

*д.т.н. Кравченко В.М.
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина),
к.т.н. Сидоров В.А.
(ДонНТУ, г. Донецк, Украина),
к.т.н. Буцукин В.В.
(ПГТУ, г. Мариуполь, Украина, butsukin@mail.ru)*

ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И РАЗВИТИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

Зроблена спроба на основі матеріалів, отриманих в ході дослідження вібраційної активності редуктора головної лінії обтискової кліті, проаналізувати дію сезонного чинника на працездатність цього устаткування, встановити період знімання інформації, що забезпечує успішне застосування автоматизованої системи технічної діагностики даних вузлів.

***Ключові слова:** головна лінія обтискової кліті, редуктор, сезон, працездатність, вібраційна діагностика*

Предпринята попытка на основе материалов, полученных в ходе исследования вибрационной активности редуктора главной линии обжимной клетки, проанализировать воздействие сезонного фактора на работоспособность этого оборудования, установить период съёма информации, обеспечивающей успешное применение автоматизированной системы технической диагностики данных узлов.

***Ключевые слова:** главная линия обжимной клетки, редуктор, сезон, работоспособность, вибрационная диагностика*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одной из тенденций в развитии современного металлургического оборудования и тяжелых машин других отраслей промышленности является внедрение автоматизированных систем технической диагностики (АСТД) [1-3]. Такие системы обеспечивают обслуживающий персонал данными о техническом состоянии узлов оборудования, позволяют, в ряде случаев, своевременно выявить их предаварийное состояние и принять меры к предупреждающему ремонту. Важным условием успешного функционирования АСТД является установление периодически-

сти съема и фиксации информации о техническом состоянии узлов, соответствующего особенностям их устройства и условий эксплуатации. При излишне частом фиксации параметров нерационально возрастают объемы информации, которую необходимо фиксировать и хранить в бумажном и электронном виде, усложняется её анализ. При относительно редкой фиксации параметров узлов, охваченных АСТД, может быть пропущен момент перехода от стадии нормального износа к стадии интенсивного (аварийного) износа и вместо ремонта предупредительного приходится выполнять ремонт аварийный, сопровождающийся существенными экономическими потерями.

Анализ исследований и публикаций. Одним из существенных факторов, оказывающих влияние на частоту возникновения отказов оборудования, который необходимо учитывать при определении периодичности съема и фиксации информации о техническом состоянии узлов, является изменение температуры окружающей среды, связанное с сезонными климатическими изменениями. Наиболее ярко «сезонный фактор» проявляется при эксплуатации горного оборудования, эксплуатирующегося на открытых площадках. Так, например, частота поломок металлоконструкций экскаваторов в зимний период может увеличиваться в 2,5 – 6,0 раз по сравнению с летним периодом [3]. Оборудование, эксплуатирующееся в закрытых помещениях, менее подвержено перепадам температур и, соответственно, «сезонный» фактор в его работе проявляется менее ярко. Однако опыт, накопленный авторами в ходе многолетних исследований металлургических машин, позволяет утверждать, что не учитывать этот фактор при исследованиях и разработках АСТД металлургического оборудования нельзя. По нашему мнению, применительно к работе металлургического оборудования, можно выделить два сезонных периода увеличения числа отказов узлов - весенний (переход от относительно низких температур в пространстве цеха к более высоким) и осенний - при переходе от температур относительно высоких (до +40° С летом) к более низким. В первом случае в узлах оборудования, собранных в зимний период при относительно низких температурах, увеличиваются, из-за теплового расширения, зазоры, уменьшается вязкость смазок и, соответственно, несущая способность смазочного слоя, что приводит к увеличению интенсивности износа сопрягаемых элементов узлов. Во втором случае в узлах, собранных при относительно высоких летних температурах, уменьшаются зазоры что, в сочетании с повышением вязкости смазок, может привести к ухудшению смазки узлов. Если при летней сборке зазоры в узлах были занижены по сравнению с требованиями технической документации возможно даже полное разрушение отдельных элементов конструкций. Такая ситуация проявилась в осенний период при начале эксплуатации прокатного стана

одного из металлургических предприятий Донецкого региона. При резком похолодании произошло разрушение обоймы одной из зубчатых муфт привода ножиц. Причина разрушения – недостаточный осевой люфт обоймы. При монтаже не были учтены изменения размеров сопрягаемых деталей при похолодании.

Влияние сезонного фактора на работоспособность узлов металлургических машин изучено, по нашему мнению, недостаточно полно. В связи с этим актуальной представляется задача сбора информации о периодичности отказов изделий и влиянии нарастания износа на показатели работы оборудования, которые могут быть использованы как диагностические факторы при проектировании АСТД.

Постановка задачи. В статье предпринята попытка на основе материалов, полученных в ходе исследования вибрационной активности редуктора ЦОС-120 главной линии обжимной клетки 350, проанализировать воздействие сезонного фактора на работоспособность этого оборудования, установить период съёма информации, обеспечивающий успешное применение АСТД данных узлов.

Изложение материала и его результаты. Исследование вибрационной активности редуктора ЦОС-120 главной линии обжимной клетки 350 выполнено в период февраля – мая. Измерения параметров вибрации проводилось при работе оборудования в режиме рабочего хода, при помощи виброметра 107В и пьезоэлектрического датчика. Крепление датчика осуществлялось при помощи магнита. Схема размещения точек измерения вибрационных параметров редуктора ЦОС – 120 приведена на рисунке 1, результаты измерения в хронологическом порядке – в таблице 1.

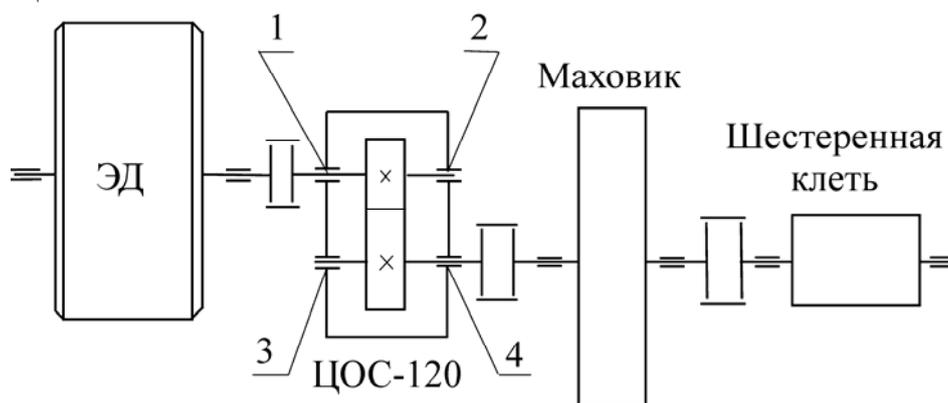


Рисунок 1 – Расположение точек измерения параметров вибрации редуктора ЦОС-120: 1 и 2 – подшипники быстрого вала редуктора со стороны, соответственно, электродвигателя и шестеренной клетки; 3 и 4 – подшипники тихоходного вала редуктора со стороны, соответственно, электродвигателя и шестеренной клетки; ЭД – электродвигатель

Таблица 1 – Результаты измерения параметров вибрации редуктора ЦОС-120

Параметры вибрации	Направление измерения	Дата измерения						
		19.02.08	03.03.08	08.04.08	14.04.08	21.04.08	19.05.08	20.05.08
Точка измерения 1								
СКЗ, мм/с	вертикальное	2,6	3,5	2,2	3,6	2,95	1,5	1,7
СКЗ, мм/с	горизонтальное	2,3	2,1	0,84	1,1	1,89	1,18	1,08
СКЗ, мм/с	осевое	2,9	2,5	1,16	1,89	2,14	1,5	1,9
СКЗ/ПИК, м/с ²	вертикальное	6/-	5,8/25	3,5/8,9	4/12	3,9/12	2,4/8	2,3/8
СКЗ/ПИК, м/с ²	горизонтальное	6,8/-	5,2/20	1,7/5,7	2,7/9,5	2,5/8,7	2,1/6,6	1,5/5,9
Точка измерения 2								
СКЗ, мм/с	вертикальное	2	2,3	2,17	2,55	2,75	1,8	1,5
СКЗ, мм/с	горизонтальное	1,7	2,5	1,0	2,43	2,86	0,98	1,6
СКЗ, мм/с	осевое	2,2	2,7	1,25	2,9	3,24	3	2,1
СКЗ/ПИК, м/с ²	вертикальное	3,9/-	4,1/13	4/10	5,8/20	3/13	2/10	3/12
СКЗ/ПИК, м/с ²	горизонтальное	3,7/-	3,8/13	3/10	5/14	3/12	3,6/11	2,3/7
Точка измерения 3								
СКЗ, мм/с	вертикальное	1,4	1,4	0,64	1,53	1,21	1,3	1,1
СКЗ, мм/с	горизонтальное	2,8	1,8	1,02	1,35	2,26	1,6	1
СКЗ, мм/с	осевое	1,8	2,3	1,61	2,1	2,26	1,4	2,1
СКЗ/ПИК, м/с ²	вертикальное	4,9/-	4,5/15	1,5/4,8	2,1/7,7	2,2/7,5	2,9/10	2,7/8
СКЗ/ПИК, м/с ²	горизонтальное	4,8/-	4/14	1,5/4,3	1,9/7,3	2,1/6,3	2/6,9	2/7
Точка измерения 4								
СКЗ, мм/с	вертикальное	2,2	1,0	0,45	1,34	1,17	0,8	1,1
СКЗ, мм/с	горизонтальное	1,1	1,3	0,57	1,28	1,26	0,7	1,0
СКЗ, мм/с	осевое	2	3,1	1,35	2,06	3,46	2,1	1,3
СКЗ/ПИК, м/с ²	вертикальное	2/-	2,4/9	1,4/5	4/11	3/10	2,5/7	2,5/7
СКЗ/ПИК, м/с ²	горизонтальное	2,2/-	2,1/7	1,8/5,6	2,4/9	2/7,5	3/8	2/7

Условные обозначения: СКЗ – среднеквадратичное значение виброскорости; СКЗ/ПИК – среднеквадратичное/пиковое значение виброускорения.

Измерения проводились в вертикальном (V), горизонтальном (H), осевом (A) направлениях. Проводились измерения общих параметров вибрации и частотной формы вибрационного сигнала, при рабочей частоте вращения. Контролируемый частотный диапазон: при измерении виброскорости 2...400 Гц; при измерении виброускорения 10...4000 Гц.

В период наблюдений 3 апреля 2008 г. произошла плановая остановка прокатного стана, во время которой было осуществлена замена быстроходного вала вышеуказанного редуктора из-за обнаружения начальной стадии разрушения сепараторов подшипников, при визуальном осмотре оборудования во время предшествовавшего текущего ремонта 27 марта 2008 г.

Из данных таблицы 1, основываясь на рекомендациях по определению технического состояния оборудования на основе результатов их вибрационной диагностики, приведенных в работах [1,4], можно сделать вывод, что для обследований 19 февраля и 3 марта 2008 г., предшествовавших выходу из строя быстроходного вала, техническое состояние

редуктора характеризуется как удовлетворительное. Отклонения значений виброскорости в двух последовательных обследованиях до $\pm 50\%$ явление достаточно распространенное в практике вибродиагностирования и может быть объяснено неизбежным изменением усилия затяжки резьбовых соединений под влиянием вибрации и ремонтных воздействий со стороны обслуживающего персонала, проведенных в период времени между указанными датами.

Осмотр подшипников быстроходного вала, проведенный после его замены, позволил установить следующее.

1. На беговой дорожке одного из рядов роликов подшипника со стороны обжимной клетки присутствуют следы схватывания (рисунок 2). Размеры повреждения позволяют предположить о наличии данного дефекта в скрытом виде при установке подшипника и дальнейшем интенсивном развитии при снижении демпфирующих свойств масляной пленки при повышении температуры окружающего воздуха.

2. Внутреннее кольцо подшипника со стороны электродвигателя имеет многочисленные трещины (рисунок 3) и следы проворота на посадочной поверхности. Это результат воздействия динамических (ударных) нагрузок из-за повышенных зазоров, ослабления посадки внутреннего кольца подшипника при сборке и повышение момента сопротивления при работе подшипника.

3. На роликах обоих подшипников просматриваются цвета побежалости от темно-желтого до темно-синего цвета, что соответствует температуре нагрева поверхности $230...270\text{ }^{\circ}\text{C}$.

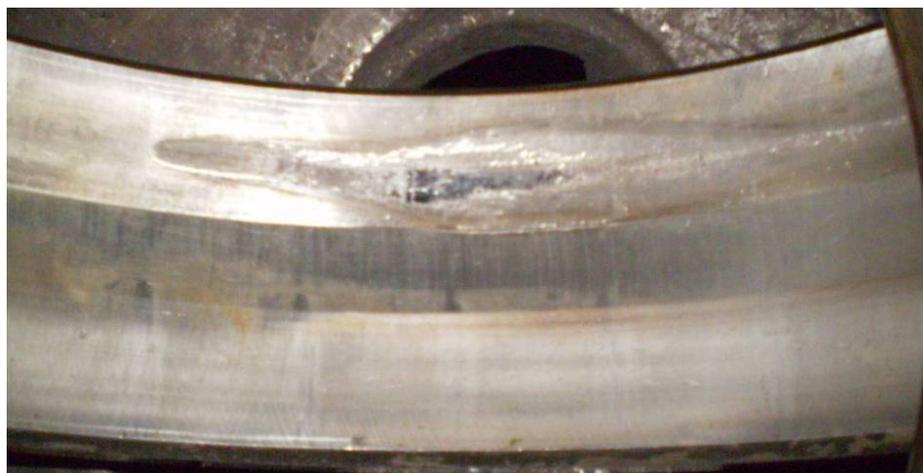


Рисунок 2 – Повреждения на беговой дорожке наружного кольца подшипника



Рисунок 3 – Трещины и следы проворота на посадочной поверхности внутреннего кольца подшипника

Изложенное позволило сделать вывод о том, что разрушение деталей подшипника произошло в результате неблагоприятного сочетания комплекса параметров определяющих его работоспособное состояние: ослабление резьбовых соединений, износ посадочных мест. Иницирующим событием послужило изменение температуры окружающей среды (рисунок 4).

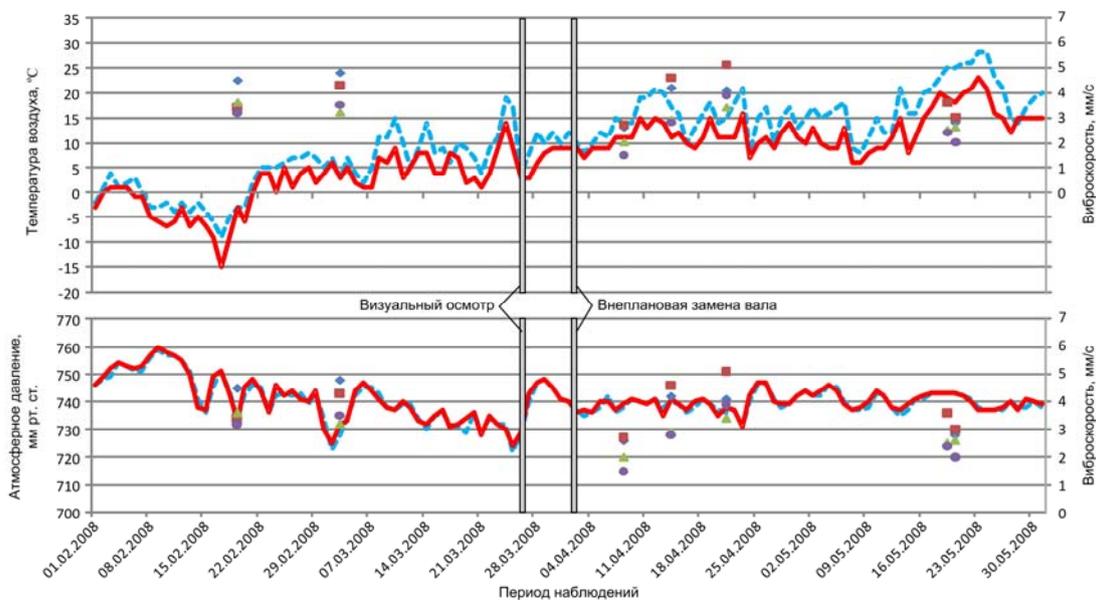


Рисунок 4 – Сопоставление температуры воздуха и атмосферного давления в Донецком регионе с уровнем вибрации редуктора ЦОС-120 за период наблюдения с февраля по май 2008 г.: --- и — — температура и атмосферное давление, соответственно утром и вечером; ◆, ■, ▲ и ● — точки измерения (таблица 1), соответственно 1, 2, 3 и 4

Как видно из приведенных графиков на рисунке 6 в период с 1 февраля по 3 марта 2008 г. (дата второго измерения параметров вибрации редуктора) произошло скачкообразное изменение температуры воздуха в Донецком регионе с минусовых на плюсовые значения. Далее до даты визуального осмотра подшипников редуктора – 27 марта 2008 г. – температура воздуха продолжила скачкообразные изменения, но уже ниже нулевого значения не опускалась. Именно в эти периоды, когда температура воздуха повышалась выше 0 до 10...15 °С в прокатном цехе наблюдался "парниковый эффект" – температура воздуха в закрытом производственном помещении поднималась еще выше. В период времени с 27 марта по 14 апреля 2008 г. (дата третьего измерения параметров вибрации редуктора) температура воздуха сохраняла относительно стабильное значение. До конца мая месяца 2008 г. температура воздуха продолжила скачкообразное изменение в сторону повышения значения.

Изложенное позволяет сделать вывод, что для предупреждения аварийных отказов в работе металлургического оборудования, эксплуатирующегося в закрытых производственных помещениях, в весенний и осенний периоды необходимо уменьшать периодичность диагностирования оборудования, особенно по параметрам вибрации. Это позволит не пропустить момент перехода от стадии нормального износа к стадии интенсивного (аварийного) износа элементов составных частей диагностируемого оборудования и вместо ремонта предупредительного не придется выполнять ремонт аварийный, сопровождающийся существенными затратами.

Таким образом, было определено, что развитие повреждений подшипников носило лавинообразный характер, связанный с изменением внешних условий работы, в частности изменения температуры окружающей среды и изменением свойств масляной пленки в узлах трения. Это увеличило и динамические удары по внутреннему кольцу одного из подшипников, в дополнении к ослаблению резьбовых соединений и износу посадочных мест подшипников. Разрушение деталей подшипника произошло в результате неблагоприятного сочетания комплекса параметров определяющих его работоспособное состояние: ослабление резьбовых соединений, износ посадочных мест. Иницирующим событием послужило изменение температуры окружающей среды (рисунок 4).

Данные наблюдений 14.04 и 21.04 свидетельствуют, что после замены дефектного узла быстроходного вала новым в первое время показатели виброактивности нового узла остаются на уровне, приблизительно соответствующем показателям заменённого узла в период его нормальной работы до аварийного выхода из строя. Уменьшение виброактивности нового узла, зафиксированное наблюдениями 19.05 и 20.05 указывает на развитие приработки элементов привода.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Период наблюдений вибрационных характеристик редуктора ЦОС-120 главной линии обжимной клетки 350 прокатного стана не обеспечил гарантированной возможности фиксации изменений параметров вибрации редуктора, позволяющей выявить предаварийное состояние подшипников быстроходного вала редуктора. Использование дополняющего метода диагностирования – визуального осмотра позволило своевременно обнаружить, провести внеплановую замену быстроходного вала редуктора и предупредить развитие аварийной ситуации.

2. Установлено, что возникновение и развитие дефектов подшипников быстроходного вала редуктора обусловлено изменением температуры окружающей среды, что свидетельствует о влиянии "сезонного фактора" на техническое состояние механического оборудования эксплуатирующегося в закрытых производственных помещениях.

3. Влияние "сезонного фактора" на работоспособность металлургического оборудования практически еще не изучено. В связи с этим актуальной представляется задача сбора информации об отказах, изменении скорости износа элементов составных частей металлургического оборудования в весенний и осенний периоды. Эти данные могут быть использованы как критерии для определения периодичности диагностирования оборудования и как диагностические факторы для дополняющих методов диагностирования. Это позволит принимать правильные решения о необходимости предупредительной замены изношенных составных частей оборудования для предотвращения аварийных отказов и внеплановых остановок оборудования.

Библиографический список

1. Вернев В.В. *Диагностика и динамика прокатных станов* / Вернев В.В., Большаков В.И., Путноки А.Ю., Коринь А.А., Мацко С.В. – Днепропетровск: ИМА – пресс. – 2007. – 144 с.

2. Кравченко В.М. *Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования* / Кравченко В.М. – Донецк: ООО «Юго – Восток, ЛТД», 2004. – 504 с.

3. Смирнов А.Н. *Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов* / Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. – Новосибирск: Наука, 2003. – 244 с.

4. Голуб Е.С. *Диагностирование судовых технических средств: [справочник]* / Голуб Е.С., Мадорский Е.З., Розенберг Г.Ш. – М.: Транспорт, 1993. – 150 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.