Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXII, вып. 1, 1972 г.

О КРИТЕРИЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ

В. И. Златкин, А. Н. Маковский

Экономические показатели работы предприятия и значительная часть действующих ограничений, естественно, не являются абсолютными и зависят от задач, решаемых народным хозяйством в целом. Влияние их проявляется, в первую очередь, через систему ценообразования, заданный план условия финансирования, сбыта продукции и материально-технического снабжения. Поэтому строгая и исчерпывающая постановка и решение задач оптимизации работы предприятия принципиально возможны по крайней мере в рамках отрасли промышленности, либо государства в целом. Понятно, что такой подход неимоверно усложняет задачи планирования, задачи такого объема, что решение их вряд ли возможно в обозримом будущем. Такой подход нецелесообразен также и ввиду возможной неустойчивости большой системы с абсолютной централизацией управления, практически интерпретирующей управление на базе глобального критерия.

Наукой и практикой управления доказано, что наиболее целесообразен иерархический принцип построения больших систем, в которых задачи оптимизации решаются каждым высшим звеном только для звеньев, находящихся на следующей, более низкой, ступени иерархической лестницы. Естественно, результаты этого решения определяют форму критерия эффективности для каждого из этих низших звеньев, одновременно с наложенными ограничениями.

Таким образом, на уровне руководящего звена любого ранга возможна строгая постановка задачи оптимизации работы и взаимодействия непосредственно подчиненных ему подразделений. Естественно, что при решении такой задачи как критерий оптимальности работы, так и действующие ограничения считаются абсолютными.

Устойчивость динамических процессов при такого рода управлении производством обеспечивается непрерывным или периодическим поступлением оперативной информации от подчиненного звена к командному, т. е. обратной связью по кратчайшему пути. Легко определить заранее необходимый характер этой информации. Она должна доставлять сведения о текущих значениях собственного критерия эффективности, о близости к ограничениям, а также давать, по возможности, прогноз изменения критерия эффективности и параметров, подлежащих ограничению.

Сформулированные принципы оказываются пригодными в том случае, когда каждое звено производственной иерархической системы характеризуется единственным показателем эффективности или рядом показателей, но таких, что лишь один из них имеет решающее значение и может быть при необходимости улучшен даже за счет других (в меру наложенных ограничений). Таким показателем, вероятно, является прибыльность звена (включающего все подчиненные звенья). Минимальным звеном такого рода в условиях горнообогатительного комбината является сам комбинат. Подчиненные ему подразделения не производят целиком самостоятельных расчетов одновременно на сырье и готовую продукцию и поэтому их самостоятельная прибыльность не имеет смысла. Поэтому в качестве показателей эффективности используют такие показатели, которые определяют влияние работы подразделений на прибыльность комбината в целом.

Известно, что одновременная оптимизация по нескольким показателям эффективности в общем случае невозможна. Конечно, иногда существуют резервы, которые позволяют одновременно улучшать все показатели эффективности. Однако обязательно должен наступить момент, когда всякое дальнейшее улучшение одного показателя может быть достигнуто лишь при ухудшении других. Это допустимо, если в результате не ухудшаются показатели высшего звена и не нарушаются наложенные ограничения. Это целесообразно, если в результате показатель высшего звена улучшается.

Пусть зависимость показателя эффективности высшего звена определяется функцией

$$y = f(x_i, \ \dots \ , x_n), \tag{1}$$

где x_i — вектор показателей работы подчиненных звеньев, $x_i = \{x_i', \dots \ x_i^k$; n — число векторов, равное числу подчиненных; κ — максимальное число показателей работы подчиненного подразделения; i — номер подчиненного подразделения, $i = 1, \dots \ n$.

Если s — порядковый номер компонента любого вектора, $s_{\max} = \kappa$; r — номер подчиненного подразделения, выбором показателей которого мы занимаемся; t — номер его компоненты. Тогда при изменении показателей r-го подчиненного подразделения на $dx_r = \{dx_r', \ \dots, \ dx_r^t, \dots dx_r^k$ единственный показатель высшего звена y изменится на величину

$$dy_r = \sum_{i=1}^{n} \sum_{s=1}^{k} \sum_{t=1}^{k} \frac{\partial y}{\partial x_i^s} \cdot \frac{\partial x_i^s}{\partial x_r^t} dx_r^t. \tag{2}$$

При этом учитываются также косвенные влияния выбираемых показателей X_r^t на y через показатели работы других подчиненных подразделений.

Если изменить порядок суммирования и обозначить

$$A_t = \sum_{i=1}^{n} \sum_{s=1}^{k} \frac{\partial y}{\partial x_i^s} \cdot \frac{\partial x_i^s}{\partial x_r^t}, \tag{3}$$

выражение (2) можно переписать в форме

$$dy_r = \sum_{t=1}^{k} A_t dx_r^t. \tag{4}$$

Это позволяет сравнивать между собой эффекты от работы подчиненного подразделения и в том случае, когда отсутствует заранее установленный единый показатель оценки. Роль такого единого показателя «временно» берет на себя сумма, стоящая в правой части выражения (4), которое можно положить в основу программы информационно-вычислительной машины, управляющей подчиненным подразделением. В этом случае процедуру определения коэффициентов A_t можно возложить на машину. При этом подпрограмма определения $A_t (t=1, \ldots \kappa)$ может использовать один из многих известных алгоритмов, т. е. действовать на основе активного импассивного эксперимента, либо использовать принципы самообучения для распознавания образов.

Естественно, что работу подчиненного подразделения можно оптимизировать на основе выражения (4), используя одну из эффективных модификаций градиентного метода. При этом легко учитывать ограничения как голономного, так неголономного типов.

Основными показателями автоматизированной апатито-нефелиновой обогатительной фабрики могут быть технологическое извлечение апатита X_r', себестоимость 1 $т$ апатитового концентрата X_r^2, технологическое извлечение нефелина X_r^3 и себестоимость 1 $т$ нефелинового концентрата X_r^4. Основные ограничения накладываются на качество концентратов и производительность фабрики по руде, по концентратам. Первое ограничение носит двухсторонний характер и определяется, с одной стороны, возможностями добычного и транспортного комплексов, с другой — условиями максимальной нагрузки оборудования обогатительной фабрики (ОФ) и возможностями отгрузки готовой продукции. При нормальном режиме предприятия в целом режим работы ОФ должен быть таким, чтобы производительность по руде и промежуточным продуктам фабрики не превышала максимально допустимой так же, как и производительность по готовым продуктам.

Возвращаясь к выражению (4), отметим, что определяемые вычислительной машиной коэффициенты A_t окажутся такими, что с очевидностью удовлетворят неравенствам

$$\begin{aligned} A_1 > 0,\ A_3 > 0, \\ A_2 < 0,\ A_4 < 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Следовательно, пока могут быть увеличены показатели X_r' и X_r^3 при одновременном уменьшении показателей X_r^2 и X_r^4, можно добиться такого изменения, не обращаясь к анализу выражения (4). Более того, это можно делать, пока увеличение любого из произведений $A_t dx_r^t$ не приводит к уменьшению остальных. Такая процедура одновременного улучшения всех показателей работы (или по крайней мере некоторых, но без ухудшения остальных) позволяет резко упростить управляющее устройство и повысить его быстродействие.

Однако должен наступить момент, когда улучшение любого показателя окажется возможным лишь при ухудшении одного или нескольких из оставшихся. Ясно, что при этом следует пойти на компромисс. Приемлемые и даже наиболее выгодные условия компромисса задаются выражением (4), которое следует использовать для окончательной оптимизации режима работы. Например, при упрощенной постановке задачи, когда единственным продуктом ОФ является апатитовый концентрат, т. е. $A_3 = A_4 = 0$, можно изменять режимы работы так, что при $dx_r' > 0$ (повышение извлечения апатита) получим $dx_r^2 \leqslant 0$ (снижение себестоимости

или «не увеличение» себестоимости), либо при $dx_r^2 < 0$ получим $dx_r' \geqslant 0$. Однако на этом пути обязательно возникает ситуация, при которой всякое дальнейшее увеличение извлечения можно получить лишь при увеличении себестоимости, а всякое снижение последней — лишь за счет падения извлечения. В этой ситуации управляющая машина должна использовать выражение (4), добиваясь таких изменений показателей, чтобы

$$A_1 dx_r' + A_2 dx_r^2 > 0$$

или

$$\left| \frac{dx_r'}{A_r} \right| > \left| \frac{dx_r^2}{A_1} \right|.$$

Такой подход пригоден не только для выбора оптимального режима работы ОФ, но и отдельных ее цехов. Однако ввиду жестких ограничений, накладываемых на режимы работы всех цехов, кроме цеха флотации, локальная задача оптимизации для них сводится к задаче уменьшения затрат при жесткой стабилизации параметров работы и условии обеспечения требуемой в каждый период времени производительности.

Итак, локальная задача оптимизации цеха флотации практически не отличается от задачи оптимизации ОФ в целом и может решаться на основе изложенного метода.

Несмотря на простоту формы критерия эффективности типа (4), близкое приближение к оптимуму по этому критерию возможно лишь при использовании информационно-вычислительной машины с достаточным объемом памяти и высоким быстродействием. Это объясняется сложным характером зависимости аргументов и коэффициентов выражения (4) от входных параметров цеха флотации, задаваемых извне (характеристика руды, нагрузка по питанию), и от управляющих параметров, оказывающих влияние как на технологические, так и экономические показатели работы, а через них — на элементы выражения (4).

Параметры вычислительной машины, естественно, можно выбрать лишь после детального анализа состава, сложности и изменчивости этих зависимостей и после учета формы и сложности накладываемых на входные, выходные и управляющие параметры ограничений. Однако нет смысла возлагать все функции анализа поступающих сигналов, их обработки и принятия решений на вычислительную машину, если с некоторыми из них вполне могут справиться обыкновенные аналоговые устройства, образующие вместе с технологическим объектом локальные системы автоматического управления и регулирования. Такое решение является единственно возможным на первом этапе реализации системы оптимального управления, позволяет подготовить объект к управлению на базе вычислительной техники и накопить необходимый опыт. Локальное использование средств автоматизации не противоречит принципу иерархичности структуры управления, а позволяет повысить надежность работы и динамические показатели всего комплекса.