

*Г. Субботин, начальник отдела диагностики,
Д. Пустошный, ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ»,
В. Попов, к. т. н., Череповецкий государственный университет*

ВИБРОДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ВАЛОВ МЕХАНИЗМОВ КАЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ



Кристаллизатор является одним из наиболее ответственных узлов машины непрерывного литья заготовок (далее по тексту МНЛЗ), в котором происходит начальное формирование слитка. От состояния кристаллизатора, стабильности режима его работы и траектории качания зависит качество выпускаемого непрерывно-литого металла. Задающим устройством, обеспечивающим движение кристаллизатора по фиксированной траектории, является механизм качания кристаллизатора (далее по тексту МКК).

МКК представляет собой сварную раму 1 (рис. 1), которая устанавливается на параллелограммное устройство, состоящее из двуплечего рычага 2, кинематических рычагов 5, 6. Двуплечий рычаг совершает качательное движение относительно оси 7 на раме съемного блока. Это движение передается на двуплечий рычаг от электропривода с эксцентриковым валом 4 через шатун 3.

Одной из причин аварийной остановки МНЛЗ является заклинивание подшипников на эксцентриковых валах МКК. До 1998

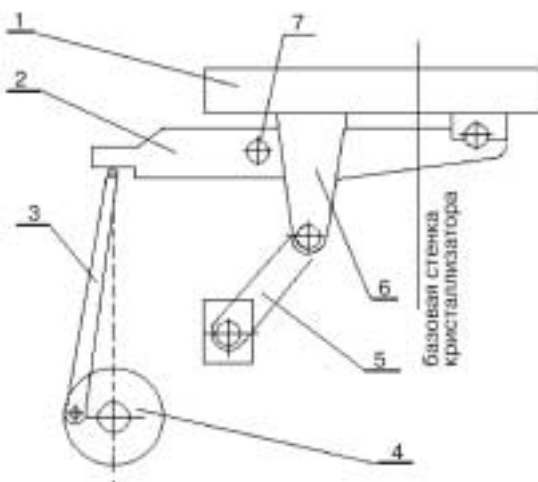


Рис. 1. Механизм качания кристаллизатора

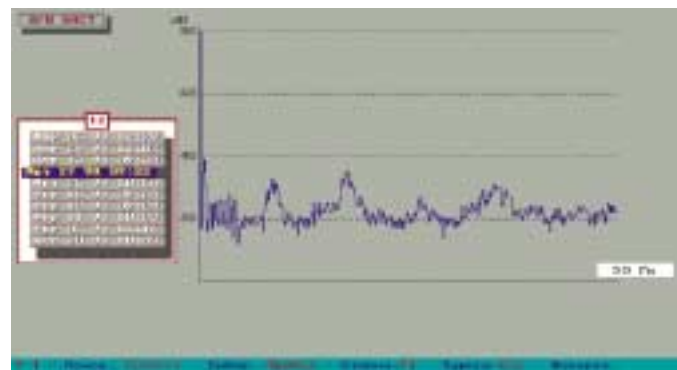


Рис. 2. Спектр огибающей вибрации — дефект тел качения подшипника МКК №6 на ручье №5 МНЛЗ №3

Таблица 1. Конфигурация точек контроля

| Название спектра | Ширина спектра, Гц | Количество линий | Полосовой фильтр | Количество усреднений |
|------------------|--------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Спектр вибрации | 50 | 400 | — | 8 |
| Спектр вибрации | 800 | 1600 | — | 8 |
| Спектр огибающей | 50 | 400 | 2500 1/3-октавный | 8 |

Точки контроля вибрации выбираются на корпусе подшипникового узла

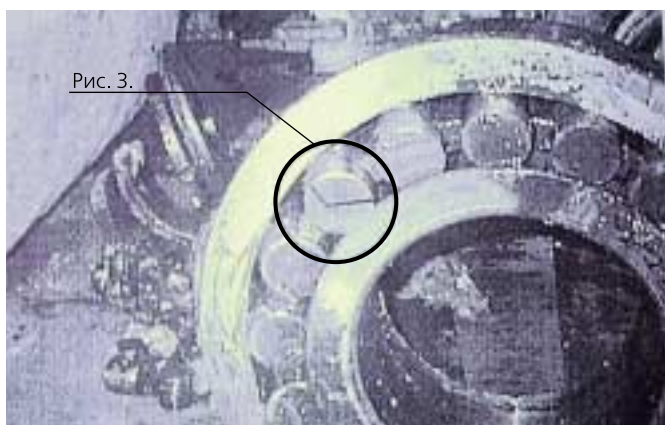


Рис. 3. Ролик качения центрального подшипника расколот — точка измерения t_2



Рис. 4. Ролик подшипника МКК №6 на ручье №5 МНЛЗ №3 расколот на три части

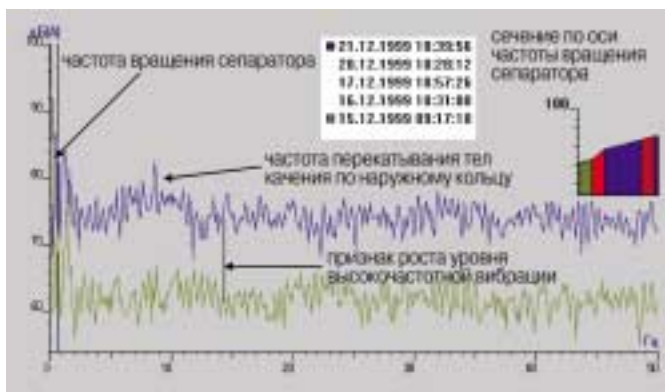


Рис. 5. Спектр огибающей вибрации — сложный дефект подшипника МКК №6 на ручье №8 МНЛЗ №4

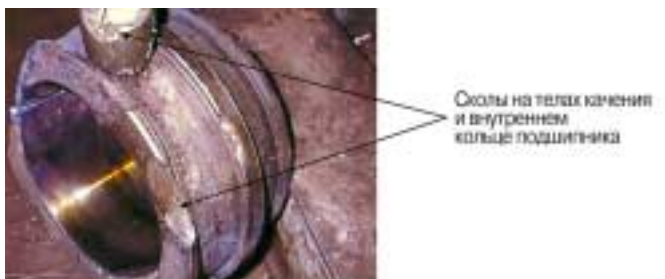


Рис. 6. Сколы на телах качения и внутреннем кольце подшипника

года замена подшипников эксцентриковых валов МКК производилась в каждый плановый ремонт (один раз в квартал) с последующей визуальной ревизией подшипников в ремонтном цехе без учета фактического состояния подшипников.

Теоретический расчет долговечности подшипника №3638, установленного на эксцентриковый вал МКК, проведенный проектным отделом ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ» (расчет опоры эксцентрикового вала ПЛ05.158.00.000 РР) показал, что долговечность подшипника №3638 равна 51 106 оборотов.

Средняя наработка механизмов качания между ремонтами составила 1010 плавков (плавка — условное наименование технологического процесса разлива жидкого металла). Продолжительность одной плавки в среднем равна 90 минут. Фактическое число оборотов подшипника за период между ремонтами составляет:

- 1010 плавков x 90 мин x 120 об./мин ~ 11 106 оборотов;
- 51 106 / 11 106 ~ 4,6 — подшипник должен вырабатывать свой теоретический ресурс после четырех межремонтных периодов.

Для уменьшения аварийных остановок МНЛЗ и сокращения затрат на ремонты необходимо оценить:

- техническое состояние подшипников на эксцентриковых валах механизмов качания в процессе работы МНЛЗ;
- техническое состояние подшипников перед выводом в ремонт, с целью определения необходимости вывода МКК из эксплуатации;
- целесообразность замены подшипников при ремонте с учетом остаточного ресурса.

В связи с этим, возникает необходимость контроля технического состояния каждого подшипника эксцентриковых валов МКК, находящихся в процессе эксплуатации (всего в наличии 17 эксцентриковых валов МКК).

ВИБРАЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ НА ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ВАЛАХ МКК

Одним из методов неразрушающего контроля технического состояния подшипников для выявления и предупреждения отказов и неисправностей, поддержания эксплуатационных показателей в установленных пределах, прогнозирования состояния механизмов в целях полного использования межремонтного ресурса является виброакустическая диагностика.

С 1998 года техническое состояние подшипников на эксцентриковых валах МКК определяется по спектральному анализу вибрационного сигнала ускорения (спектр вибрации и ее огибающей) используя, сборщик данных СД-11 и программное обеспечение фирмы ВАСТ.

Конфигурация точек контроля Т1, Т2, Т3 подшипников эксцентрикового вала однотипна — частота вращения вала — 90 об./мин (табл. 1).



Рис. 7. Сколы на сепараторе подшипника

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВАЛА МКК №6 С 25.01.1998 ПО 1999 ГГ. ПО СПЕКТРАЛЬНОМУ АНАЛИЗУ

МКК №6 работал на ручье №5 МНЛЗ №3 в течение четырех месяцев (с 25.01.98 по 20.05.98 гг.).

По спектральному анализу выявлены следующие дефекты:

- точка измерения t2 — дефект тел качения центрального подшипника (спектр на рисунке 2).

Отделом диагностики в цех выдана рекомендация №PP 002-13-4-6 на замену эксцентрикового вала. Было принято решение произвести замену в период капитального ремонта МНЛЗ №3.

С 20.05.98 по 12.06.98 гг. проводился капитальный ремонт МНЛЗ №3. При ревизии подшипников в ремонтном цехе выявлены следующие дефекты:

- расколот ролик качения центрального подшипника — точка измерения t2 (рис. 3, 4);

МКК №6 работал на ручье №5 МНЛЗ №3 в течение шестнадцати месяцев (с 12.06.98 по 25.10.99 гг.).

Периодически через 2—3 месяца перед остановкой МНЛЗ №3 на текущий ремонт (20.08.98; 30.10.98; 27.01.99; 14.04.99; 22.07.99) отделом диагностики в цех выдавались рекомендации замену эксцентрикового вала не проводить, так как состояние подшипников по результатам диагностики было признано удовлетворительным. Нароботка подшипников за этот период составила более пяти межремонтных периодов.

25.10.99 г. — в цех выдана рекомендация PP 13-04-01-05-06 на замену подшипников в плановый ремонт в связи с выработкой теоретического ресурса долговечности подшипников (более 51 106 оборотов).

Во время ремонта 26.10.99 по 06.11.99 гг. эксцентрикового вала были установлены новые подшипники, однако, как показала их эксплуатация, при монтаже были допущены нарушения технологии посадки.

МКК №6 был установлен и работал на ручье №8 МНЛЗ №4 с 11.12.99 по 22.12.99 гг., наработка составила всего 129 плавков (~ 1,4 106 оборотов).

По спектральному анализу выявлены следующие дефекты:

- точка измерения t3 — дефекты сепаратора, наружного кольца подшипника, рост высокочастотной вибрации (спектр на рисунке 5).

21.12.1999 в цех выдана рекомендация №069 PP 13-04-01-08-06 на замену эксцентрикового вала.

При осмотре подшипника обнаружено (рис. 6—8):

- на сепараторе отсутствуют четыре перегородки между телами качения;

- на наружном кольце раковины и следы задира;

- сколы на телах качения и внутреннем кольце.

С 1988 год по настоящее время каждые 8—14 дней проводится контроль состояния подшипников всех находящихся в экс-



Рис. 8. Раковины на телах качения подшипника

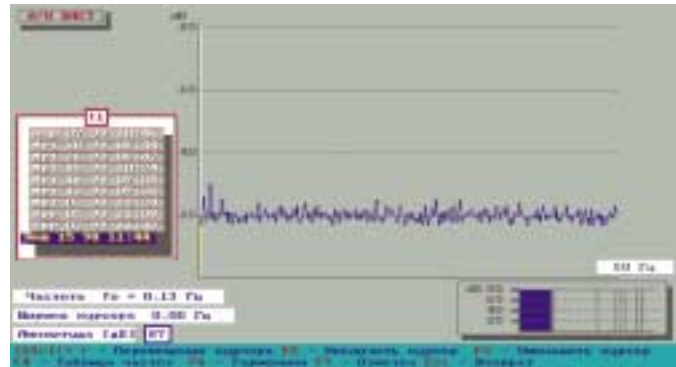


Рис. 9. Бездефектный подшипник МКК №19

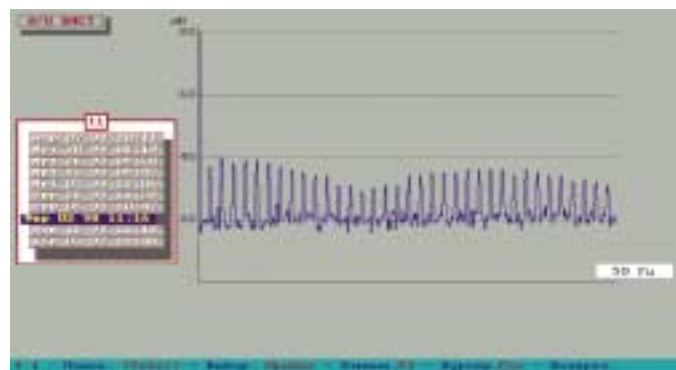


Рис. 10. Дефект соединительной муфты МКК №9

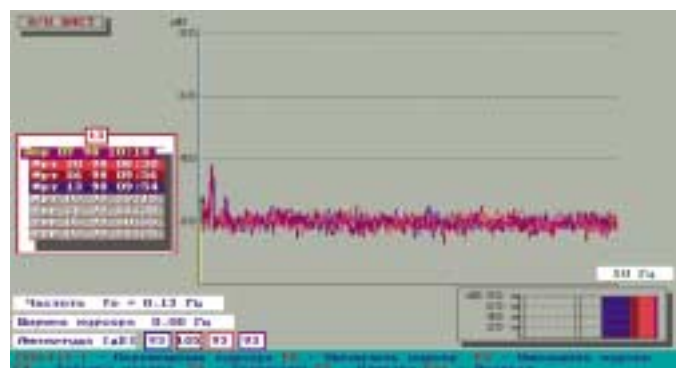


Рис. 11. Дефект смазки в подшипнике МКК №9

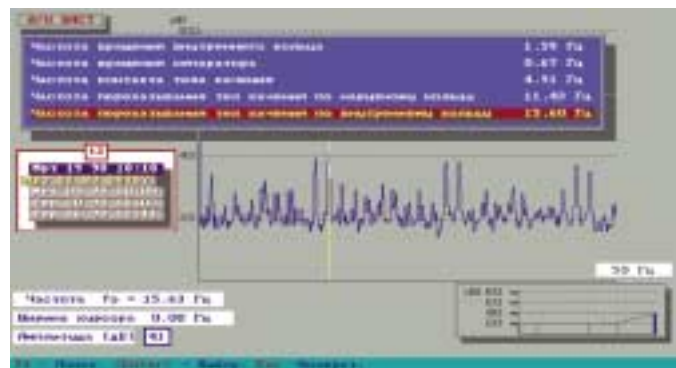


Рис. 12. Дефект внутреннего кольца подшипника МКК №12

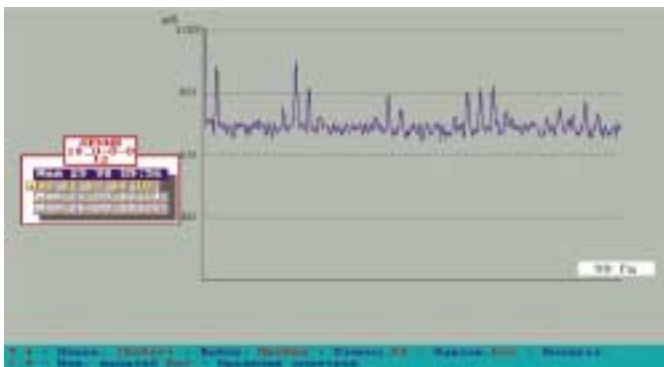


Рис. 13. Дефект наружного кольца подшипника МКК №18

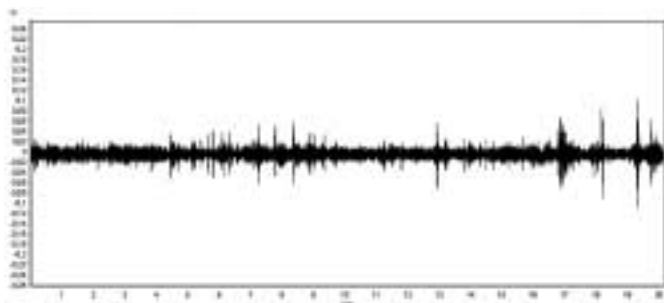


Рис. 14. Временной сигнал от 06.2000 года правого опорного подшипника конвертера №3

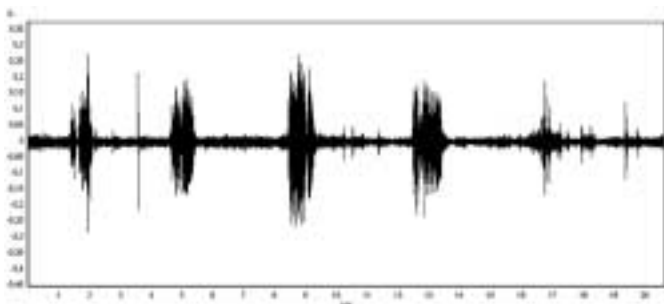


Рис. 15. Временной сигнал от 06.2001 года правого опорного подшипника конвертера №3

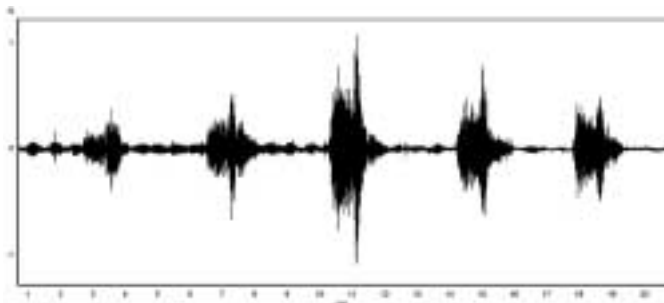


Рис. 16. Временной сигнал от 09.2001 года правого опорного подшипника конвертера №3

плуатации эксцентриковых валов механизмов качения кристаллизаторов машин непрерывной разливки стали.

При этом выявляются различные дефекты подшипников качения.

Характерные спектры огибающей вибрации бездефектного и дефектных подшипников, выявленных во время эксплуатации эксцентриковых валов МКК МНЛЗ (рис. 9—13).

За этот период число аварийных остановок из-за выхода из строя подшипников сократилось на 80%, межремонтный период увеличился в три раза, а часть подшипников заменяется после 10 000 плавов, (~108 106 оборотов), что в два раза выше теоретически рассчитанного ресурса подшипника. Все ремонты эксцентриковых валов производятся с учетом их фактического состояния по результатам диагностики.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКА ОПОРЫ ЦАПФЫ КОНВЕРТЕРА

В конвертерном производстве на конвертере №3 ОАО «Северсталь» 02.04.2000 г. произошло разрушение правого опорного подшипника цапфы конвертера. Конструкцию подшипника разработал и изготовил ЗАО «Вологодский подшипниковый завод». ОАО «Северсталь» был нанесен значительный материальный ущерб. Основными причинами выхода из строя подшипника по заключению экспертной комиссии ЧГУ под руководством профессора А.Л. Кузьмина являются:

- грубо нарушена конструкция конструирования роликовых радиальных сферических двухрядных подшипников;
- необоснованна замена марки стали;
- неверно выбраны режимы термообработки;
- невыдержанны геометрические размеры элементов подшипника.

С целью контроля состояния подшипниковых опор цапф конвертеров был организован постоянный мониторинг их состояния на основе измерения вибросигнала прибором «PORTABLE». Измерения проводились с целью выявления зависимости изменений вибросигнала от технического состояния подшипника.

По результатам анализа проведенных измерений временного сигнала выявлено:

Форма и параметры временного сигнала в период с 06.2000 по 02.2001 гг. не изменялись (рис. 14).

При анализе временного сигнала от 06.2001 года выявлено наличие периодических составляющих на частоте 0,26 Гц, что является диагностическим признаком дефекта на частоте перекатывания тел качения по внутреннему кольцу (рис. 15).

При сравнении временных сигналов от 06.2001 года и 07.2001 года амплитуда периодических составляющих на частоте 0,26 Гц увеличилась с 0,25 до 1 Г, интенсивность временного сигнала не изменилась;

При сравнении временных сигналов от 07.2001 года и 08.2001 года амплитуда и интенсивность периодических составляющих временного сигнала на частоте 0,26 Гц остались без изменения;

При сравнении временного сигнала от 08.2001 и 09.2001 года интенсивность периодических составляющих временного сигнала на частоте 0,26 Гц усилилась, амплитуда не изменилась (рис. 16).

ВЫВОДЫ

При сравнении временных сигналов в период с 06.2001 года по 09.2001 амплитуда периодических составляющие на частоте 0,26 Гц, изменился от 0,25G до 1G, что является диагностическим признаком роста дефекта на частоте перекатывания тел качения по внутреннему кольцу (рис. 17, 18).

Для идентификации изменений технического состояния подшипника проведен визуальный осмотр подшипника с помощью

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ВАЛОВ МКК МНЛЗ

Плановая диагностика проводится с ноября 1997 года.
 $Z = C1 + C2 + C3 + C4$, где
 Z — годовые затраты;
 C1 — стоимость ремонтов без покупных изделий (сдаточные накладные ремонтного цеха);
 C2 — стоимость замененных подшипников;
 C3 — стоимость замены валов подрядной организацией (смета №15537);
 C4 — стоимость диагностики узлов (прейскурант №26-05-43Э).

Затраты в 1997 году составили:
 $Z = 1\,026\,597 \text{ руб.} + 392\,535 \text{ руб.} = 1\,419\,132 \text{ руб.}$
 (выполнено 33 ремонта с заменой валов за год, диагностика не проводилась, количество замененных подшипников неизвестно).

Затраты в 1998 году составили:
 $Z = 446\,635 + 110\,329 + 178\,425 + 156\,802 = 892\,191 \text{ руб.}$ (15 ремонтов за год)

446 635 руб. — стоимость ремонтов;
 110 329 руб. — стоимость замененных подшипников;
 178425 руб. — стоимость замены валов;
 156 802 руб. — стоимость диагностики (подшипники эксцентриквого вала диагностировались четыре раза в месяц);
 Снижение затрат C3 = затраты 1997 г. — затраты 1998 г.
 $C3 = 1\,419\,132 \text{ руб.} - 892\,191 \text{ руб.} = 526\,941 \text{ руб.}$
 Затраты в 1998 г. по сравнению с 1997 г. снижены на 526 941 руб. или на 37,1% за первый год внедрения диагностики.

Затраты в 1999 году составили:
 $Z = 446\,635 + 64\,062 + 178\,425 + 117\,602 = 806\,724 \text{ руб.}$ (15 ремонтов за год)
 446 635 руб. — стоимость ремонтов;
 64 062 руб. — стоимость замененных подшипников;
 178 425 руб. — стоимость замены валов;
 117 602 руб. — стоимость диагностики (подшипники эксцентриквого вала диагностировались три раза в месяц).

Снижение затрат C3 = затраты 1998г. — затраты 1999 г.
 $C3 = 892\,191 \text{ руб.} - 806\,724 \text{ руб.} = 85\,467 \text{ руб.}$
 Затраты в 1999 г. снижены еще на 85 467 руб. или на 9,6% по сравнению с 1998 годом

оптического эндоскопа «Everest VII» с привлечением специалиста фирмы «Пергам». При этом было установлено следующее:

- на поверхности роликов и дорожке качения наружного кольца обнаружено наличие раковин размером до 1 мм;
- в районе стыка наружных полуколец подшипника имеются раковины и сколы до 2 мм;
- дорожка внутреннего кольца имеет раковины и неравномерный износ.

Вышеуказанные дефекты подшипника плавающей опоры цапфы конвертера №3 не являются аварийно опасными и можно продолжить эксплуатацию подшипника, осуществляя постоянный мониторинг его состояния прибором «PORTABLE».

Мониторинг технического состояния подшипников опор цапфы конвертеров позволяет повысить безопасную эксплуатацию и исключить подобных инцидентов.

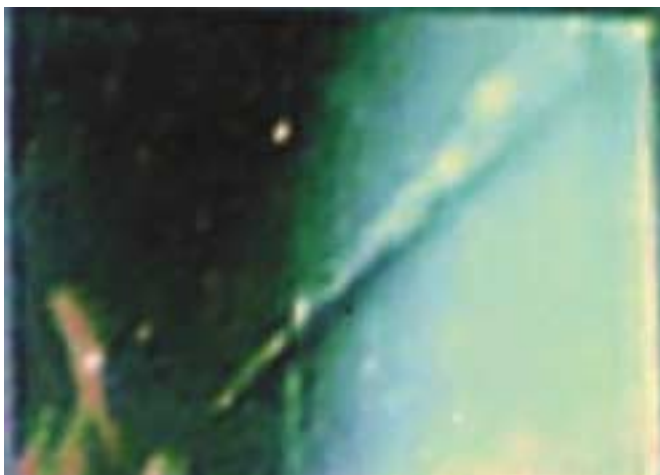


Рис. 17. Раковины и сколы до 2 мм в районе стыка наружных полуколец подшипника



Рис. 18. Раковины и неравномерный износ дорожки внутреннего кольца