

---

**МЕТЕЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА**


---

УДК 669.1.013.6

## ПОДГОТОВКА К УПРАВЛЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ТОПЛИВА В ОАО «ММК» НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

И.А. Япрынцева  
e-mail: ilona\_@mail.ru

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

Статья поступила 15 декабря 2004 г.

Одной из основных задач системы управления металлургическим производством является оптимальное планирование и прогнозирование потребления энергетических ресурсов, что в свою очередь невозможно без проведения политики энергосбережения. Энергосбережение на ОАО «ММК» направлено на сокращение объемов потребления покупных энергетических ресурсов — решается, в первую очередь, за счет стремления к наиболее эффективному использованию всех потребляемых на предприятии энергоресурсов, как вырабатываемых на комбинате, так и покупных. Энергосбережение в ОАО «ММК» реализуется в постоянно меняющихся условиях, которые определяются постепенным ростом объемов производства и колебаниями экономической ситуации внутри страны и на внешнем рынке, изменениями состава производственных мощностей и структуры производимой продукции.

Структура потребления покупных энергоресурсов ОАО «ММК» в 2002 году была следующей. Подавляющую долю составляют коксующийся уголь (59,9 %) и природный газ (37,7 %). Первый из них является сырьем для производства кокса, преимущественно технологического энергоресурса, используемого для восстановления железа в доменном процессе. Побочным продуктом при производстве кокса является горючий (и одновременно ядовитый) коксовый газ, а в доменном процессе — доменный газ. Оба газа, обладающие относительно низкой калорийностью, используются в качестве топлива, заменяющего природный газ, в технологических и энергетических установках. Природный газ, в силу своего химического состава, используется и как восстановитель в доменном процессе и как энергетическое топливо. Остальные энергоресурсы из представленной структуры имеют чисто энергетическое назначение, при этом энергетический уголь сжигается только в котлах ТЭЦ, а мазут — в факелах мартеновских печей (табл.).

Структура потребления топлива на ОАО «ММК» основными потребителями

Цех	Потребление, доля от суммарного, %			
	Природный газ	Коксовый газ	Доменный газ	Уголь
Доменный	26,05	4,25	33,6	
ЛПЦ-10	5,71			
ЛПЦ-4	3,58	9,65		
КХП	0,3	26,54	14,63	
УГЭ, всего	47,55	27,53	47,17	
в т.ч. ТЭЦ	29,07			100
ЦЭС	11,46		21,99	
ПВЭС	7,01	25,12	25,19	

Таким образом, снижать расход собственно энергетических ресурсов возможно только за счет уменьшения объемов потребления природного газа, электроэнергии, энергетического угля и мазута. Использование мазута на комбинате, с ликвидацией последних мартеновских печей в июне 2003 года, прекращено. Энергетический уголь является резервным топливом для ТЭЦ, относительно дорог и экологически более вреден, поэтому использование его невелико и носит вынужденный характер для покрытия потребности в топливе при ограничениях по природному газу со стороны поставщика. В результате, наибольшие усилия по сокращению потребления покупных энергоресурсов на предприятии необходимо сосредоточить на электроэнергии и природном газе.

На комбинате проводится большая и многосторонняя работа по рационализации потребления энергоресурсов, снижению затрат на их приобретение, выработку и распределение [1—3]. Необходимым элементом в этой работе является система обоснованного нормирования и прогнозирования потребления энергоресурсов. Для электроэнергии такая система на комбинате разработана и эксплуатируется с начала 1996 года [4]. На ее основе создана математическая модель потребления электроэнергии комбинатом в целом в зависимости от объемов производства отдельных технологических подразделений. В настоящее время, в связи с ужесточением ограничений на поставку природного газа и перспективой резкого увеличения его цены, сформировалась необходимость в создании математической модели потребления природного газа. Однако, на комбинате используется несколько уже перечисленных выше конкурирующих видов топлива в различных комбинациях в разных подразделениях. Поэтому модель потребления природного газа должна формироваться с учетом объемов потребления всех других видов топлива, приоритетности и сравнительной эффективности их использования [5].

Потребление топлива в каждом подразделении комбината определяется своим набором производственных, технологических и организационных факторов. При подготовке модели потребления топлива подразделением набор факторов может быть велик, но безусловно необходимо, чтобы принимаемые к рассмотрению факторы можно было определить количественно. При этом желательно, чтобы количественная информация по факторам, влияющим на потребление топлива, имела в производственном отчете цеха. Эффективное управление потреблением энергоресурса возможно только в том случае, когда в виде математического описания представлены основные закономерности, присущие объекту, и в его математической модели присутствовали основные факторы, определяющие его поведение, а не просто влияющие, в данном случае, на потребление топлива подразделением предприятия. Так же необходимо, чтобы в модель потребления топлива комбинатом были включены своими зависимостями наиболее крупные потребители, а учтены — все.

На первоначальном этапе в основе математического моделирования процессов потребления топлива подразделениями ОАО «ММК» в зависимости от нескольких факторов принят метод регрессионного анализа оценки параметров (множественная линейная регрессия). Выделение для конкретного подразделения наиболее значимых, определяющих объем потребления топлива факторов из предварительно сформированного методом экспертных оценок набора производится с использованием метода пошаговой регрессии.

Формирование оптимальной структуры регрессионной зависимости фактически сводится к построению определенной процедуры подбора совокупности переменных для включения их в модель. Поэтому конкретные особенности процесса и реальные причинные связи между переменными должны быть определяющими при выборе того или иного параметра. При этом задача по формированию оптимальной структуры регрессионной зависимости усложняется еще и поиском компромисса: введение в модель как можно большего числа факторов для обеспечения требуемой точности прогноза и уменьшения числа независимых переменных ввиду трудности или невозможности получения большого количества информации на этапе прогнозирования (планирования). В общем виде математическое описание процесса в принятой модели представляет собой совокупность уравнений и ограничений, которые характеризуют статистические связи между параметрами объекта.

Статистическое математическое описание определяет связь между соответствующими значениями переменной  $y$  и переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Принимая линейную связь между переменными, статистическое математическое описание объекта можно представить в виде следующей модели:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_k x_k, \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_k$  — неизвестные постоянные коэффициенты регрессионного уравнения;  $x_1, \dots, x_k$  — значения переменных, параметры уравнения;  $y$  — выходная величина.

Для сложного объекта — цеха с несколькими участками, производства, комбината в целом — в общем виде модель можно представить совокупностью уравнений вида (1)

$$Y = \sum_{j=1}^n \begin{cases} y_1 = f_1(x_{11}, \dots, x_{1k}), \\ \dots\dots\dots \\ y_i = f_i(x_{i1}, \dots, x_{ij}), \\ \dots\dots\dots \\ y_n = f_n(x_{n1}, \dots, x_{nm}), \end{cases} \quad (2)$$

где  $x_{11}, \dots, x_{nm}$  — переменные, параметры моделей подразделений;  $i = 1, \dots, n$  — количество моделируемых подразделений;  $k, j, m$  — количество независимых переменных (факторов) в уравнениях.

В общем случае уравнение (1) может быть какого угодно порядка, однако, для построения математической модели объекта часто достаточно ограничиться вторым, третьим порядком. Выбор порядка и формирование вида уравнения (1) являются важными этапами в задаче построения математического описания объекта для обеспечения объективности (исключения случайности) связей рассматриваемых параметров с объемом потребления топлива. Кроме того, при составлении многофакторной регрессионной модели объекта необходимо освободиться от каждого аргумента, линейно зависящего от остальных аргументов, иначе модель окажется ненадежной и за точность найденных коэффициентов регрессии нельзя будет поручиться.

Широкое распространение при оценке степени взаимосвязи между различными параметрами получили методы корреляционного анализа, которые заключаются в определении нескольких разновидностей коэффициента корреляции (парная, частная, множественная). По парному коэффициенту корреляции можно определить в какой мере между некоторыми параметрами  $x_j$  и  $x_k$  соблюдается строгая пропорциональность, то есть зависимость между исследуемыми величинами при использовании корреляционного анализа предполагается линейной, что является частным случаем и практически встречается достаточно редко.

При помощи коэффициента корреляции нельзя определить, является ли величина  $x_1$  зависимой от  $x_2$ , или же их связь объясняется тем, что обе они зависят от ряда других факторов. Обычно для исключения влияния третьей случайной величины на две другие рассчитывают частные коэффициенты корреляции, но частный коэффициент корреляции не несет никакой информации о существовании причинных отношений. Надежным показателем при оценке влияния отдельных факторов на моделируемый показатель считаются коэффициент детерминации  $R^2$  и стандартизованный коэффициент регрессии.

Таким образом, основными этапами построения математической модели потребления топлива являются:

1. Выделение максимально широкого круга характеристик исследуемого объекта независимо от возможности их измерения.
2. Формирование массива исходной информации.
3. Установление структуры непосредственных связей факторов, определение набора характеристик процесса, непосредственно влияющих на уровень потребления.
4. Расчет параметров модели, определение ее оптимальной структуры с точки зрения минимального набора переменных и допустимой погрешности.

Пример полученной для ЛПЦ–10 зависимости потребления топлива цехом от производственных факторов выглядит следующим образом:

$$\text{ПГ, т.у.т} = 303 + 0,5386 \times \text{Произв} - 24,98 \times \text{Доля} + 17,18 + \text{Простои} + 11,17 \times \text{ППР}, \quad (3)$$

где ПГ — потребление природного газа, т.у.т; Произв — объем производства, т; Доля — доля горячего посада, %; Простои — текущие простои стана, ч; ППР — плановые простои стана, ч.

Параметры в уравнении (3) расставлены по степени влияния. Наибольшее влияние на расход природного газа в ЛПЦ–10 оказывает объем произведенной продукции (Произв), далее

по степени влияния идут доля горячего посада (Доля), текущие простои стана (Простои), плановые простои стана (ППР). Первоначально в анализ было включено 13 переменных, учитывающих максимально полную структуру факторов, влияющих на объем потребления топлива исследуемого цеха за период с 1998 по 2002 гг. Далее, с использованием метода пошагового регрессионного анализа количество параметров, включаемых в модель, было сокращено после проверки на значимость по F–критерию. Принято считать, что с использованием F–критерия шаговый метод дает наилучшие результаты при формировании структуры модели.

В процессе разработки математической модели проанализировано 49 цехов и подразделений ОАО «ММК», потребителей топлива, сформировавших математическую модель потребления топлива комбинатом: доменный цех, ТЭЦ, ЛПЦ–10, известково–доломитовое производство (ИОФ–1, ИОФ–2, ИОФ–4), мартеновский цех, горно–обоганительное производство (аглофабрики №№ 2, 3 и 4, гаражи размораживания, РОФ), паросиловой цех (котельные № 4 и 5, котельная за мартеновским цехом, мини–ТЭЦ), кислородно–конвертерный цех, ЛПЦ–5, ЛПЦ–3 (термическое отделение, АГНЦ, АНО), ЛПЦ–8, ЖДТ (цех пути, гаражи размораживания), обжимный цех, листопрокатный цех (станы 2350 и 4500), сортовой цех (станы 250–1, 250–2, 300–1, 500, 300–3), КХП (коксовые батареи № 1, 7, 8, 9 на коксовом газе, батареи № 2, 3, 4, 13, 14 на смеси коксового и доменного газов, ЦПХП, ЦУ–2) и другие. Из них по отношению к пяти подразделениям было принято решение зависимости не формировать, например, для ККЦ, где топливо в технологии не используется, а применяется для обеспечения технологического процесса.

Затем была проверена адекватность модели объекту, для чего на основании разработанной модели потребления топлива был произведен расчет потребления природного газа по фактическим объемам производства за 2002 и 2003 гг. помесечно. Были определены отклонения фактических объемов потребления природного газа за месяц от рассчитанных на основании математической модели.

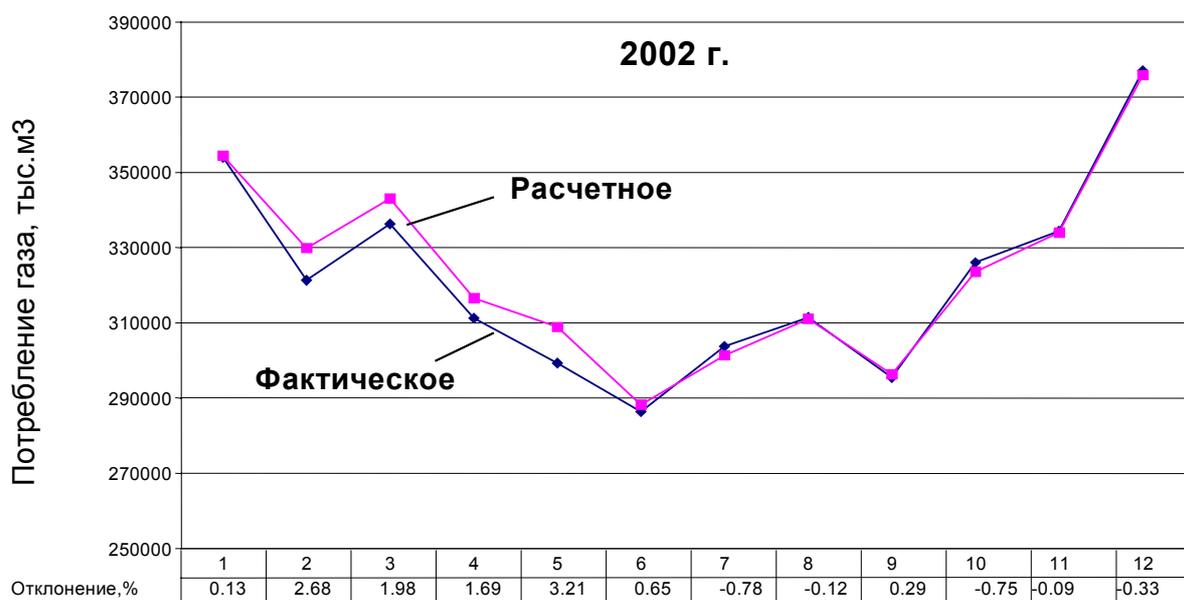


Рис. 1. Потребление природного газа

## Заключение

Среднее абсолютное отклонение расчетного потребления природного газа от фактического за 2002 год составило 1,06 %, за первое полугодие 2003 года — 1,65 %. Это указывает на высокую устойчивость модели во времени. Хочется подчеркнуть, что работа по моделированию потребления энергоресурсов только начинается. На ближайшее будущее ставится задача разработки модели потребления пара, далее кислорода и сжатого воздуха, что создаст предпосылки для оптимизации энергодобавки комбината.

**Список литературы**

1. Энергосбережение на промышленных предприятиях: материалы второй Международной научно-технической конференции / Под общей редакцией Б.И. Заславца. — Магнитогорск, 2000. 323с.
2. Серебряков В.А., Копцев Л.А. Системный подход к проблеме энергосбережения как средство повышения эффективности производства // *Сталь*, 2002. № 4. С. 93—96.
3. Копцев Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства // *Промышленная энергетика*, 1996. № 3. С. 5—7.
4. Копцев Л.А. Япрынцева И.А. Моделирование потребления топлива в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // *Промышленная энергетика*, 2004. № 5. С. 2—6.