

С.Г. МОГИЛЬНЫЙ, А.А. ШОЛОМИЦКИЙ, доктори техн. наук,
Е.И. ШМОРГУН Донецкий национальный технический университет
Е.Е. КУЖНЕНКОВ, «ПАНАТЕСТ-УКРАИНА»

КОМПЛЕКСНАЯ ИНСПЕКЦИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Описана технология онлайн-геодезических измерений геометрических и кинематических параметров вращающихся печей, которая позволяет оценить техническое состояние печи в процессе эксплуатации. Приведен материал термографической съемки печи. Выполнен анализ результатов измерений и перспективы использования этого метода.

Проблема и ее связь с практическими задачами. В горнодобывающей, металлургической и цементной промышленности находится в эксплуатации множество вращающихся крупногабаритных объектов непрерывного действия: вращающиеся обжиговые печи, мельницы, барабанные сушилки и т.д. Долговечность и надежность работы такого оборудования напрямую зависит от точности его установки в проектное положение. Статистика эксплуатации такого оборудования свидетельствует, что более 30% аварий и внеплановых простоев связано с отклонениями от прямой линии оси вращения печи [1,2]. При тщательной установке вращающихся объектов в проектное положение наблюдается увеличение времени межремонтных циклов. Кроме этого уменьшается мощность привода для вращения печи, а, следовательно, экономится электроэнергия. Поэтому повышение качества геодезического обслуживания вращающихся объектов непрерывного производства и сокращение сроков геодезических работ является важной и актуальной задачей.

Современный подход к технической инспекции вращающихся цементных печей предполагает использование передовых технологий и специального оборудования [3-8]. Важной тенденцией геодезического контроля является минимизация времени измерений, что позволяет сократить время простоя оборудования, поэтому измерения на действующем оборудовании в режиме реального времени являются наиболее перспективными для геодезического мониторинга промышленных агрегатов.

В процессе эксплуатации печи под воздействием различных факторов, оболочка печи, бандажи и ролики постепенно изнашиваются. Износ вызывает изменение геометрических параметров, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости.

Отклонение от геометрических параметров и неравномерный температурный нагрев приводит к неравномерным знакопеременным напряжениям в первую очередь на вращающихся элементах печи, что может привести к трещинам и разрывам, для устранения которых необходимо остановить печь, охладить ее и приварить ребра жесткости или выполнить замену участка обечайки. Затем печь медленно нагревается до рабочей температуры. Поэтому периодически печь останавливают и производят контроль геометрических характеристик печи методом геометрического и бокового нивелирования [1-2]. При этом невозможно достоверно определить отклонения параметров, так как измерения производятся на охлажденной печи в статическом состоянии.



Рис. 1. Принцип измерения печей электронным тахеометром

Контроль геометрических параметров на действующем оборудовании усложняется: из-за постоянного вращения печи, высокой температуры и значительных размеров. До настоящего времени, определить геометрические изменения непосредственными измерениями практически было невозможно. Косвенные методики выполнения таких измерений, опирающиеся на биение вращающейся поверхности [3-6] дают невысокую точность. Более точные способы [7] требуют остановки и охлаждения печи. А раз печь измеряется в стационарном состоянии - невозможно определить кинематические характеристики

печи.

Процесс, включающий себя установление и исправление возникших нарушений, и называется технической инспекцией печи. Основными параметрами технической инспекции, существенно влияющими на эксплуатационную готовность печи, являются: ось печи, овальность обечайки, бандажа и роликов, изгиб печи в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Регулярные проверки печи требуются для обеспечения оптимальной эксплуатационной готовности печных установок и подтверждения того, что печь работает в рамках утвержденных проектировщиком показателей нагрузок и напряжений.

Использование современных технологий и инструментов позволяет решить данную проблему регулярности и качества технической инспекции путем дистанционного измерения печи лазерным лучом. Для этого используются электронные тахеометры. При этом данные, полученные с электронного тахеометра в режиме реального времени, обрабатываются на портативном компьютере (ноутбуке) с использованием программного обеспечения *Визир 3D*. На рисунке 1 представлено схематическое изображение принципа измерения печи электронным тахеометром.

Методика работ заключается в измерении точек, расположенных в характерных сечениях объектов: секций обечайки, бандажей и опорных роликов. Точки в сечениях располагаются группами, таким образом, чтобы можно было надежно определить геометрические параметры сечения. По совокупности сечений для конкретного объекта можно вычислить его геометрические параметры.

Производственные измерения печи № 3 по обжигу доломита были выполнены для проверки эффективности предлагаемой технологии. Условия измерений были сложными, поскольку измерения выполнялись летом при температуре от 32° до 60°С. Опорная геодезическая сеть, для приведения всех измерений в единую систему координат была закреплена на окружающих металлических конструкциях пятью магнитными поворотными марками, так что привязка любой точки обеспечивалась к трем или четырем точкам.

Время одного оборота печи составляло 59 сек. На сечении группа точек насчитывала не менее 10 измерений, таким образом, на каждом сечении определялось от 30 до 36 точек, равномерно расположенных по окружности сечения.

Всего на печи было измерено 15 сечений на обечайке и по два сечения на бандажах, расположение сечений показано на рис. 2. Кроме того, на каждом опорном ролике измерялось по два сечения. По паре сечений бандажа вычислялись ось и центр его вращения. Отклонения оси печи, построенной по центрам вращения бандажей, от прямой линии не превышали 1-3мм, такие маленькие отклонения объясняются тем, что печь была введена в эксплуатацию недавно, после ремонта.

Расположение центров вращения сечений обечаек показано на рис. 2. Откуда видно, что при вращении корпус обечайки совершает довольно значительные отклонения от прямой, до 60 мм.

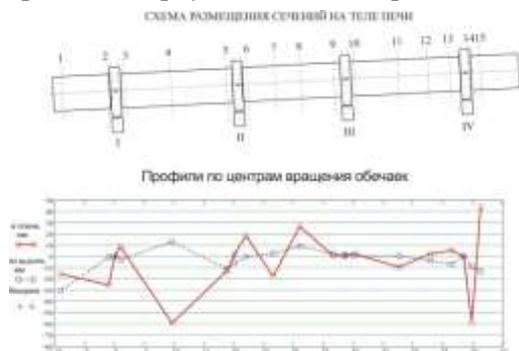


Рис. 2. Результаты определения прямолинейности оси вращения обечаек

Отклонение профиля сечения бандажа от окружности составляет 1-3 мм. Причем это отклонение может быть вызвано не только неровностями поверхности бандажа, но и некоторой нестабильностью положения мгновенных центров вращения.

Сечение обечайки имеет большие отклонения от окружности, до 12 мм. Возможно, что ее поверхность не столь правильной формы, но скорее всего это вызвано блужданием мгновенных центров вращения

в процессе одного оборота печи.

Рис. 3 Ребра жесткости печи № 3

Совокупность профилей сечений дает детальную информацию о кинематике узлов печи в процессе вращения, позволяет механикам оперативно оценить состояние установки и принять обоснованные решения по устранению недостатков.



Если сравнить полученные данные с результатами визуального обследования печи (рис. 3) видно, что печь была усилена в местах появления трещин специальными конструктивными элементами - ребрами жесткости, которые усиливают обечайку и препятствуют развитию деформаций изгиба печи.

Как видно из рисунка, эти элементы располагаются в местах, которые соответствуют максимальным отклонениям оси печи (см. рис. 3).

Измерение температуры печи. Параллельно с измерением геометрии печи выполнялись работы по определению температуры печи. Эти измерения выполнялись тепловизором

MIKRON M7600 фирмы Lumasence Inc. (США), для выявления температурных аномалий на поверхности печи. Измерения показали, что поверхность печи нагрета неодинаково, имеются однородные участки, на которых перепад температур не превышает 20-30° С (рис. 5а), и участки с перепадами температуры в 100 и даже 150° С (рис. 4 и 5б).

Участки с температурными аномалиями свидетельствуют о возможном нарушении футеровки печи. Расположение температурных аномалий на теле печи хорошо совпадает с местами наибольших отклонений оси вращения печи, построенной по центрам вращения обечаек (рис 2).

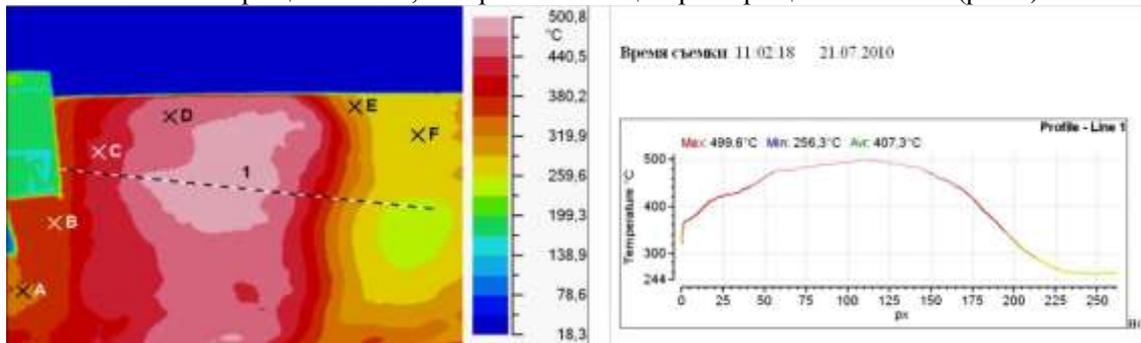


Рис. 4 Температурные аномалии (сечения 1 – 2)

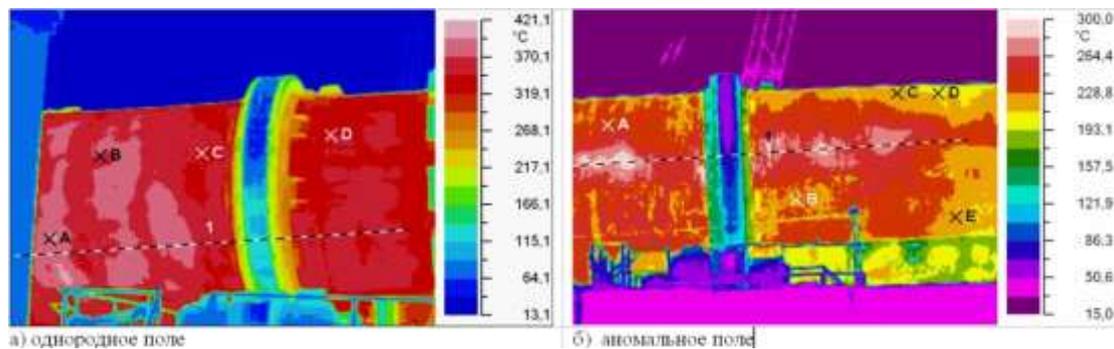


Рис. 5 Участки однородного и аномального нагрева обечайки

Возможно, это свидетельствует о том, что в этих местах обечайка испытывает знакопеременные нагрузки, которые вызывают преждевременное разрушение футеровки печи. Кроме измерения температуры самой печи были выполнены измерения температуры атмосферы в пределах области измерений для учета рефракции при геодезических измерениях.

Заключение. Промышленные испытания подтвердили высокую эффективность технологии измерений геометрических и кинематических параметров вращающихся печей. Вычисления показали, что точность результатов определяется точностью измерения расстояния. При испытаниях использовался тахеометр, имеющий среднюю ошибку измерения расстояния ± 1 мм, следовательно, и вычисленные линейные параметры имеют такую же среднюю погрешность.

Время однократного измерения печи составляет 4–8 часов в зависимости от длины печи, результаты для анализа состояния печи формируются программно на месте, сразу же по окончании измерений в виде отчета. Метод онлайн-дистанционных измерений позволяет оценить техническое состояние печи без ее остановки, в процессе эксплуатации, что позволяет принять обоснованное решение о возможных сроках дальнейшей эксплуатации печи.

Предлагаемая технология обеспечивает высокую безопасность выполнения работ и может быть рекомендована для различных вращающихся агрегатов. Способ определения геометрических и кинематических характеристик вращающихся агрегатов защищен патентом на изобретение [10]. Своей дальнейшей задачей авторы видят моделирование и исследование напряженного состояния печи в зависимости от отклонений оси вращения печи от прямой линии.

Список литературы

1. **И.В. Кузьо** Расчет и контроль установки агрегатов непрерывного производства / **И.В. Кузьо, Т.Г. Шевченко** // – Львов: Вища школа. – 1987. –176с.
2. Руководство по выверке технологического оборудования металлургической промышленности. // **Т.Г.Шевченко, С.Г.Хропот, В.П.Пивоваров, А.А.Игнатов, В.Ф.Меньшиков**, Министерство металлургии СССР, 1991, –212с.
3. **В. Krystowczyk** “Ausrichten von Drehofen und Korrektur der Tragrollen-Verdrehungen waehrend des Betriebes” ZEMENT-KALK-GIPS № 5 1983 –P. 288-292
4. **By. Josef, L.Robertson** “Killn Alignment Method Allows Corrections While Operating” // Rock Products, –1987. p. 21–22
5. **В. Krystowczyk, Z.Krystowczyk** “Nasz biznes z Hindusami” // Geodeta, № 4, KWIECIEN 2002, p. 1–7
6. **Z.Krystowczyk** “Geometry Measurement Of Killn Shell in Dynamic Condition” // Cemend & Building Materials, № 16, June 2004, p. 34–37
7. **Петров В.В.** Технология контроля геометрических характеристик вращающихся печей / **Петров В.В., Тюрин С.В.** // Целлюлоза. Бумага. Картон, –2005, № 7.–с. 66-70
8. **Могильный С.Г.** Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины: Геодезический контроль и выверка технологического оборудования / **Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Ревуцкий В.Н., Пригаров В.А.** // Геопрофиль №3 (6), –2009. –С.12-19
9. **Могильный С.Г.** Трьохкоординатний вимірювальний комплекс «Визир 3D» / **Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Шморган Є.І.** // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. Вип. 9(143), – Донецьк: ДонНТУ, 2009. –С.13–25
10. Патент на винахід № 92655 „Спосіб визначення параметрів поверхні обертових агрегатів” **Могильный С.Г., Шоломицкий А.А.** Дата публ. 25.11.2010 Бюл. № 22

Рукопись поступила в редакцию 11.02.11