производства продукции 1 предполагает прохождение последовательно машин А, В, С. Таким обра-

зом, на агрегате А (а затем и на последующих) возникнет очередь из заказов по продукции 1. Так как агрегат А почувствует и в цепочке производства продукции 2, то последовательность перед агрегатом А состоит из двух очередей продукции 1 и 2. После выхода из агрегата А очереди могут снова разделиться и идти на разное оборудование в том же порядке, что и до А. Таким образом, необходимо решить каким образом сформировать последовательность из двух входных очередей (рис. 1).

После выполнения операции на машине А ПФ продукции 2 становится в очередь на агрегат D. После выполнения операции на машине А ПФ продукции 1 становится в очередь на машину В вместе с ПФ продукции 3.

Последовательность выполнения должна быть сформированы таким образом, чтобы суммарное время выполнения всех цепочек для всех заказов было минимальным:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k k_{ij} * (t_{ij} + p_{ij}) \rightarrow \min,$$

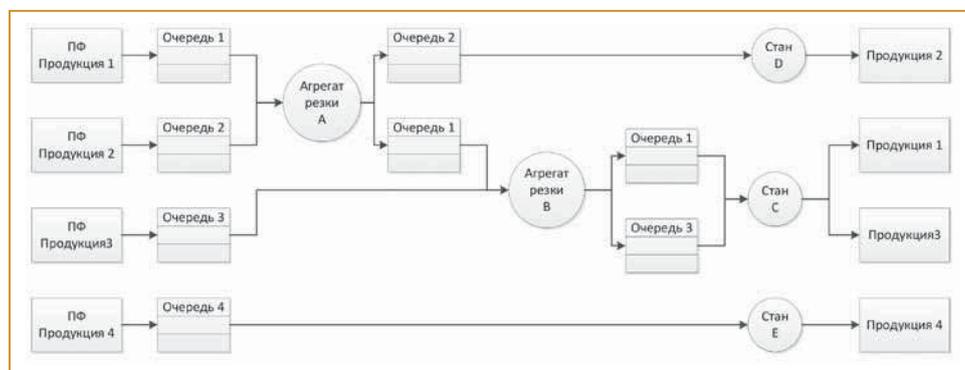


Рис. 1. Схема формирования очередей для машин А, В, С, D, E для производства продукции 1, 2, 3, 4

Таблица 2. Время обработки продукции для каждого агрегата

Продукция	Масса, т	Машина А		Машина В		Машина С		Машина D		Машина E		Длительность производства
		S	t	S	t	S	t	S	t	S	t	
Продукция 1	800	100	8	100	8	50	16			-	-	32
Продукция 2	1600	80	20	-	-	-	-	100	16	-	-	36
Продукция 3	500	-	-	50	10	25	20	-	-	-	-	30
Продукция 4	2100	-	-	-	-	-	-	-	-	60	35	35

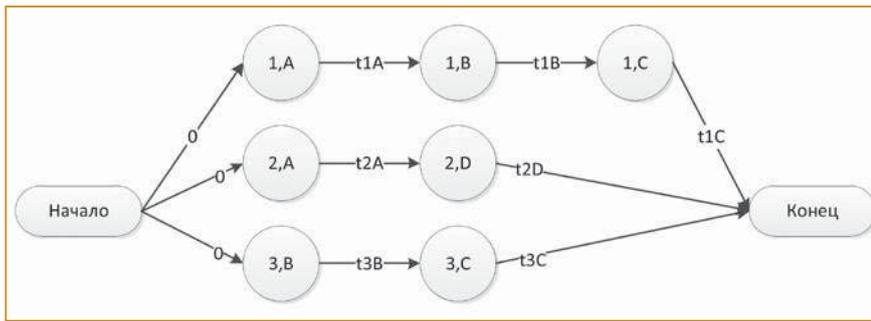


Рис. 2. Граф последовательности выполнения работ

Таблица 3. Расчетные данные

Шаг	Машина	Продукция	Время обработки t_{ij}	Время прибытия r_{ij}	Остаточная длительность q_{ij}	Оптимальная последовательность	Длительность производства
1	А	1	8	0	24	{1,2}	28
		2	20	0	16		
		3	-	-	-		
	В	1	8	8	16	{3,1}	18
		2	-	-	-		
		3	10	0	20		
	С	1	16	16	0	{3,1}	46
		2	-	-	-		
		3	20	10	0		
	D	1	-	-	-	{3}	36
		2	16	20	0		
		3	-	-	-		
2	А	1	8	0	24	{1,2}	28
		2	20	0	16		
		3	-	-	-		
	В	1	8	8	30	{3,1}	26
		2	-	-	-		
		3	10	0	20		
	D	1	-	-	-	{3}	16
		2	16	20	0		
		3	-	-	-		
3	В	1	8	8	38	{3,1}	18
		2	-	-	-		
		3	10	0	20		
	D	1	-	-	-	{2}	16
		2	16	28	0		
		3	-	-	-		

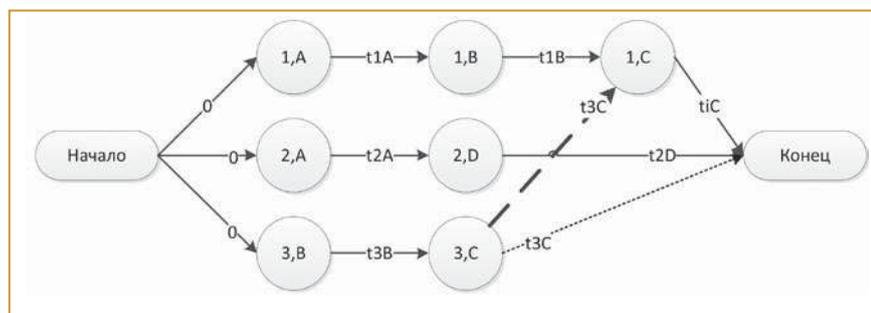


Рис. 3. Граф после первого шага

$k_{ij} \in \{0,1\}$ - коэффициент, определяющий обрабатывается ли i -ый заказ на j -той машине; t_{ij} - время обработки i -того заказа на j -той машине; p_{ij} - время ожидания в очереди i -го заказа на j -той машине.

При этом t_{ij} зависит от объема заказа и производительности соответствующего агрегата, на котором выполняется операция. Для всех продуктов известна производительность s_{ij} для каждой машины.

Зная требуемый объем m_i выпуска каждого продукта, найдем время обработки t_{ij} , которое потребуется для выполнения операции на каждой машине из цепочки операций в зависимости от вида продукта (табл. 2):

$$t_{ij} = \frac{m_i}{s_{ij}}$$

Для минимизации суммарного времени обработки необходимо построить оптимальную последовательность выполнения работ. Данная задача относится к разделу календарного планирования построения расписаний для параллельных машин с отношениями предшествования для выполнения операций [3].

Построим расписание для продукции 1, 2, 3, 4. Так как на машине Е обрабатывается только продукция 4, то для него можно построить расписание, независимое от других машин.

Составим расписания для продукции 1, 2, 3. Построим исходный граф (рис. 2) и выполним расчеты для поиска оптимальных последовательностей.

Заполним данные по времени обработки t_{ij} , времени прибытия r_{ij} и остаточной длительности q_{ij} по исходному графу (табл. 3, шаг 1). Так для первой машины операция 1 имеет время обработки t_{1A} , время прибытия 0, остаточная длительность равна $t_{1B} + t_{1C}$. Для операции 2 время обработки равно t_{2A} , время прибытия 0, остаточная длительность t_{2D} .

При построении оптимальной последовательности выполнения операций на одной машине операции выбираются в порядке уменьшения значения остаточной длительности.

Машина С является «узким местом», так как имеет наибольшую продолжительность обработки заготовок. В графе для машины 3 появляется новая дуга (рис. 3) согласно полученной оптимальной последовательности, поэтому для некоторых

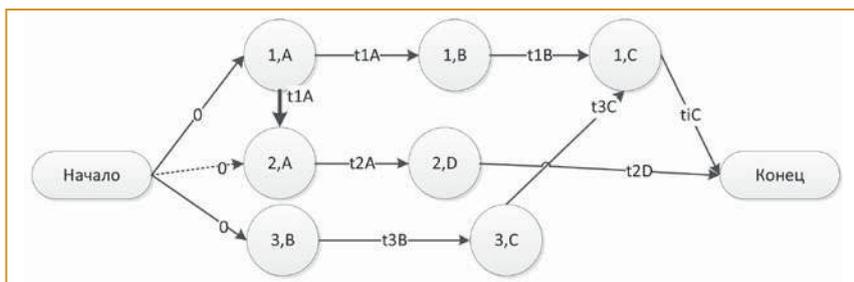


Рис. 4. Граф после второго шага

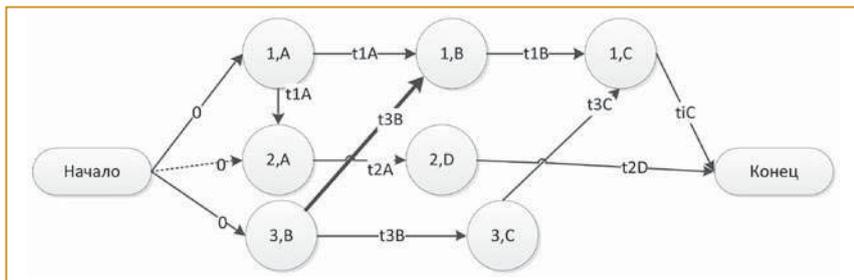


Рис. 4. Граф после второго шага

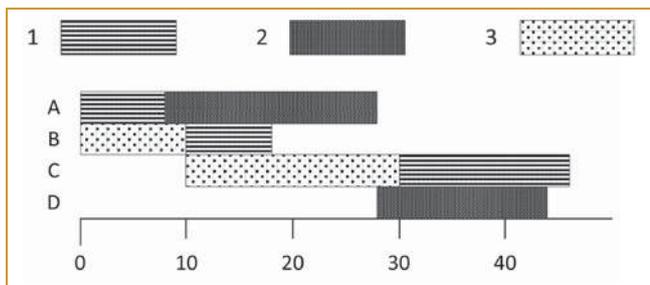


Рис. 6. Диаграмма последовательности обработки

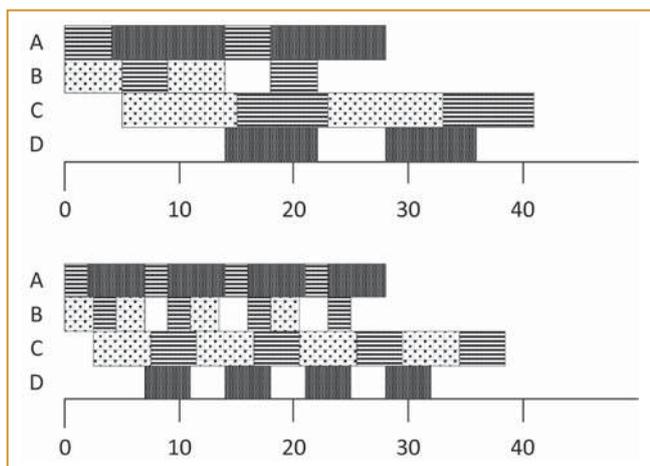


Рис. 7. Диаграмма Ганта после уменьшения объемов

работ меняется время прибытия и остаточная длительность. Выполним расчеты для следующих шагов (табл. 3, шаги 2, 3) и построим новые графы (рис. 4, 5).

На основе полученных данных построим диаграмму Ганта для загрузки машин (рис. 6). На диаграмме пока-

зана последовательность обработки каждого вида продукции для каждой из машин, которая актуальна для расчетных данных. Рассмотрим случай, если каждый объем уменьшится в два раза, а затем в четыре раза, при этом последовательность выполнения останется прежней (рис. 7).

Рисунок 7-а показывает, что суммарное время выполнения всех операций уменьшилось с 46 ч (рис. 6) до 42 ч, также сократилось время ожидания на машине С с 10 ч (рис. 6) до 5 ч. При этом из-за образовавшегося простоя машина В освобождается позже, чем в рассчитанном варианте.

На рис. 7-б объемы стали еще меньше, суммарное время снова уменьшилось до 38 ч, машина В освобождается еще позже. Становится больше простоев, вызванных ожи-

данием поступления продукции с предыдущего агрегата. При этом следует понимать, что при увеличении числа простоев график становится менее напряженным и следовательно выполнимым.

При расчете последовательности обработки время на переналадку не учитывалось. Но при уменьшении объемов число переналадок значительно возрастает с 7 ед. в расчетном варианте, до 28 ед. в последнем варианте. Таким образом, построение последовательности обработки тесно связано с выбором оптимального размера обрабатываемой партии и времени на переналадку оборудования.

Выводы

1. Для расчетных данных построен график выполнения всех работ методом «передвигаемого» узкого места с минимальным суммарным временем выполнения всех операций.
2. При уменьшении объема партии суммарное время выполнения всех операций уменьшается, но при этом возрастает число простоев и переналадок.
3. Выбор оптимального размера партии зависит от времени переналадки каждой машины.

Список литературы

1. Мауэргауз Ю.Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика. 2012. 574 с.
2. Carlier J. The one Machine Sequencing Problem // European Journal of Operational Research. 1982. vol. 11. pp. 544-546.
3. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний задачи и алгоритмы. М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ). 2011. 222 с.

Кузнецова Оксана Юрьевна – аспирант, Харахнин Константин Аркадьевич – канд. техн. наук, доцент, советник при ректорате Череповецкого государственного университета. E-mail: oukuznetcova@severstal.com harahninka@chsu.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Н.В. Осипова (НИТУ «МИСиС»)

Рассмотрена система автоматического управления (САУ) мокрой магнитной сепарацией железной руды, реализующая способы регулирования для стабилизации содержания железа в концентрате и снижения его потерь в хвостах мокрой магнитной сепарации на обогатительных фабриках. Приведена структурная схема системы управления. Разработана виртуальная модель САУ магнитного сепаратора, используемая в учебно-лабораторном стенде на кафедре автоматизации НИТУ «МИСиС».

Ключевые слова: магнитная сепарация, САУ, математическая модель, концентрат, хвосты, содержание железа в пульпе.

Введение

Обогащение полезных ископаемых включает целый комплекс операций и методов, в результате которых происходит разделение металлов и минералов по их физико-механическим свойствам. Целью данного процесса является увеличение содержания ценного компонента в сырье путем удаления вредных примесей и пустой породы.

Выделению полезных минералов из горной породы предшествует рудоподготовка, куда входят дробление, грохочение, измельчение и классификация. На данном этапе происходит уменьшение размеров кусков исходного сырья до требуемого класса крупности. Следующим звеном выступает непосредственно сам процесс обогащения. Он включает, как правило, сепарацию, обесшламливание и флотацию, которые осуществляются в водной среде. При этом исходный материал (пульпа) в зависимости от стадии обогащения может разделяться на промежуточный продукт и хвосты либо на концентрат и хвосты. Заключительными этапами являются процессы сгущения, обезвоживания и сушки концентрата.

Магнитный сепаратор как объект управления

Мокрая магнитная сепарация — одна из основных стадий обогащения на железорудных ГОКах. С помощью нее происходит разделение исходного потока пульпы на концентрат с высоким содержанием полезного компонента (железа) и хвосты с незначительной долей ценного элемента. Сепаратор имеет барабан 1, который вращается вокруг оси 2 с определенной частотой, и неподвижную магнитную систему 3, закрепленную у него внутри и создающую магнитное поле в зоне 4. Частицы в пульпе с высокой магнитной восприимчивостью притягиваются к барабану и уносятся в отделение концентрата, а немагнитные смываются в отделение хвостов [1].

Согласно технологическому регламенту обогатительной фабрики, продукты магнитного обогащения должны удовлетворять следующим требованиям: содержание железа общего β_0

и магнетитового β_m в концентрате должно быть заданным с отклонениями, устанавливаемыми техническими условиями, а его потери в хвостах v_0 , v_m могут составлять не более допустимого значения.

Известные на сегодняшний день подходы к регулированию [1–4] позволяют стабилизировать параметры продукции только на первой стадии магнитной сепарации. Для завершающей стадии обогащения разработаны лишь алгоритмы, наиболее подходящие для «ручных» расчетов и применимые, в основном, в целях организации и планирования производства и адаптированные под определенную обогатительную фабрику. Использование их в автоматическом управлении технологическим процессом практически невозможно.

Рассмотрим подход к построению системы автоматического управления (САУ) мокрой магнитной сепарацией железной руды, характеризующийся универсальностью и может быть найден применение на завершающей стадии данного процесса, где изменение режимов измельчительных и классифицирующих аппаратов не представляется возможным. До настоящего времени этот этап не автоматизирован, управление технологическим процессом осуществляется вручную.

Система автоматического управления

В качестве управляющих воздействий для стабилизации содержания железа в концентрате выберем изменение частоты вращения барабана сепаратора, а для регулирования потерь в хвостах — расход воды в ванну сепаратора. Выбор обоснован отсутствием запаздывания между данными воздействиями и выходными показателями. Управление напряженностью поля и зазором между барабаном и лотком не предоставляется возможным, так как требует сильного изменения конструкции сепаратора.

Схема автоматизации процесса мокрой магнитной сепарации представлена на рис. 2. Объект управления включает магнитный сепаратор с асинхронным двигателем 1, приводящим во вращение барабан 2. Посредством регулирующего клапана 3 с бло-

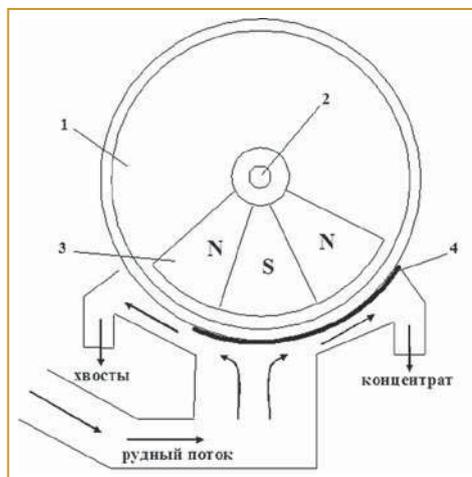


Рис. 1. Схема магнитного сепаратора

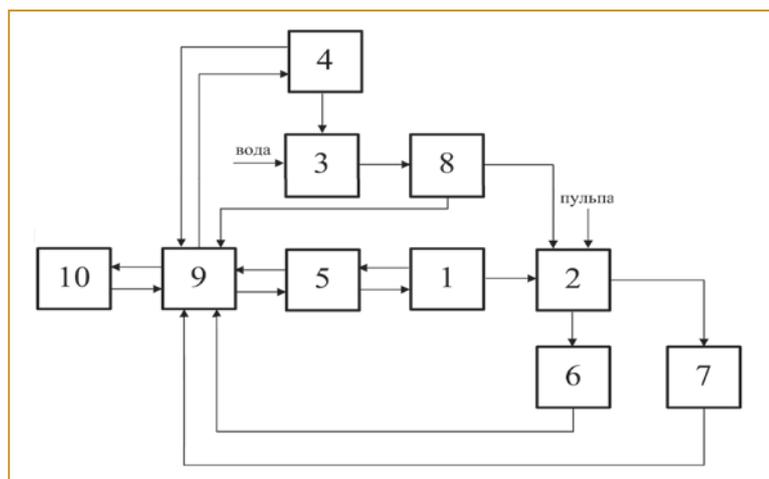


Рис. 2. Схема управления процессом мокрой магнитной сепарации, где 1 – асинхронный двигатель; 2 – барабан сепаратора; 3 – клапан; 4 – блок управления клапаном; 5 – преобразователь частоты; 6 – анализатор содержания магнетита в концентрате; 7 – анализатор содержания магнетита в хвостах; 8 – расходомер воды; 9 – программируемый логический контроллер; 10 – экранная панель

ком управления (БУ) 4 происходит изменение подачи воды в ванну сепаратора. Управление двигателем 1 осуществляется с помощью преобразователя частоты (ПЧ) 5. Содержание железа в концентрате и хвостах измеряется анализаторами 6, 7 соответственно. Расход воды измеряется расходомером 8. Входы и выходы БУ, ПЧ, выходы анализаторов 6, 7 и датчика 8 соединены с модулями ввода-вывода ПЛК 9. К процессору ПЛК подключена экранная панель 10, с которой оператором вводятся режимные параметры для стабилизации показателей обогащения, отработки защит, блокировок и программно-логического управления клапаном и асинхронным двигателем.

В программу управления сепарацией заложены два алгоритма.

1) Алгоритм ПИД-регулирования для стабилизации содержания железа в концентрате.

После ввода оператором требуемых значений каждого из показателей, устанавливаемых технологиче-



Рис. 3. Управление магнитным сепаратором

ским регламентом обогатительной фабрики, выполняется запуск программы ПЛК. Далее вычисляется ошибка $\varepsilon_{\beta}(t)$, то есть разница между содержанием железа в концентрате, введенным оператором, и текущей масштабируемой величиной, полученной с анализаторов 6 и 7. Если $\varepsilon_{\beta}(t)$ отлична от нуля, то программа ПЛК вырабатывает управляющий выходной сигнал.

2) Алгоритм позиционного регулирования для стабилизации потерь железа в хвостах.

Позиционный регулятор управления клапаном подачи воды работает в соответствии со следующим принципом: если разница $\varepsilon_{\nu}(t)$ между текущей масштабируемой величиной потерь железа в хвостах и допустимым значением, введенным оператором, больше нуля, то контроллер вырабатывает сигнал на закрытие клапана. Затем на вход блока управления клапаном подается сигнал с целью уменьшения подачи воды в ванну сепаратора. Если $\varepsilon_{\nu}(t) = 0$, клапан сохраняет свое положение.

САУ магнитной сепарацией была исследована на математической модели, подробно описанной в [5,6]. Модель была запрограммирована в пакете прикладных программ Matlab Simulink.

Учебно-лабораторный стенд

Для отработки принятых архитектурных и алгоритмических решений на кафедре Автоматизации НИТУ «МИСиС» разработан учебно-лабораторный стенд, используемый для проведения занятий по дисциплине «Программное обеспечение систем управления» в рамках подготовки бакалавров по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах».

В основу стенда положена виртуальная модель САУ магнитной сепарацией, отражающая динамику показателей обогащения — содержания магнетитового железа в концентрате и хвостах при скачкообразном изменении задания по частоте вращения барабана и степени открытия клапана. В модели САУ в качестве имитации возмущений используется блок «Изменение свойств пульпы», который генерирует в определенные моменты времени различные значения концентрации железа в пульпе.

Интерфейс оператора процесса магнитной сепарации включает два экрана: «Управление магнитным сепаратором» и «Временные диаграммы».

При включении питания и загрузке экранной панели по умолчанию запускается первый экран (рис. 3). На нем представлен магнитный сепаратор, схематично показаны подводящие трубопроводы с клапаном, регулирующим расход воды, и расходомером, а также трубопровод с потоком железорудной пульпы. На отводящих трубах обозначены анализаторы содержания железа в концентрате и хвостах. У сепаратора также имеется электродвигатель.

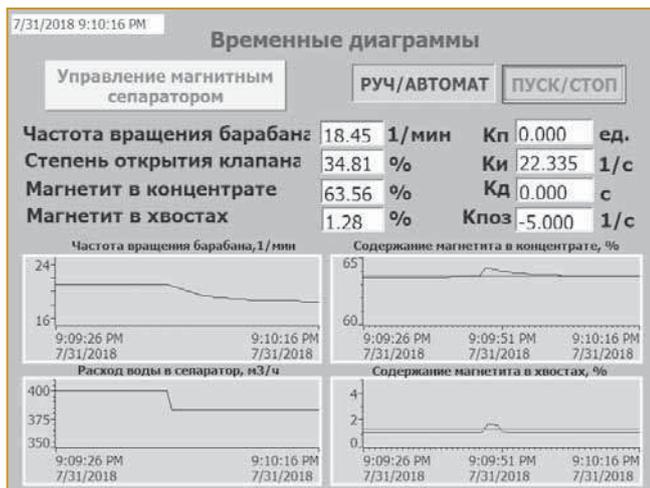


Рис. 4. Временные диаграммы

На данном экране отображается процент открытия клапана, расход воды, частота вращения барабана сепаратора, процентное содержание железа в концентрате и в хвостах. Также имеются переключатель ПУСК/СТОП для активации/деактивации работы экрана, кнопки ON/OFF для управления клапаном, для включения/отключения электродвигателя сепаратора, лампы для сигнализации конечных положений клапана «открыто»/«закрыто», общей неисправности, перегрузки двигателя и переход на экран «Временные диаграммы».

Второй экран демонстрирует переходные процессы технологических показателей обогащения и управляющие воздействия (рис. 4). Верхний график слева показывает частоту вращения барабана сепаратора, снизу от него отображается расход воды в ванне сепаратора. В верхней правой части представлен переходной процесс изменения содержания железа в концентрате, а в нижней правой — временная диаграмма потерь железа в хвостах. С экрана можно задавать настроечные коэффициенты регуляторов, требуемое содержание магнетита в концентрате и хвостах, а также частоту вращения барабана и степень открытия клапана при переключении на ручной режим работы, которое происходит с помощью кнопки «РУЧ/АВТОМАТ».

Стенд позволяет проводить исследования реакции САУ на изменение характеристик пульпы в определенные моменты времени.

На графиках в правой части экрана рис. 4 изменение свойств характеризуется внезапными выбросами

*Найдена неизвестная картина
Казимира Малевича «Черная
квадратура круга».*
Валентин Домиль

железа в концентрате относительно уровня задания, показанного прямой линией. Его содержание в хвостах колеблется, но остается в пределах допустимого значения, также показанного прямой линией. Несмотря на эти возмущения, регуляторы вычисляют управляющие переменные таким образом, чтобы обеспечивался быстрый вывод объекта в режим работы для сохранения требуемых показателей качества.

Заключение

Исследования и численные эксперименты на модели подтвердили возможность автоматизированного управления магнитным сепаратором путем регулирования расхода воды в ванну сепаратора и частоты вращения барабана сепаратора. Отработанные на стенде алгоритмы управления могут быть внедрены на всех стадиях технологического процесса магнитной сепарации, включая завершающую. До настоящего времени завершающая стадия не автоматизирована и выполняется под ручным управлением.

Список литературы

1. Шупов Л.П. Прикладные математические методы в обогащении полезных ископаемых. М.: «Недра», 1972. 168 с.
2. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик: Уч. для вузов. М.: «Недра». 1983. 277 с.
3. Борщ Т.В. Нечеткий регулятор массовой доли железа в концентрате по сигналу магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора // Научный вестник НГУ. 2013. № 4. С. 90-94.
4. Ubaj Jusef Salamah Al' Madadha. Nauchnyj vestnik NGU. URL: <http://vde.nmu.org.ua/ua/science/ntz/archive/81/19.pdf> (data obrashhenija: 30.05.2017).
5. Osipova N.V. Model of stabilization of the quality of iron-ore concentrate in the process of magnetic separation with the use of extreme regulation, Metallurgist. 2018. vol. 62, nos. 3-4. pp. 303-309. DOI 10.1007/s11015-018-0660-8.
6. Osipova N.V. The use of Kalman filter in automatic control of indicators of iron ores magnetic concentration, Izvestiya Visshikh Uchebnykh Zavedenii. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2018. vol. 61, iss. 5, pp. 372-377. DOI: <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2018-5-372-377>.

*Осипова Нина Витальевна — канд. техн. наук, доцент НИТУ «Московский институт стали и сплавов», МГТУ им. Н.Э. Баумана, МТУ МИРЭА.
E-mail: nvo86@mail.ru*

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

через каталоги "Роспечать" **81874** и "Пресса России" **39206** • сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru