

УДК 622.647.2

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РЕДУКТОРОВ ПОДЗЕМНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

Кузин Е.Г., старший преподаватель, Герике Б.Л., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Ленточный конвейер является основной горнотранспортной машиной современных угледобывающих предприятий. В ближайшее время ожидается рост количества, производительности и расстояния транспортирования горной массы ленточными конвейерами, благодаря основным достоинствам:

- возможность транспортирования без перегрузки на расстояние более 3000 м;
- значительная производительность до 5000 т/ч;
- возможность создания энергоэффективных автоматизированных технологических комплексов;
- безопасность эксплуатации.

Для горнодобывающего сектора экономики весьма актуальной задачей является сокращение затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию оборудования, конвейеры не являются исключением. Рассмотрим редукторы ленточных конвейеров, как один из важнейших компонентов, обеспечивающих надежную и бесперебойную работу технологической цепочки на предприятиях, работающих по принципу «лава – шахта».

Анализ простоев, вызванных отказом редуктора ленточного конвейера, составляет от 3,45% до 21,8% от общего числа отказов, и составляет в среднем около 12%. Гистограмма усредненного по годам процента отказов для предприятий Кузбасса приведена на рис. 1.

Необходимо отметить, что отказы, вызванные неисправностью редуктора, происходят редко, но при этом среднее время на восстановление составляет от 24 до 48 часов.

Уровень аварийности горно-шахтного оборудования сильно зависит от квалификации обслуживающего и ремонтного персонала и организации работы электромеханической службы предприятия. В целях улучшения организации работы электромеханической службы предприятия, планирование ремонтов горно-шахтного оборудования необходимо проводить с учетом его фактического состояния [1].

Неисправное состояние и отказ горной машины должны рассматриваться как неизбежные в процессе эксплуатации, как результат деградации и износа. Мониторинг технического состояния позволяет определять сценарии развития процессов износа и деградации. Как правило, внезапная остановка

конвейера по причине поломки зуба шестерни является результатом развития нескольких событий [2].



Рис. 1. – Гистограмма усредненного по годам процента отказов редукторов ленточных конвейеров

Основными являются нарушение геометрии пар трения (перекосы вала и шестерни) фрикционный износ, несоосность валов электродвигателя и редуктора (расцентровка), наличие дисбаланса. Фрикционный износ вызывается попаданием частичек пыли, воды и самого металла пар трения. Кроме того, при внезапном отказе редуктора, вызывающем его заклинивание, возникнут динамические нагрузки на ленту, что может привести к её обрыву. Это может обернуться серьезной аварией.

Таким образом, прогнозирование процессов деградации редуктора ленточного конвейера, будет способствовать не только сокращению затрат на техническое обслуживание, но и позволит повысить безопасность работ при их эксплуатации.

Одним из объективных методов оценки технического состояния оборудования является техническое диагностирование с целью определения наличия или отсутствия дефектов, а также рациональных сроков проведения ремонта, в том числе прогнозирования технического состояния оборудования и корректировки нормативов периодичности ремонта [3].

Важным принципом технического диагностирования горно-шахтного оборудования, является сравнение регламентированного значения параметра функционирования или параметра технического состояния оборудования с фактическим при использовании систем обследования. Под параметром согласно ГОСТ Р ИСО 13372-2013 понимается переменная, представляющая собой некоторую значимую измеримую характеристику системы [4].

После проведения анализа методов оценки технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров, были выбраны методы вибрационного контроля, инфракрасная термография и методы анализа параметров смазочного масла.

Применение методов вибродиагностики наиболее полно соответствует поставленной задаче по определению состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров и является основным методом диагностики. Характер распределения температурного фона по поверхности редуктора является важным техническим параметром в методе теплового контроля, так как содержит данные о процессе теплопередачи, постоянном и временном режимах его работы, учитывая процессы диссипации энергии в парах трения и наличии скрытых внутренних дефектов. Анализ параметров смазочного масла в редукторах позволяет многое сказать об условиях эксплуатации, режимах работы и в некоторых случаях установить наличие внутренних дефектов. Работающее масло позволяет не только диагностировать и прогнозировать изменение технического состояния объекта, но и выявлять причины снижения надежности и энергоэффективности [5, 6].

Для прогноза деградации технического состояния горнотранспортного оборудования необходимо применять методы, позволяющие оценить эксплуатационные свойства, основанные на вероятностно-статистическом подходе.

Результативность прогнозирования остаточного ресурса редуктора подземного ленточного конвейера зависит от того, насколько математическое описание отказов соответствует реальным процессам деградации узлов и элементов машины. Кроме того, необходимо просчитать тренды развития характеризующих состояние системы параметров.

Отказы устанавливаются по назначаемым контролируемым параметрам, характеризующим состояние, какого либо одного элемента системы, или группы элементов. Общая процедура составления прогноза согласно ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 содержит в себе следующие ключевые факторы:

- определение предельного состояния;
- наблюдение изменения параметров и оценка скорости развития дефекта;
- определение текущего технического состояния;
- получение оценки времени до отказа или остаточного ресурса машины [7, 8].

Кроме того, очень важно оценить риск возникновения отказа и риски остановки технологического процесса. Остановка хотя бы одного звена транспортной цепочки конвейеров для подземных горных предприятий, ведущих отработку длинными забоями, приведет к остановке всего технологического процесса.

Результаты измерений параметров смазочного масла для однотипных редукторов D3RST82XO компании Moventas Santasalo представлены на рис. 2 – 5.

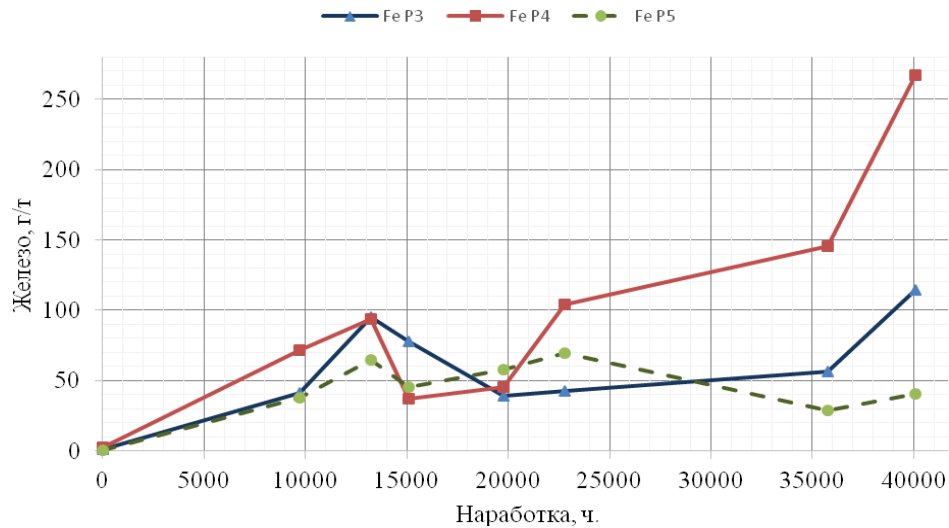


Рис. 2. – График изменения содержания железа в масле от наработки

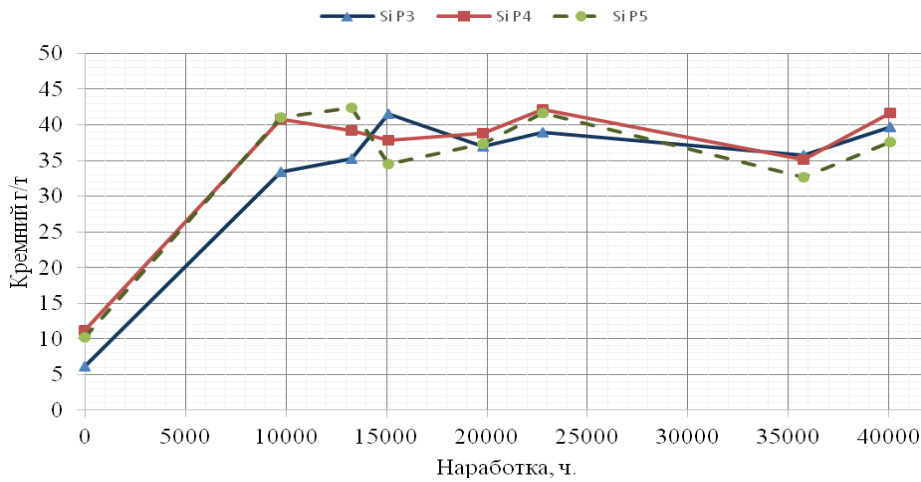


Рис. 3. – График изменения содержания кремния в масле от наработки

Анализ изменения накопления механических примесей показывает что процессы деградации масла в редукторе Р4 протекают быстрее, это связано с изначально высоким уровнем кремния и низкой вязкостью масла.

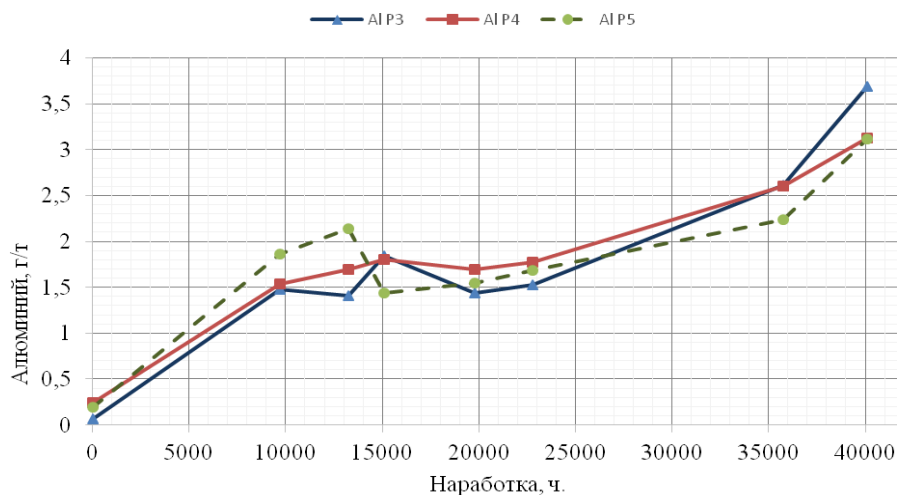


Рис. 4. – График изменения содержания алюминия в масле от наработки

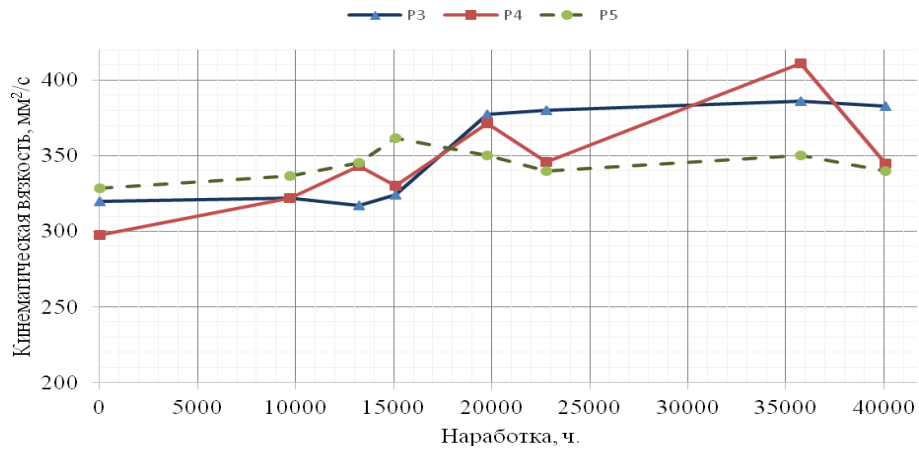


Рис. 5. – График изменения кинематической вязкости масла от наработки

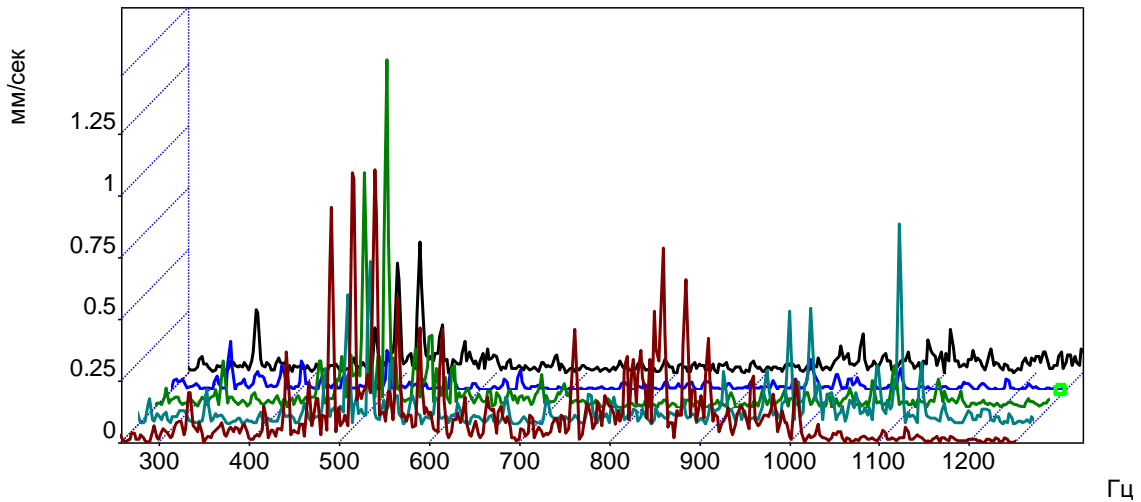


Рис. 6. – Каскадный спектр виброскорости на частотах зубозацепления редуктора P3

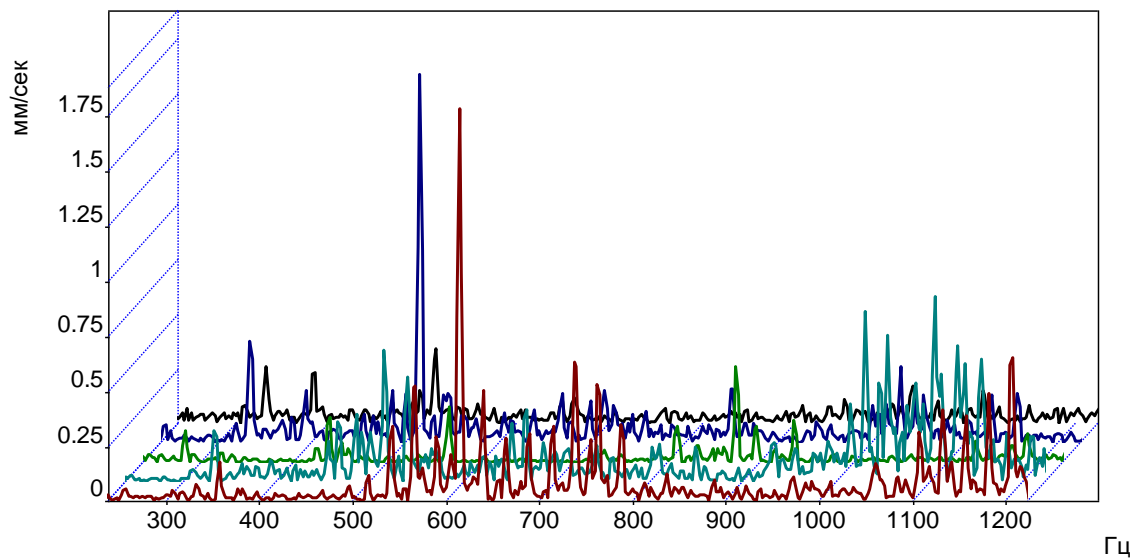


Рис. 7. – Каскадный спектр виброскорости на частотах зубозацепления редуктора P4

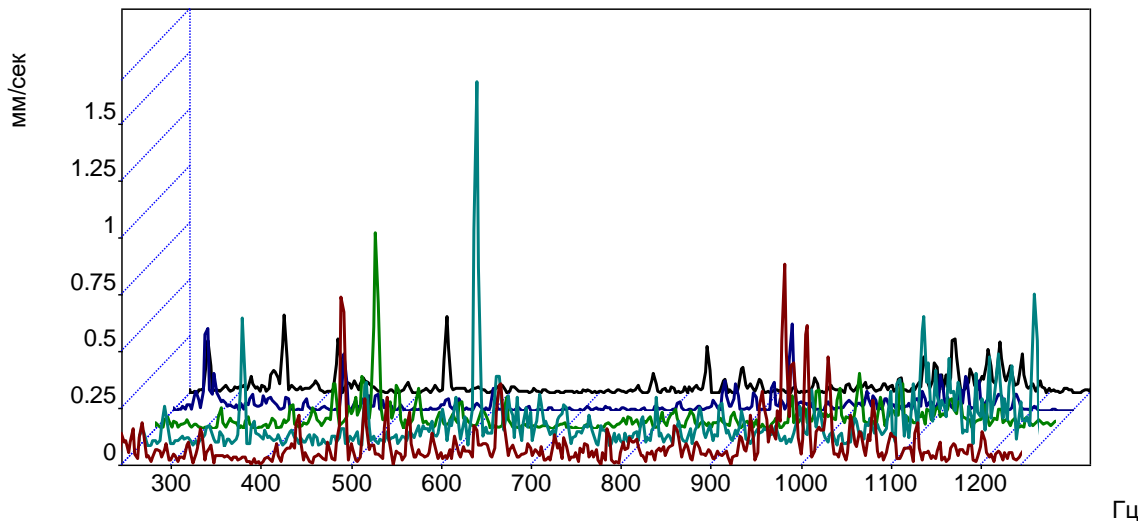


Рис. 8. – Каскадный спектр виброскорости на частотах зубозацепления редуктора P5

На рис. 6 - 8 представлены каскадные спектры изменения частотных компонент виброскорости, анализ спектров показывает увеличение уровня вибрации и расширение дополнительных боковых полос, что характерно для износа зубчатой пары быстроходного вала. При этом интенсивность износа наименьшая у редуктора P5, а наибольшая у редуктора P4. Что показывает хорошую сходимость данных анализа вибрации с содержанием железа и кремния (см. рис. 2, 3) в этих редукторах.

Таблица 1 – Уровни вибрации, техническое состояние и необходимый уровень вмешательства персонала

Уровень вибрации, $v_{скз}$ мм/с	Техническое состояние	Уровень вмешательства персонала
Менее 4,5	Допустимо без ограничения сроков	Зеленый (не требуется)
4,5 - 7,1	Предельно допустимо (ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ)	Желтый (контроль дополнительными методами)
7,1 - 11,2	Опасно (требует принятия мер)	Оранжевый (дополнительный контроль, планирование ремонта)
Более 11,2	Недопустимо (ОСТАНОВ)	Красный (незамедлительный останов)

Разрабатываемой методикой предполагается для редукторов шахтных ленточных конвейеров, предназначенных для длительной эксплуатации, установление следующих уровней технического состояния и вмешательства персонала по критерию общего уровня вибрации (табл. 1); по критерию теплового контроля (табл. 2) [9-12]. Критерии предельного состояния параметров смазочного масла в редукторах данного типа, в настоящее время корректируются. Завод изготовитель, рекомендует применять усредненные критерии наличия механических примесей, например, по содержанию железа не более 150 – 200 г/т, а кремния не более 20 – 30 г/т. Остальные показатели нормируются национальными или международными стандартами.

Таблица 2 – Критерии оценки состояния редукторов по результатам теплового контроля

Температурная аномалия, $\Delta T$ , °C	Фактическая температура смазки, $T_{\max}$ , °C	Критерии оценки
0 - 5	Не более 80	Категория А – хорошее состояния
5 - 10	80 - 90	Категория В – ограниченно работоспособное, требуется дополнительная диагностика
10 - 15	90 - 100	Категория С – критическое состояние, требуется оперативное вмешательство, дополнительная диагностика
Более 15	Более 100 - 110	Категория D – недопустимое состояние, возможна авария, требуется оперативное вмешательство, возможно ремонт.

Результат диагностики может быть представлен в виде наглядной карты диагностики, в которой используется цветовая схема светофора (зеленый – хорошо; желтый – предупреждение; красный – недопустимое состояние). Образец карты представлен на рис. 9.

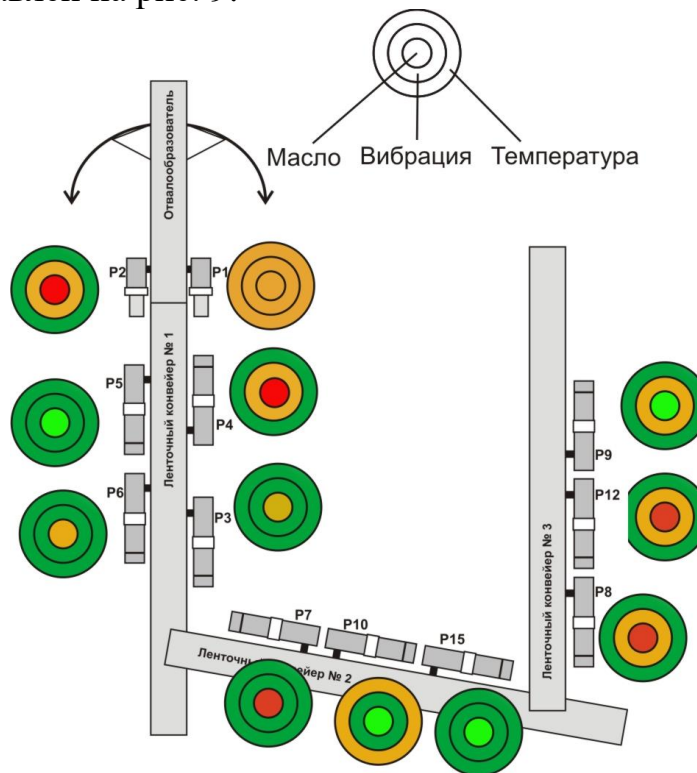


Рис. 9. – Карта диагностики редукторов ленточных конвейеров

Таким образом, анализируя тренды развития диагностических критериев возможно прогнозирование остаточного ресурса редукторов шахтных ленточных конвейеров и своевременное проведение проактивного технического обслуживания (ТО) (например, корректировка вязкости смазочного масла). Реализация проактивного ТО позволит снизить затраты на эксплуатацию конвейеров и повысить безопасность ведения горных работ.

#### Список литературы:

1. Кузин Е.Г., Троценко Е.В. Техническая диагностика горно-шахтного оборудования. В сборнике: Инновации в технологиях и образовании сборник

- статей участников VII Международной научно-практической конференции: в 4 частях. 2014. С. 143-147.
2. Bartelmus, W. Computer-aided multistage gearbox diagnostic inference by computer simulation [Text] / W. Bartelmus. - Wroclaw: Oficyna wydaw. politech. Wroclawskiej, 2002. - 120 p.: ill.
  3. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник. 2006 г.
  4. ГОСТ Р ИСО 13372-2013 Контроль состояния и диагностика машин. Термины и определения (с Поправкой).
  5. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.: ил. И цветная вкладка 16 с.
  6. Соколов А. И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учебное пособие. А. И. Соколов, Н. Т. Тищенко, В. А. Ахметов. – Томск: Изд. Томского университета 1991. 200 с.
  7. ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство.
  8. ГОСТ Р ИСО 13379-1-2015 Контроль состояния и диагностика машин. Методы интерпретации данных и диагностирования. Часть 1. Общее руководство.
  9. Герике Б.Л., Клишин В.И., Пудов Е.Ю., Кузин Е.Г. Построение системы интеллектуального обслуживания редукторов горношахтного оборудования. Горный журнал. 2017. № 12. С. 68-73.
  10. Хорешок А.А., Кузин Е.Г., Шальков А.В., Мамаева М.С., Лупий М.Г. Оценка энергоэффективности транспортных установок по результатам технической диагностики. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 5 (123). С. 79-85.
  11. Клишин В.И., Герике Б.Л., Кузин Е.Г., Мокрушев А.А. Интеллектуальное обслуживание редукторов горных машин. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S38. С. 369-392.
  12. Лунегов М.В., Кузин Е.Г. Возможности инфракрасной термографии при оценке технического состояния элементов ленточных конвейеров. В сборнике: Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая". 2017. С. 14006.