НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ ФАБРИК

А. Г. Астахов, В. И. Кириллов, Н. Ф. Федоровский, Г. М. Хаиндрава

Тбилиси

Интенсивная работа мощных доменных печей требует повышения качества агломерата, в особенности его однородности.

Возмущения в составе агломерата обусловлены, отчасти, химической неоднородностью исходного сырья. Эти возмущения достаточно изучены [1]. Они устраняются целесообразным дроблением аглошихты и последующим тщательным усреднением каждого компонента.

Однако в шихтовых (дозировочных) отделениях, куда поступает уже усредненное сырье, возникают новые возмущения в соотношениях компонентов аглошихты, также вызывающие неоднородность свойств

агломерата. В зависимости от причин, вызывающих эти нарушения в соотношении, их можно разбить на две группы:

1. Нарушения, вызываемые неточностью дозировки (неравномерным сходом материалов из бункеров шихтового отделения, «зависанием» материалов или образованием «хвостов» при переходе с одного бункера на другой).

2. Нарушения, вызываемые необходимостью согласования производительности шихтового отделения с потребностью спекательного отделения.

Возмущениям первой группы уделено значительное внимание [2, 3]. Применение систем автоматического дозирования, оснащенных блоками подключения резервных бункеров и устройствами обрушения «зависших» материалов, существенно сужает диапазон изменений свойств агломерата, вызываемых этим видом возмущений.

Сравнительные характеристики различных режимов

Параметр	Точность соблюдения соотношения компонентов при корректировке производительности	Точность определения момента корректировки и ее величины
1	2	3
A	Невысокая, так как изменение задания происходит вручную. Это приводит к существенным ошибкам в случае изменения автономной системы дозирования и значительным — в случае применения системы, следящей за ведущим компонентом.	Невысокая, так как моменты изменения груза определяются индуктивно. Поэтому вслед за командой на уменьшение груза может быть дана команда на его увеличение, что вызывает дополнительные ошибки в соотношении компонентов при излишне частых передозировках. Качество агломерата понижается. Возможны простои агломашин.
B	Невысокая, так как поток часто останавливается (или снимается груз с последующей остановкой потока), то возрастает отрицательное влияние «хвостов» на качество агломерата и процесс спекания.	То же, что и в режиме А, но вместо изменения груза останавливают и пускают поток. Поэтому возрастает отрицательное влияние «хвостов» на качество агломерата. Возможны простои агломашин из-за отсутствия шихты и запалы бункеров спекательного отделения.
C	Так как корректировка производительности не производится, точность соблюдения соотношения компонентов в любой момент времени определяется точностью химанализов и системы автодозирования.	

Характер возмущений второй группы изучен недостаточно. Частичному восполнению этого пробела и служит материал, излагаемый в настоящей работе.

Производительность шихтового отделения определяется потребностью в шихте спекательного отделения, которая зависит от числа и производительности агломашин. Производительность же агломашины — случайная импульсно-непрерывная функция времени. Она определяется ходом процесса спекания, надежностью электромеханической части машины, тракта подачи шихты и вспомогательных агрегатов и механизмов, наличием транспорта для перевозки агломерата, наличием шихты в бункерах спекательного отделения и т. п. Поэтому потребность спекательного отделения в шихте непрерывно меняется, причем предусмотреть заранее направление изменения (за исключением редких случаев планового ремонта) практически невозможно. Роль «буферных» емкостей выполняют бункеры спекательного отделения, однако их емкость

Таблица 1

работы шихтовых отделений аглофабрик

Режим работы механического и электрооборудования и их надежность	Число аварийных остановок и качество агломерата	Влияние отсутствия автоматической корректировки производительности на качество процесса спекания
4	5	6
Электрооборудование отделения работает в непрерывном режиме, иногда с пониженной нагрузкой. Надежность всего оборудования высокая.	Аварийные остановки редки, поэтому не могут оказать решающего влияния на качество агломерата.	Вследствие частых нарушений соотношения компонентов качество процесса спекания остается неоптимальным. При отсутствии дозировки возврата изменяется процентное содержание возврата в шихте, что приводит к увеличению нестабильности процесса спекания.
Частые пуски и остановки потока резко уменьшают надежность оборудования. При простое шихтового отделения значительная часть асинхронных двигателей работает вхолостую, что понижает и КПД отделения.	Достаточно велико. Качество агломерата ухудшается влиянием «хвостов» при аварийных остановках.	То же, что и режим А, но нарушения соотношения компонентов вызываются многочисленными «хвостами» при пусках и остановках потока. Соотношения шихта—возврат изменяется меньше, чем в режиме А, особенно в случае хотя бы примерной стабилизации выдачи возврата.
То же, что и режим А, но нагрузка на электрооборудование постоянна.	То же, что и режим А.	Качество процесса спекания низкое, так как процесс стабилизируется только колебаниями процентного соотношения шихта—возврат. Если агломератчики будут регулировать процесс спекания с целью оптимизации его потребуется корректировка производительности шихтового отделения и переход в режим А и В.

ограничена. Чтобы не допустить переполнения бункеров шихтой или, наоборот, не оставить агломашины без шихты, агломератчик спекательного отделения и старший дозировщик шихтового отделения вынуждены согласовывать производительность шихтового отделения с потребностью спекательного. На действующих аглофабриках это согласование осуществляется, как выяснилось, тремя основными способами.

При первом способе согласования сборный транспортер шихтового отделения не останавливается. При возникновении возможности переполнения бункеров спекательного отделения шихтой старший агломератчик подает старшему дозировщику команду на уменьшение общего количества шихты. Дозировщик, поочередно управляя питателями на указанную величину расхода компонентов, стремится оставить постоянным их соотношение и не допустить «хвостов». При недостатке шихты в бункерах спекательного отделения производительность шихтового отделения аналогичным путем увеличивается. Такой режим (режим *А*) характерен для шихтовых отделений аглофабрик Южного горнообогатительного комбината (ЮГОК), Ждановского завода «Азовсталь», Ново-Липецкого металлургического завода, Камыш-Бурунского железорудного комбината (КБЖРК) и др.

При втором способе согласования производительности общее количество шихты, подаваемое ежесекундно из шихтового отделения в спекательное, как правило, не изменяется. Чтобы избежать остановок агломашин из-за недостатка материала, шихтовое отделение работает с некоторым избытком производительности. При этом неизбежно возникает возможность переполнения бункеров спекательного отделения, что вызывает остановку тракта подачи шихты. Как только возникает угроза остановки агломашин из-за недостачи материала, подается команда на пуск тракта подачи. В этом случае шихтовое отделение работает с постоянной производительностью, но в своеобразном «импульсном» режиме (режим *В*). Такой режим характерен для аглофабрик Ново-Криворожского горнообогатительного комбината (НКГОК) и Орско-Халиловского металлургического комбината (ОХМК).

На аглофабриках, работающих в режиме *С*, не изменяют производительности шихтового отделения и не останавливают тракт подачи, а выдерживают производительность спекательного отделения такой, чтобы не возникло возможности переполнения бункеров или недостачи шихты независимо от хода процесса спекания. В режиме *С* работают немногие аглофабрики и в основном те из них, где имеются большие резервные емкости для возврата, за счет которых значительные, а поэтому нежелательные колебания процесса спекания не вызывают нарушений производственного ритма и остановок тракта подачи шихты.

Приведенные в табл. 1 сравнительные характеристики выявленных режимов позволяют качественно оценить влияние различных параметров на величину возмущений в составе агломерата, вызываемых согласованием производительности шихтового отделения с потребностью спекательного, а также определить достоинства и недостатки того или иного режима.

Однако знания только качественных оценок недостаточно. Весьма важно знать количественную сторону явлений (как часто производятся корректировки производительности шихтового отделения, какова величина корректирующего и т. п.). Так как производительность спекательного отделения (а, следовательно, и его потребность в шихте) представляет собой случайную, импульсно-непрерывную функцию времени; а определение момента и величины изменения производительности шихтового отделения (при работе в режиме *А*), или моментов

пусков и остановок потока (при работе в режиме B) осуществляется интуитивно соответствующим персоналом аглофабрики, что усиливает элемент случайности, то в целом процесс снабжения спекательного отделения является стохастическим процессом, который, как известно [4, 5], с количественной стороны оценивается своими вероятностными характеристиками. С целью получения таковых была произведена регистрация процесса снабжения шихтой и обработка представительных реализаций процесса для некоторых шихтовых отделений, работающих в различных режимах.

I. Режим A

Процесс снабжения спекательного отделения шихтой на аглофабриках, работающих в режиме A, протекает во времени приблизительно однородно и имеет вид непрерывных случайных ступенчатых «колебаний» секундного расхода шихты $Q_{ш}(t)$ вокруг некоторого среднего значения $Q_{ш.ср.}$, обусловленного планом аглофабрики, причем ни амплитуда, ни характер этих колебаний не обнаруживают существенных изменений с течением времени, поэтому естественно предположить, что указанный стохастический процесс обладает эргодическим свойством. Известно, что если стохастический процесс обладает эргодическим свойством, то все вероятностные характеристики процесса (среднюю производительность $Q_{ш.ср.}$, дисперсию, корреляционную функцию) можно определять по одной достаточно длинной реализации [4, 5].

Минимальная производительность реализации определялась следующим образом. По ограниченной суточной реализации процесса в шихтовом отделении аглофабрики Ждановского завода «Азовсталь» приближенными подсчетами было установлено, что нормированная автокорреляционная функция процесса $r(\tau)$ начинает колебаться в 10-процентной окрестности нуля примерно при $\tau=3$ *час*. Принимая максимальный интервал, до которого будет рассчитываться $r(\tau)$ равным $\tau_{max}=3\tau=9$ *час*, и, пользуясь рекомендациями Б. Н. Кутина [6], была определена минимальная длительность представительной реализации исследуемого процесса $T_н$ для обеспечения максимальной средней квадратической ошибки определения $r(\tau)$, которая имеет место при $\tau=\tau_{max}$ не более 5%: $T_н=10\tau_{max}=90$ *час*.

Кроме того, каждая из четырех бригад рабочих аглофабрики «ведет» процесс снабжения несколько своеобразно, поэтому если принять реализацию процесса при работе какой-либо бригады в течение одной смены за один опыт, то для увеличения состоятельности среднего результата каждой бригады в 2 раза необходимо произвести не менее 4-х опытов [4]. Иначе говоря, чтобы уменьшить в 2 раза ошибку влияния случайных колебаний «стиля работы» каждой бригады на общий результат, необходимо увеличить $T_н$ до четырех смен для каждой бригады, поэтому продолжительность реализации должна быть не менее $T_н=4\cdot4=16$ смен, или 128 *час*. Попутно заметим, что если потребовать уменьшения средней квадратической ошибки среднего результата каждой бригады в 3 раза, то длительность представительной реализации должна быть не менее $T_н=4\cdot9=36$ смен или 12 суток. Незначительное увеличение точности учета индивидуальных особенностей каждой бригады привело, как видим, к существенному увеличению требуемого времени наблюдения $T_н$, что, очевидно, экономически не оправдано.

Чтобы исключить влияние явлений «раскачки» аглофабрики в начале и «штурма» — в конце месяца (еще имеющих, к сожалению, место) на вероятностные характеристики исследуемого процесса, представительная реализация взята в период с 5.XI по 11.XI 1965 (рис. 1).

Обработка указанной реализации производилась на ЭВМ «Раздан-2» с целью получения характеристик процесса как в «статике» (средняя производительность, дисперсия, статистическая плотность распределения, производительность и т. п.), так и в «динамике» (автокорреляционная функция и спектральная плотность средней мощности процесса).

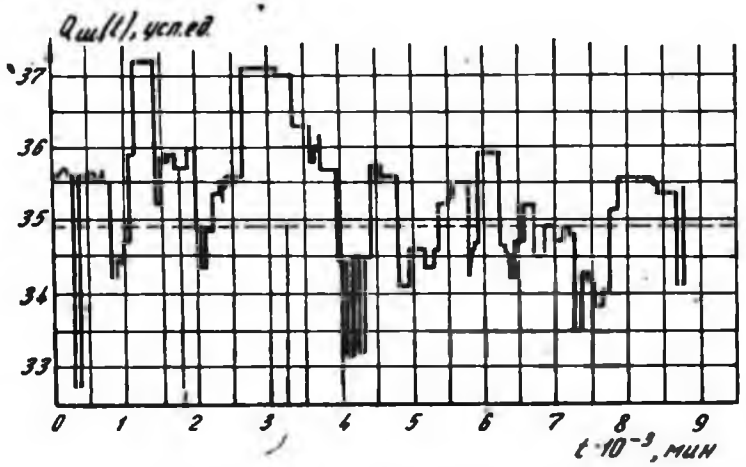

Рис. 1. Представительная реализация процесса снабжения шихтой (режим *А*).

В результате обработки были получены следующие данные, описывающие «статику» процесса:

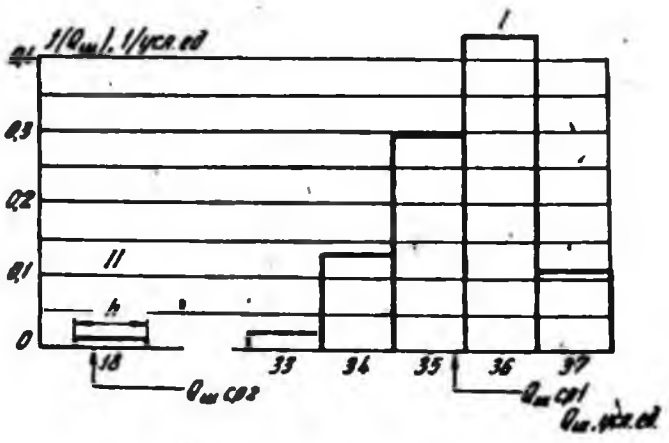

Рис. 2. Статистическая плотность распределения производительности шихтового отделения (режим *А*).

1. Средняя производительность $Q_{ш \cdot ср} = 34{,}9$ усл. ед.
2. Среднее квадратическое отклонение производительности $\sigma_{Q_{ш}} = 3{,}8$ усл. ед.
3. Статистическая плотность распределения производительности шихтового отделения $f(Q_{ш})$ (рис. 2).

Анализируя указанный рисунок, нетрудно заметить, что закон распределения производительности шихтового отделения полимодальный,

причем число мод равно числу агломашин, обслуживаемых одним потоком (в условиях завода «Азовсталь» — двум).

Для определения параметров, имеющих максимальную моду (1), воспользуемся методикой, изложенной в [7]. Все вычисления расположим в табл. 2, составление которой ясно из ее рассмотрения.

Таблица 2

Границы интервалов производительности шихтового отделения, усл. ед.	Значения середин интервалов x_i, усл. ед.	Число наблюденных случаев, (жмн) (m)	$\xi = x_i - c = x_i - 35$	$\xi+1$	$m\xi$	$m\xi^2$	$m\xi^3$	$m\xi^4$
32,5—33,5	33	180	—2	—1	— 360	720	—1440	2880
33,5—34,5	34	1150	—1	0	—1150	1150	—1150	1150
34,5—35,5	35	2490	0	1	0	0	0	0
35,5—36,5	36	3700	1	2	3700	3700	3700	3700
36,5—37,5	37	980	2	3	1860	3920	7840	15680
	Σ	8500	0	5	4050	9490	8950	23410

Значения условных начальных моментов k-го порядка при ложном нуле $C = 35$ усл. ед. определяем по формуле

$$\alpha_k' = \frac{\Sigma \xi^k m}{\Sigma m}. \qquad (1)$$

Получаем $\alpha_1' = 0{,}476$; $\alpha_2' = 1{,}16$; $\alpha_3' = 1{,}05$; $\alpha_4' = 2{,}76$.

Среднюю производительность в распределении с максимальной модой определим из выражения

$$Q_{ш.ср_1} = h\alpha_1' + C, \qquad (2)$$

где h — шаг интервальной таблицы, равный 1 усл. ед.

$$Q_{ш.ср_1} = 35{,}476 \text{ усл. ед.}$$

Значения центральных моментов второго, третьего и четвертого порядков определяем из соотношений

$$\alpha_2^0 = \sigma_1^2 = h^2 [\alpha_2' - (\alpha_1')^2], \qquad (3)$$

$$\alpha_3^0 = h^3 [\alpha_3' - 3\alpha_2'(\alpha_1') + 2(\alpha_1')^3], \qquad (4)$$

$$\alpha_4^0 = h^4 [\alpha_4' - 4\alpha_1'\alpha_3' + 6(\alpha_1')^2\alpha_2' - 3(\alpha_1')^4]. \qquad (5)$$

Получим $\alpha_2^0 = \sigma_1^2 = 0{,}933$ (усл. ед.), $\alpha_3^0 = -0{,}5$ (усл. ед.)^3, $\alpha_4^0 = 2{,}18$ (усл. ед.)^4, откуда среднее квадратическое отклонение производительности в распределении с максимальной модой $\sigma_1 = \sqrt{\sigma_1^2} = 0{,}965$ усл. ед.,

асимметрия $A = \dfrac{\alpha_3'}{\sigma_1^3} = -0{,}555$,

эксцесс $E = \dfrac{\alpha_4'}{\sigma_1^4} = -0{,}5$.

Следовательно, модель нормального закона эффективна для описания исследуемого процесса на каждой моде, ибо распределение с мак-

симальной модой имеет незначительную левую асимметрию и плосковершинность по сравнению с нормальным законом. Для случая работы одной агломашины (мода II) $Q_{ш\cdot ср} = 17{,}85$ усл. ед. Других характеристик распределения у моды II не получено ввиду малости наблюдений, однако нет оснований считать его сильно отличающимся от нормального, так как причины, определяющие характер изменения производительности шихтового отделения, одинаковы для любого постоянного числа работающих машин.

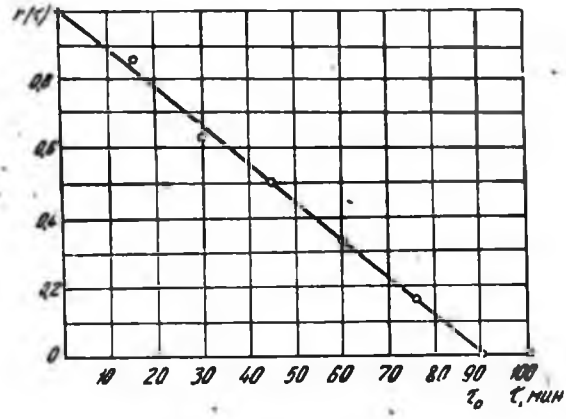

Рис. 3. Нормированная автокорреляционная функция процесса снабжения шихтой (режим *A*).

В результате обработки была получена также нормированная автокорреляционная функция процесса снабжения шихтой, описывающая «динамику» процесса (рис. 3), которую можно аппроксимировать прямыми

$$\left.\begin{aligned} r(\tau) &= 1 - \frac{\tau}{\tau_0} \text{ при } 0 < \tau \leqslant \tau_0 \\ \text{и} \qquad r(\tau) &= 0 \qquad \text{при } \tau > \tau_0 \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Последнее из равенств (6) говорит в пользу справедливости гипотезы эргодичности процесса снабжения шихтой при работе шихтового отделения в режиме *A* [4, 5], а отсутствие переходов $r(\tau)$ через нуль свидетельствует об отсутствии скрытых периодических колебаний $Q_ш(t)$. Последнее можно объяснить тем обстоятельством, что, как уже упоминалось, шихтовое отделение «Азовстали» иногда переходит в режим *C*, при котором неизбежно возникающее несоответствие производительностей шихтового и спекательного отделений компенсируется изменением производительности агломашин в ущерб качеству процесса спекания.

Нормированная спектральная плотность мощности процесса $S(\omega)$, являющаяся косинус-преобразованием Фурье функции $r(\tau)$, выразится соотношением

$$S(\omega) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} r(\tau)\cos\omega\tau d\tau = \frac{2}{\pi\tau_0\omega^2}(1-\cos\omega\tau_0), \tag{7}$$

которое представлено графически на рис. 4. Видно, что основная мощность процесса сосредоточена в диапазоне частот $0 < \omega < \frac{2\pi}{\tau_0}$: относительные максимумы $S(\omega)\frac{4}{9}\frac{\tau_0}{\pi^3}$, $\frac{4}{25}\frac{\tau_0}{\pi^3}\ldots$, соответствующие частотам $\frac{3\pi}{\tau_0}$, $\frac{5\pi}{\tau_0}\ldots$, по крайней мере на один порядок меньше первого-абсолютного-максимума, равного $\frac{\tau_0}{\pi}$ (при $\omega \to 0$).

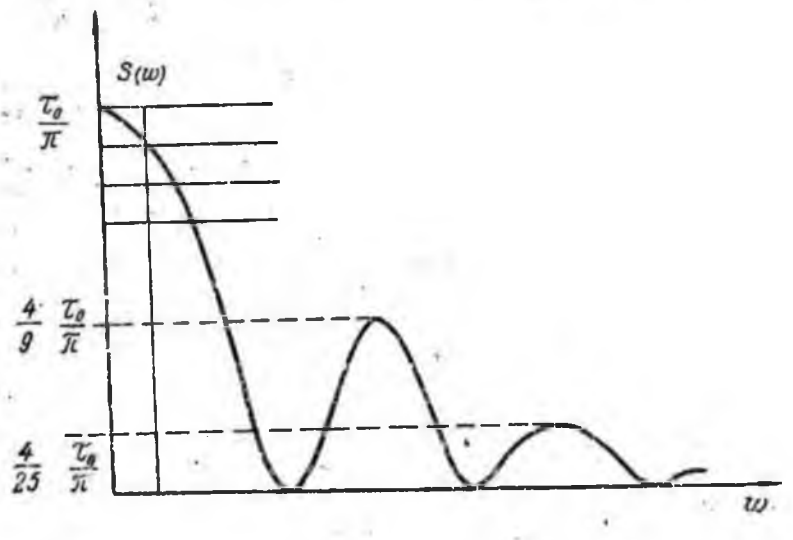

Рис. 4. Нормированная спектральная плотность процесса снабжения шихтой (режим *A*).

II. Режим *B*

Исходные предпосылки, положенные в основу сбора и обработки данных процесса снабжения шихтой в режиме *B*, идентичны предпосылки для режима *A*, за исключением следующего:

1. Длительность представительной реализации процесса (рис. 5) существенно не ограничивалась экономическими причинами, так как запись производительности шихтового отделения (секундного расхода шихты) $Q_ш(t)$ осуществлялась специальным прибором.

2. Хотя требуемая точность вычисления автокорреляционной функции процесса достигалась при длительности времени наблюдения 30 *час* [6], последнее взято равным $T_н = 120$ *час*. Это дало возможность, кроме увеличения (более чем в 2 раза) состоятельности среднего результата каждой бригады, оперировать значительным числом импульсов производительности шихтового отделения, что повысило вероятность достоверности результатов до приемлемой величины (0,8÷÷0,9).

3. Так как характер колебаний $Q_ш(t)$ режима *B* более высокочастотный, чем режима *A*, то шаг интегрирования функции $r(\tau)$ был уменьшен с 15 до 5 минут, однако в обоих случаях он удовлетворяет рекомендациям [4].

Основной регистрирующей аппаратурой, смонтированной на аглофабрике № 2 НКГОКа, является логическая релейная схема, определяющая потребность спекательного отделения в шихте на основании показаний датчиков уровня шихты в бункерах спекательного отделения и состояний блок-контактов реле-питателей агломашин. Потребная производительность $Q_{потр}(t)$ (на рис. 5 показана пунктиром) определялась только во время длительности импульсов в процентах от действительной производительности шихтового отделения $Q_ш(t)$, которая

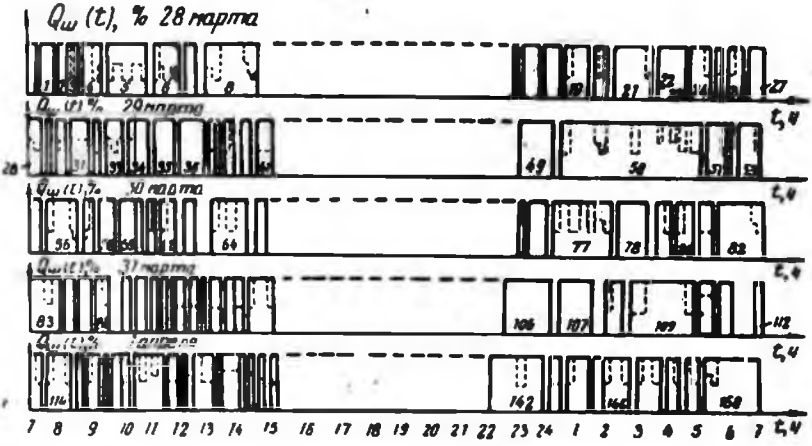

Рис. 5. Представительная реализация процесса снабжения шихтой (режим B).

была одинакова для всех импульсов и постоянна на протяжении каждого отдельного импульса.

Введем понятие коэффициента согласования производительностей для i-го импульса длительностью τ_i (от t_i до до $t_i+\tau_i$)

$$\varphi_i = \frac{Q_{потр.\,ср_i}}{Q_ш(t)_i}, \tag{8}$$

где

$$Q_{потр.\,ср_i} = \frac{1}{\tau_i}\int_{t_i}^{t_i+\tau_i} Q_{потр}(t)\,dt \tag{9}$$

средняя потребная производительность в i-ом импульсе, а

$$Q_ш(t)_i = \text{const} = 100\% \text{ при } t_i \leqslant t \leqslant t_i+\tau_i \tag{10}$$

и $Q_ш(t)_i = 0$ при $t < t_i$ и $t > t_i+\tau_i$.

На протяжении 28.III — I.IV. 1965 г. было зарегистрировано около 150 импульсов (на рис. 5 они пронумерованы) с различной средней потребной производительностью и примерно одинаковой (с точностью до 1÷2%) действительной производительностью шихтового отделения $Q_ш(t)$. Среднее время длительности импульса $\tau_{ср} = 36{,}52$ *мин*, среднее квадратическое отклонение длительности импульса $\sigma_{\tau_и} = 29{,}2$ *мин*, среднее значение коэффициента согласования $\varphi_{ср} = 0{,}85$ и его среднее квадратическое отклонение $\sigma_\varphi = 0{,}147$ до 30% времени поток подачи шихты и все оборудование шихтового отделения простаивает.

Естественно предположить, что чем лучше согласована производительность шихтового отделения $Q_ш(t)$ с потребностью спекательного

$Q_{\text{потр. ср}_i}$ (чем ближе коэффициент согласования φ_i к единице), тем больше длительность импульса τ_i. Предположение проверялось составлением корреляционной таблицы τ по φ по методике [8]. На рис. 6 представлены эмпирическая (ломаная) линия регрессии и теоретическая (прямая) линия регрессии, полученная методом наименьших квадратов. Теоретической линии регрессии соответствует уравне-

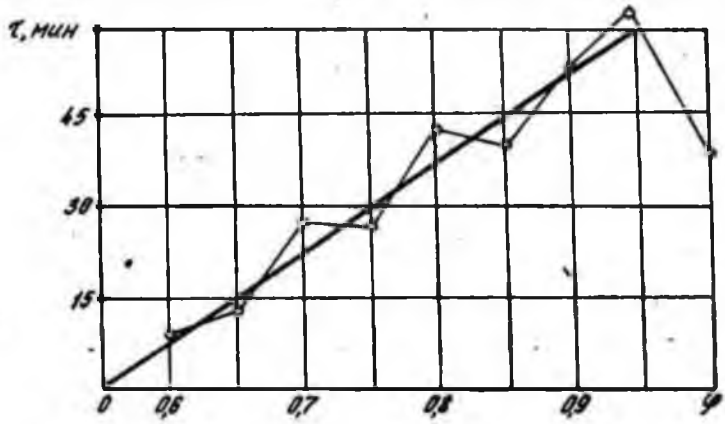

Рис. 6. Линии регрессии τ по φ.

ние регрессии, справедливое при $0{,}55 \leqslant \varphi \leqslant 0{,}95$ для средних значений τ и φ

$$\tau_{\text{ср}} = a\varphi_{\text{ср}} + b, \tag{11}$$

где a — коэффициент регрессии τ по φ, равный

$a = 150$ *мин*,

$b = -82{,}5$ *мин*.

Степень тесноты связи τ и φ измеряется коэффициентом корреляции $r_{\tau_{\text{ср}}}$, равным

$$r_{\tau_{\text{ср}}} = a\frac{\sigma_\varphi}{\sigma_\tau}. \tag{12}$$

Подставляя уже известные сомножители в уравнение (12), получаем $r_{\tau_{\text{ср}}} = 0{,}75$. Столь тесная связь между τ и φ позволяет утверждать, что основным фактором, определяющим длительность импульса постоянной производительности шихтового отделения, является значение коэффициента согласования в данном импульсе.

Из уравнения (11) следует, что наибольший период работы шихтового отделения с постоянной производительностью в режиме *B* не может быть в среднем более, чем 60 минут (при $\varphi = 0{,}95$), а при $\varphi \leqslant 0{,}55$ поток, как правило, останавливается.

Излом линии регрессии при $\varphi = 0{,}95$ объясняется наличием систематической ошибки в определении потребной производительности, т. е. ошибки, вносимой логической релейной схемой. Эта ошибка не превышает $1{,}00 - 0{,}95 = 0{,}05$, или 5%. Кроме того, при φ, близком к единице, возрастает удельный вес аварийных остановок, число которых в режиме *B* (табл. 1) вообще довольно значительно.

На рис. 7 графически представлена итоговая строка корреляционной таблицы τ по φ, т. е. практически — плотность распределения числа импульсов по коэффициенту согласования $f(\varphi)$. Видна явная полимодальность закона распределения, причем число мод снова равно числу работающих агломашин (в данном случае — трем). Параметры рас-

пределения, определенные для каждой моды отдельно, аналогично режиму A позволяют утверждать, что модель нормального закона эффективна для описания исследуемого процесса, причем асимметрия и эксцесс не выходят из пределов соответственно $\pm 0{,}5 \leqslant A \leqslant \pm 0{,}8$ и $\pm 0{,}5 \leqslant E \leqslant \pm 1{,}0$.

Вероятностные характеристики в целом всего процесса снабжения шихтой для режима B имеют следующие значения:

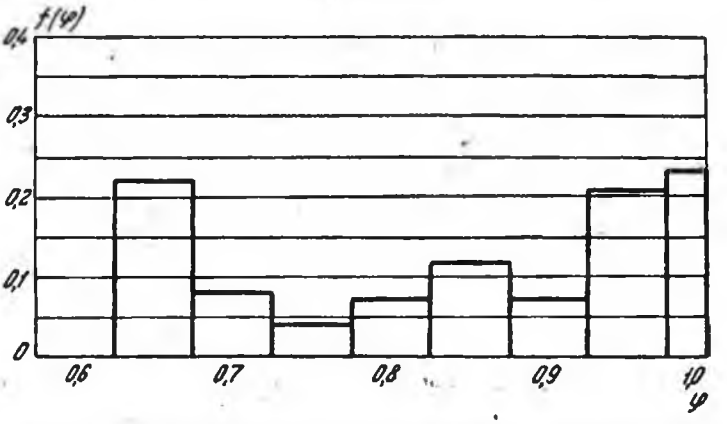

Рис. 7. Распределение числа импульсов по коэффициенту согласования φ.

1. Средняя производительность $Q_{ш\,ср} = 81\%$ (на рис. 5 показана штрихпунктиром).

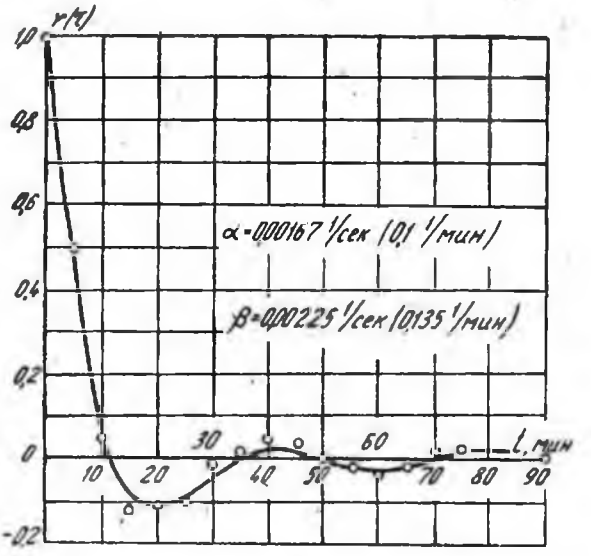

Рис. 8. Нормированная автокорреляционная функция процесса снабжения шихтой (режим B).

2. Среднеквадратическое отклонение производительности шихтового отделения $\sigma_{Q_ш} = 39{,}33\%$.

Большое значение среднеквадратического отклонения $\sigma_{Q_ш}$ является характерным для режима B, так как производительность шихтового отделения представляет собой последовательность импульсов.

В результате обработки была получена также нормированная автокорреляционная функция процесса снабжения шихтой в режиме B, описывающая «динамику» этого процесса (рис. 8). Кривая аппроксимируется уравнением

$$r(\tau) = e^{-\alpha\tau}\cos\beta\tau, \qquad (13)$$

которое говорит в пользу гипотезы эргодичности, так как $\lim_{\tau\to\infty} r(\tau)=0$.

Переходы $r(\tau)$ через нуль свидетельствуют о наличии скрытой периодичности в процессе снабжения шихтой, которую можно объяснить отсутствием переходов из режима B в режим C — излишек (недостаток) шихты в бункерах спекательного отделения не компенсируется соответствующим изменением производительности агломашин (что имеет место на заводе «Азовсталь»), а регулируется (весьма грубо, конечно) остановками (пусками) потока подачи шихты. Выявить указанную периодичность определения нормированной спекательной плотности средней мощности процесса $S(\omega)$.

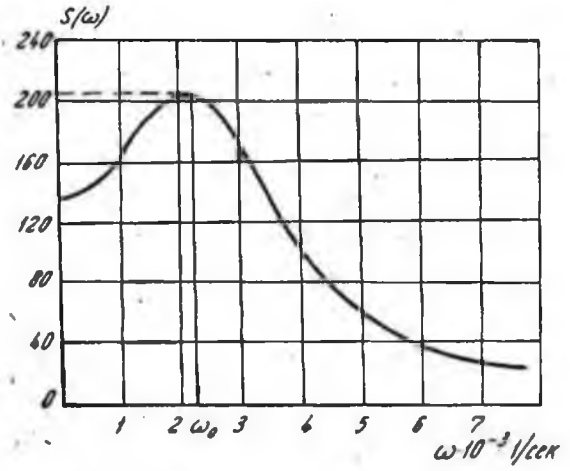

Рис. 9. Нормированная спектральная плотность процесса снабжения шихтой (режим B).

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{\alpha}{\alpha^2+(\omega+\beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2+(\omega-\beta)^2}\right\}, \qquad (14)$$

представленной графически на рис. 9. Видно, что основная мощность процесса сосредоточена в окрестности частоты $\omega_0=0{,}00225$ 1/*сек*, которой соответствует период колебаний $T_0 = 46{,}5$ *мин*.

В целом процесс снабжения шихтой в режиме B можно уподобить процессу изменения координаты объекта, находящегося в режиме «нерегулярной качки» [9] по этой координате.

Что касается исследования шихтовых отделений, работающих в режиме C, то этому в настоящее время препятствуют следующие причины:

1) отсутствие измерительных устройств, способных непрерывно работать при высокой температуре и исключительной запыленности, свойственных циклу возврата;

2) конструктивная сложность и разнообразие циклов возврата на различных аглофабриках;

3) отсутствие надежных уровнемеров для точного определения уровня возврата в бункерах;

4) отсутствие на большинстве аглофабрик надежных систем автодозирования возврата. Подробное изучение колебаний количества возврата на аглофабриках режима *С* выходит за рамки предлагаемой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Астахов и др. Улучшение качества агломерата, «Металлург», № 9, 1956.
2. В. С. Абрамов. Комплексная автоматизация агломерационного процесса. Труды НТО ИМ, т. 17, 1961.
3. А. Г. Астахов и др. Справочник агломератчика. «Техника», К., 1965.
4. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. «Наука», М., 1964.
5. Б. В. Гнеденко. Курс теории вероятностей. «Наука», М., 1965.
6. Б. Н. Кутин. О вычислении корреляционной функции стационарного случайного процесса по экспериментальным данным. «Автоматика и телемеханика», т. XVIII, № 3, 1957.
7. П. А. Рыжов. Математическая статистика в горном деле. Изд. Московского института радиоэлектроники и горной электромеханики, М., 1965.
8. Я. И. Лукомский. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. «Госстатиздат», М., 1961.
9. В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. Теория систем автоматического регулирования. «Наука», М., 1966.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ

В. И. Салыга, В. Д. Иваницкий

Харьков

Автоматическое управление сложными производственными объектами обеспечивает существенный экономический эффект, который обусловлен следующими основными факторами [1]:

1. Повышение эффективности использования основного технологического оборудования путем выбора и поддержания оптимальных режимов его работы.

2. Улучшение качества продукции и повышение её стабильности путем обеспечения оптимальных переходных процессов в системах автоматического управления.

Указанные факторы в полной мере относятся к процессам обогащения угля и, особенно, к процессу флотации угля, представляющему собой наиболее эффективный и широко распространенный способ обогащения каменноугольной мелочи (шлама).

Процесс флотации представляет собой многомерный динамический объект, внешние возмущения которого являются случайными функциями времени. Составление математической модели процесса флотации как управляемого объекта осложняется большим числом и случайным характером внешних воздействий, поэтому для выбора основных независимых переменных процесса был проделан многофакторный корреляционный анализ [2], в результате которого была установлена следующая структура процесса флотации как управляемого объекта.

Динамические свойства процесса флотации достаточно полно характеризуются следующими независимыми переменными, являющимися случайными функциями времени [2]:

1) количество (расход) исходной пульпы $Q_0(t)$ [$м^3/час$];

2) плотность исходной пульпы $\delta(t)$ [$г/л$];