

УДК 669.162.23:621.63

Н.Б. Андрейшина, В.В. Гоцуленко

О ЯВЛЕНИЯХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Проведен анализ возможных способов управления автоколебаниями вибрационного горения и помпажа центробежных воздуходувки или компрессора, осуществляющих дутье в доменную печь. Рассмотрена задача оптимального выбора способа реконструкции рассматриваемых агрегатов при лимитированных затратах.

Введение. К явлениям влияющим на экономические показатели доменного производства относятся автоколебания (помпаж), самовозбуждающиеся в системе дутья доменных печей и автоколебания вибрационного горения в режиме отопления кауперов. Защита от помпажа в практике осуществляется выпуском сжатого воздуха бесполезно в атмосферу порядка 300 часов в год на каждой доменной печи Днепровского металлургического комбината. Экономические потери при таком способе регулирования значительные, а при обогащении дутья кислородом они возрастают в несколько раз.

Амплитуды вибрационного горения с повышением тепловой нагрузки возрастают и становятся разрушительными для конструкции, что не позволяет повысить температуру дутья и тем самым существенно улучшить экономические показатели.

Теория помпажа создана В.А. Боднером и В.В. Казакевичем в монографии [1]. Физика этого явления, а также образование стохастических колебаний представлены в работе [2]. Это позволило получить ряд патентов на конструкции компрессоров, в которых защита от помпажа осуществляется без потерь энергии.

Теория вибрационного горения на сегодняшний день находится в стадии ее создания. В монографии [3] отмечено, что высказывались различные гипотезы этого явления, управление которым осуществлялось вслепую со значительными потерями средств и времени, и в целом являлось неэффективным.

Созданная Я.П. Калугиным камера горения в целом позволила осуществить расширение области устойчивости горения и в настоящее время внедряется в практику.

Постановка задачи. В данной работе рассматриваются возможные способы снижения амплитуды автоколебаний помпажа в системе дутья доменных печей и вибрационного горения в режиме отопления воздухонагревателя (каупера). Для выбора наиболее оптимального способа реконструкции при минимальных затратах средств, формализуется соответствующая экстремальная задача.

Оптимальное управление при защите от помпажа. Поскольку проточные каналы рабочего колеса и отводящие устройства центробежных компрессоров являются диффузорными, то эффективное управление системой защиты от помпажа заключается в изменении объема проточных каналов: рабочего колеса регулированием числа межлопастных каналов, находящихся в работе, например [5], а также уменьшением объема диффузоров [6-8]. Применение рециркуляции по сравнению с выпуском сжатого воздуха в атмосферу имеет главное преимущество, что обогащенный кислородом воздух остается в системе, но при этом потери энергии остаются значительными.

Особенности управления автоколебаниями вибрационного горения. В монографии [4] отмечено, что управление автоколебаниями, возникающими из-за теплоподвода, ограничено даже в простейших устройствах, т.к. механизмы их возбуждения и поддержания остаются неизвестными. Автором было разработано теоретическое описание явлений феномена Рийке и “поющего” пламени Хиггинса, найдены механизмы этих явлений, что изложено в работах [10-13]. Также предложена сотовая камера горения воздухонагревателя доменной печи с верхним ее расположением [14], а также с нижним.

Оптимальное распределение ресурсов реконструкции. Приведенные выше конструктивные способы управления механизмами автоколебаний вибрационного горения, имеют разную степень рентабельности при их инженерной реализации на различных конструкциях воздухонагревателей. Так, например, как показано в ряде работ, введение активного сопротивления в колебательный контур, или распределение тепловой нагрузки по ее длине приводит к уменьшению амплитуды автоколебаний. Однако данные способы устранения автоколебаний возможно менее предпочтительнее применению проточных динамических демпферов, сотовых камер

горения, камер горения предложенных Я. П. Калугиным. Отметим также, что усиливать внутрикамерную неустойчивость может помпаж системы подачи компонентов топлива.

Таким образом, при ограниченных финансовых затратах M , выделенных на реконструкцию агрегата, выбор конкретных способов составляет отдельную важную задачу. Неудачный выбор реконструкции может привести к существенным финансовым затратам, необратимому разрушению устройства и неэффективному устранению в нем режима вибрационного горения. Далее рассматриваемый вопрос будет сведен к некоторой экстремальной задаче условной оптимизации.

Каждый способ реконструкции будем характеризовать соответствующей функцией эффективности (обобщенной ценой). Обозначим через $f_k(x_k)$ – эффективность k -го способа реконструкции ($k = \overline{1; m}$), при условии, что на его реализацию было выделено x_k средств из располагаемых M . Математическая структура функций $f_k(x_k)$ может быть определена соответствующими экспертными группами. Полезность такого феноменологического подхода в некоторой подобной задаче рассматривалась в [9].

Окончательно приходим к следующей математической постановке рассматриваемой задачи:

Необходимо максимизировать функцию

$$F(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{k=1}^m f_k(x_k) \rightarrow \max, \quad (1)$$

при наличии внешних ограничений

$$0 \leq x_k \leq M \quad (k = \overline{1; m}), \quad x_1 + x_2 + \dots + x_m = M. \quad (2)$$

Структура экстремальной задачи (1)-(2) для ее решения позволяет использовать методы динамического программирования. Однако в случае гладких функций $f_k(x_k)$ ($k = \overline{1; m}$) можно воспользоваться методом функции Лагранжа, сведя задачу (1)-(2) к задаче безусловной максимизации соответствующей функции Лагранжа:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_m, \lambda) = \sum_{k=1}^m f_k(x_k) + \lambda \left(\sum_{k=1}^m x_k - M \right) \rightarrow \max. \quad (3)$$

Рассмотрим тестовый пример. Основываясь, на том, что каждая инновация имеет “пик эффективности”, в качестве функций эффективности примем следующие унимодальные функции

$$f_k(x_k) = \alpha_k x_k (\beta_k - x_k), \quad (k = \overline{1; m}). \quad (4)$$

Поставляя (4) в (3) из системы уравнений:

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_m, \lambda)}{\partial x_k} = 0 \quad (k = \overline{1; m}), \quad \frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_m, \lambda)}{\partial \lambda} = 0,$$

определяющих критические точки функции Лагранжа $L(x_1, x_2, \dots, x_m, \lambda)$, получим, что

$$x_k = \frac{\beta_k}{2} + \frac{1}{\alpha_k} \left(M - \sum_{k=1}^m \frac{\beta_k}{2} \right) \left(\sum_{k=1}^m \frac{1}{\alpha_k} \right)^{-1} \quad (k = \overline{1; m}). \quad (5)$$

Отметим, что при отсутствии ограничений (2) решением задачи (1), (4) является $x_k = \frac{\beta_k}{2}$ ($k = \overline{1; m}$). Наиболее дорогостоящий способ реконструкции в этом случае определяется номером $k^* = \arg \max_{1 \leq k \leq m} \{\beta_k\}$. В исходной задаче (1)-(2), согласно (5), наибольшее финансирование требует способ, определяемый номером $k^* = \arg \max_{1 \leq k \leq m} \left\{ \beta_k + \frac{1}{\alpha_k} \right\}$.

Выводы. Рассмотрены новые способы предупреждения помпажа без выброса в атмосферу сжатого воздуха или его рециркуляции. Основываясь на ранее неизвестных механизмах возбуждения автоколебаний теплоподводом, проведен анализ возможных способов реконструкции камер горения с целью снижения интенсивности пульсаций вибрационного горения. Рассмотрена математическая постановка задачи оптимального выбора реконструкции рассматриваемых устройств при ограниченных затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах: моногр. / В.В. Казакевич. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с.
2. К проблеме нейтрализации помпажа двухступенчатого лопатного нагнетателя / В.В. Гоцуленко, В.Н. Гоцуленко, О.В. Дубина [и др.] // Системные технологии. – 2007. – № 3'(50). – С. 109 – 120.
3. Доменные воздухонагреватели [Шкляр Ф.Р., Малкин В.М., Каштанова С. П. и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
4. Беляев Н. М. Термоакустические колебания газожидкостных потоков в сложных трубопроводах энергетических установок / Беляев Н.М., Белик Н.П., Польшин А. В. – К.: Высшая школа, 1985. – 160 с.
5. Пат. 29424 Украина, МПК (2006) F04D 17/00. Одноступеневый відцентровий компресор / Гоцуленко В. В., Гоцуленко В. М.; заявник і патентоволодар. – Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 200710800; заявл. 01.10.2007; опубл. 10.01.2008. Бюл. № 1.

6. Пат. 25954 Україна, МПК (2006) F04D 1/00. Відцентровий компресор доменної печі / Гоцуленко В.В., Гоцуленко В.М., Дубина О.В., Романенко В.І., Садовий О. В., Стасевич Р. К., Тищенко М. Т.; заявник і патентоволодар. – Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 200704787; заявл. 28.04.2007; опубл. 27.08.2007. Бюл. № 13.
7. Пат. 4208 Україна, МПК (2005) 7F04D 17/00. Одно-ступеневий відцентровий компресор / Гоцуленко В.В., Долгополов І.С., Гоцуленко В.Н.; заявник і патентоволодар. – Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 20031212178; заявлено 15. 03. 2004; опубл. 17. 01. 2005; Бюл. № 1.
8. Пат. 6451 Україна, 7 F04D 1/06. Відцентровий компресор доменної печі / Гоцуленко В. В., Огурцов А. П., Долгополов І.С., Гоцуленко В.М., Несвіт В.В., Горбунов О. Д., Бородулін О. В.; заявник і патентоволодар. – Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 20040806848; заявл. 16.08.2004; опубл. 16.05.2005. Бюл. № 5.
9. Андрейшина Н. Б. Повышение эффективности деятельности торгового предприятия оптимальным выбором цены как функции времени /Н.Б. Андрейшина, В.В. Гоцуленко //Вестник Национального технического университета "ХПИ". 2006. № 39. -С. 81-85.
10. Gotsulenko V.V. Special Modes of the Pijke Phenomenon /V.V. Gotsulenko //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2005. – Vol. 78 – No 2. – P. 375 – 379.
11. Gotsulenko V. V. On the problem of control of relaxation oscillations of a “singing” flame /V.V. Gotsulenko //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2007. – Vol. 80, No 3. – P. 563 – 569.
12. Гоцуленко В.В. Возрастание амплитуды колебаний, порождающих энтропийные волны в процессе сгорания топлива в ЖРД /В.В. Гоцуленко, В. Н. Гоцуленко // 6-й Минский международный форум по тепло- и массо-обмену: Тез. докл. и сообщ. – Минск. - 2008. - Т 1. - С. 320 -321.
13. Пат. 15255 Україна, МПК (2006) C21B 9/00. Камера горіння повітрянагрівача доменних печей / Гоцуленко В. В., Гоцуленко В. М.; заявник і патентоволодар. – Дніпродзерж. держ. техн. ун-т. – № 200512883; заявл. 30.12.2005; опубл. 15.06.2006. Бюл. № 6.