

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕТЕРМИНИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ЗАМКНУТОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н.М. Зайцева, докторант  
Томский политехнический университет, г.Томск,  
zaitzevns@mail.ru

Переход к рыночным отношениям между производителями и потребителями электрической энергии придает весомую экономическую окраску задаче определения объема энергопотребления предприятиями [1,2]. Оформление договора купли-продажи электроэнергии (мощности) предполагает наличие приложений: «Заявка на плановый объем потребления электрической энергии и максимальной мощности» и «Заявка на плановое почасовое потребление электрической энергии».

Потребление электроэнергии предприятий с линейным дискретным производством прямо пропорционально производимой продукции, и для его определения могут быть использованы модели и методы, основанных на статистике. Для ряда нелинейных инерционных замкнутых и нелинейных многономенклатурных производств эта зависимость весьма сложная, и из-за инерционности или многовекторности производства воспользоваться регрессионными моделями не представляется возможным, поэтому решение данной задачи должно основываться на детерминированных моделях производственного процесса [3,4].

Производство глинозема, технического оксида алюминия, относится к непрерывным нелинейным инерционным и замкнутым, и прежние попытки выполнения процесса его моделирования на основе статистики оказывались безуспешными. Поэтому для данного производства была построена детерминированная модель его энергопотребления[5], основанная на уравнениях материального баланса потоков веществ в производстве с описанием затрат электроэнергии на единицу объема каждого потока. При этом процесс перехода  $Al_2O_3$  из жидкой фазы в твердую описывался системой 4-х дифференциальных уравнений по каждому декомпозиру.

В результате были получены значения энергопотребления рассматриваемого производства при установившихся режимах, а также динамические характеристики изменения его энергопотребления при скачкообразном изменении ряда технологических параметров. Одна из таких характеристик показана на рисунке 1.

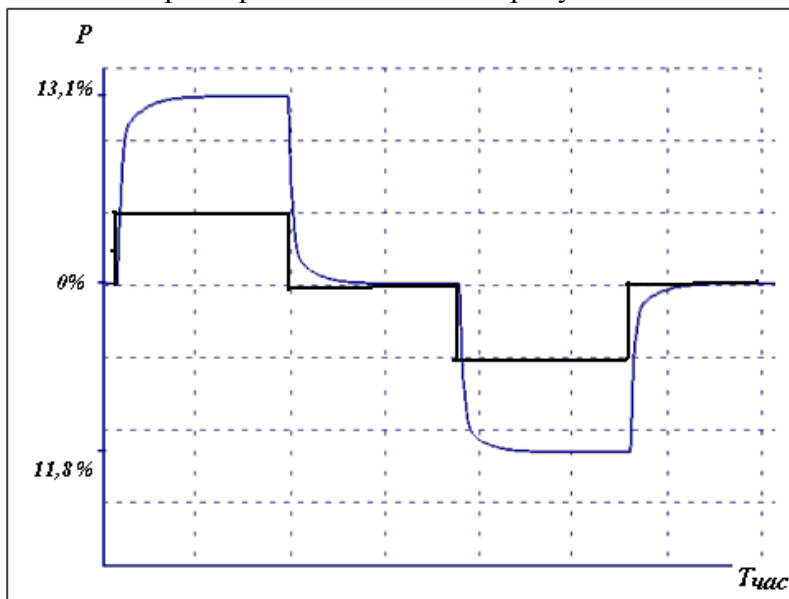


Рисунок 1. Реакция изменения энергопотребления  $P$  глиноземного производства при скачкообразном изменении на 5 %, затем на -5 % технологического параметра  $M_3$  относительно номинальных значений. Цена деления оси абсцисс – 120 часов

В современных условиях предприятия имеют возможность выбора на рынке среди большого количества поставщиков сырья различного качественного состава и цены. При поступлении в производство нового вида сырья неизбежно возникают ситуации изменения технологических параметров (например, поступление сырья с более высоким или более низким содержанием извлекаемого вещества), что влечет за собой мало предсказуемый процесс изменения энергопотребления.

При установившемся технологическом режиме производства, то есть при поддержании технологических параметров, которые представляют собой в основном концентрационные характеристики потоков технологических переделов, потребление электроэнергии им представляет собой квазипостоянную величину (для заводов средней мощности около 200МВт). Для таких предприятий, как правило, в ежегодно обновляемых договорах на покупку электроэнергии указывается объем потребляемой электрической энергии и мощности на очередной год с помесечной разбивкой и почасовой детализацией.

В ходе планирования энергопотребления может производиться корректировка почасовых объёмов при условии соблюдения установленного договором регламента информационного обмена между предприятием и поставщиком электроэнергии (приложение №8 к договору покупки электроэнергии) и компенсации последнему стоимости отклонений фактических почасовых объёмов.

Потребители розничного рынка с присоединенной мощностью более 750 кВа(к которым относится и рассматриваемое производство) с интервальным или интегральным учетом в случае возникновения отклонений фактически поставленного объема электрической энергии от договорного для каждого часа месяца поставки оплачивают помимо стоимости планового потребления и стоимость указанных отклонений, рассчитываемых по формуле:

$$S_{откл} = \sum_i^m S_i^{откл}, \quad (1)$$

где  $S_i^{откл}$  - стоимость отклонений фактического объема потребления электроэнергии от указанного в договоре за час  $i$ ,  $m$ - количество часов расчетного периода, рассчитываемая по формуле:

$$S_i^{откл} = \begin{cases} V_i^{факт} \times I_i \times (k_{нов} - 1), & \text{если } \frac{V_i^{факт} - V_i}{V_i} > 0.02 \\ V_i^{факт} \times I_i \times (1 - k_{пониж}), & \text{если } \frac{V_i - V_i^{факт}}{V_i} > 0.02 \\ 0, & \text{если } \left| \frac{V_i - V_i^{факт}}{V_i} \right| \leq 0.02 \end{cases} \quad (\text{руб}) \quad (2)$$

$V_i$  - договорной объем потребления электроэнергии,  $V_i^{факт}$  - фактический объем,  $I_i$  - стоимость в объемах планового потребления  $k_{нов}$  и  $k_{пониж}$ , коэффициент, рассчитываемые по формулам:

Считая, что тариф на электроэнергию для диапазона присоединения СН-I 1.38 руб/кВт·час, и при условии договора представлять изменение энергопотребления не позднее, чем за 2 суток, рассчитаем эффект от применения предлагаемого инструментария при изменении одного из технологических параметров. При этом учтем, что для данного нелинейного инерционного производства при изменении технологических параметров переходной процесс полностью заканчивается через 5 суток, а значение энергопотребления

для его оценки установится через 2 суток. Поэтому необходимо рассчитать величину стоимости отклонений фактического объема потребления электроэнергии от договорного по формулам (1,2).

При изменении алюминатного модуля МЗ на +5 % происходит увеличение энергопотребления на 13.1 % (см. рис.1). Для этого варианта  $k_{нов}$  будет изменяться от 1 до 2 (формула 3), то есть принимать значения 1 при отклонении от договорного объема менее или равному 2 %, 1.5, если отклонение более 2 % и менее 5 %, 1.75, если отклонение более 5 % и менее 10 % и 1, если превышение энергопотребления более 10 % относительно договорного объема.

Таблица 1. Энергопотребление и стоимость отклонений от договорного его объема

| Часы   | 1-е сутки                   |   | 2-е сутки                   |   | Стоимость с применением Инструментария (руб) |           |
|--|-----------------------------|---|-----------------------------|---|--|-----------|
|  | Энергопотребление (МВт·час) | Стоимость отклонений (превышение) (руб) | Энергопотребление (МВт·час) | Стоимость отклонений (превышение) (руб) | 1-е сутки                                    | 2-е сутки |
| 1  | 200                         | 0                                       | 224,889                     | 311088,8                                | 276660                                       | 311088,8  |
| 2  | 200                         | 0                                       | 225,194                     | 311511,5                                | 276660                                       | 311511,5  |
| 3  | 200                         | 0                                       | 225,5                       | 311934,2                                | 276660                                       | 311934,2  |
| 4  | 203,333                     | 0                                       | 225,806                     | 312356,8                                | 281271                                       | 312356,8  |
| 5  | 206,667                     | 142941                                  | 225,844                     | 312410,6                                | 285882                                       | 312410,6  |
| 6  | 210                         | 145246,5                                | 225,883                     | 312464,4                                | 290493                                       | 312464,4  |
| 7  | 213,333                     | 221328                                  | 225,922                     | 312518,2                                | 295104                                       | 312518,2  |
| 8  | 216,667                     | 224786,3                                | 225,961                     | 312572,0                                | 299715                                       | 312572,0  |
| 9  | 220                         | 228244,5                                | 226                         | 312625,8                                | 304326                                       | 312625,8  |
| 10   | 220,306                     | 304748,7                                | 226,039                     | 312679,6                                | 304748,8                                     | 312679,6  |
| 11   | 220,611                     | 305171,4                                | 226,078                     | 312733,4                                | 305171,4                                     | 312733,4  |
| 12   | 220,917                     | 305594,0                                | 226,117                     | 312787,2                                | 305594,0                                     | 312787,2  |
| 13   | 221,222                     | 306016,7                                | 226,156                     | 312841,0                                | 306016,7                                     | 312841,0  |
| 14   | 221,528                     | 306439,4                                | 226,194                     | 312894,8                                | 306439,4                                     | 312894,8  |
| 15   | 221,833                     | 306862,1                                | 226,233                     | 312948,6                                | 306862,1                                     | 312948,6  |
| 16   | 222,139                     | 307284,7                                | 226,272                     | 313002,4                                | 307284,7                                     | 313002,4  |
| 17   | 222,444                     | 307707,4                                | 226,272                     | 313002,4                                | 307707,4                                     | 313002,4  |
| 18   | 222,75                      | 308130,1                                | 226,272                     | 313002,4                                | 308130,1                                     | 313002,4  |
| 19   | 223,056                     | 308552,8                                | 226,272                     | 313002,4                                | 308552,8                                     | 313002,4  |
| 20   | 223,361                     | 308975,4                                | 226,272                     | 313002,4                                | 308975,4                                     | 313002,4  |
| 21   | 223,667                     | 309398,1                                | 226,272                     | 313002,4                                | 309398,1                                     | 313002,4  |
| 22   | 223,972                     | 309820,8                                | 226,272                     | 313002,4                                | 309820,8                                     | 313002,4  |
| 23   | 224,278                     | 310243,5                                | 226,272                     | 313002,4                                | 310243,5                                     | 313002,4  |
| 24   | 224,583                     | 310666,1                                | 226,272                     | 313002,4                                | 310666,1                                     | 313002,4  |
| Итого за 2 суток стоимость отклонений: 13081545руб |                             |   |                             |   | Итого: 14705770,1руб                         |           |

Если плановое энергопотребление 200 МВт·час, то за 2 суток (в предположении, что этого времени достаточно для определения нового уровня энергопотребления и передачи его поставщику электроэнергии) предприятие должно уплатить энергоснабжающей организации дополнительно помимо предварительно рассчитанных обязательств по договору поставки электроэнергии стоимость отклонений фактического потребления равную 13081545 руб.,

рассчитываемую по формуле (3). Данные по расчету при изменении алюминатного модуля МЗ на +5 % сведены в таблицу 1.

$$k_{нов} = \begin{cases} 1,00, & \text{если } \frac{V_i^{факт} - V_i}{V_i} \leq 0,02 \\ 1,5, & \text{если } 0,02 < \frac{V_i^{факт} - V_i}{V_i} \leq 0,05 \\ 1,75, & \text{если } 0,05 < \frac{V_i^{факт} - V_i}{V_i} \leq 0,10 \\ 2,00, & \text{если } \frac{V_i^{факт} - V_i}{V_i} > 0,10 \end{cases} \quad (3)$$

В итоге предприятие должно уплатить 26361225,3 руб., так по договору оно должно было за 2 суток 13279680 руб. Если заранее был бы предоставлен график изменения энергопотребления, то стоимость электроэнергии составила бы 14705770,1 руб. В результате экономический эффект от использования предложенного инструментария составляет:

$$26361225,3 - 14705770,1 = 11655455,2 \text{ рублей.}$$

Полученная модель энергопотребления рассматриваемого и ему подобных производств могут использоваться для составления графиков с помесечной разбивкой и почасовой детализацией, что требуется при заключении договоров на поставку электроэнергии.

Разработанный инструментарий позволит заранее рассчитать как величину энергопотребления при различных параметрах производства, так и динамику его изменения при переходе на новый режим, что позволит во время представить графики почасового потребления электроэнергии и тем самым уменьшить ее оплату.

#### Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 27.12.2010г. № 1172 «Об утверждении правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности».
2. Постановление правительства РФ от 4.05.2012 г. № 442 (ред. от 29.12.2011) «Основные положения функционирования розничных рынков электрической энергии»
3. Y. Seow, S. Rahimifard, "A framework for modelling energy consumption within manufacturing systems", CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Volume 4, Issue 3, 2011, Pages 258 – 264, Production Networks Sustainability
4. A. Verl, E. Abele, U. Heisel, A. Dietmair, Ph. Eberspächer, R. Rahäuser, S Schrems, St. Braun, "Modular Modeling of Energy Consumption for Monitoring and Control", Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany, May 2nd – 4th, 2011
5. Зайцева Н.М. Выравнивание графика электрической нагрузки для глиноземного производства. // Промышленная энергетика. 2012. № 8.