

## Основные результаты диагностики и автоматизированного контроля технического состояния горнопроходческого комбайна

*И.А. Носенко, А.А. Домницкий, И.А. Курсанов*

*Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова*

**Аннотация:** В статье приведены результаты проверки адекватности предложенной ранее авторами методики онлайн-диагностики и автоматизированного контроля технического состояния электромеханического привода горнопроходческого комбайна КП21 с асинхронным короткозамкнутым двигателем. Методикой экспериментальных производственных исследований предусмотрено подключение измерительного комплекса к статорной обмотке одной из фаз электродвигателя. Замеры выполнялись в различных условиях эксплуатации комбайна, соответствующих различным техническим состояниям объекта.

Сравнительный анализ технического состояния диагностируемых узлов и значений нормированных амплитуд соответствующих частот позволил сделать вывод: дефект необходимо фиксировать, если амплитуда сигнала превышает значение в 10% от максимума, а дефект является значимым и требует устранения, если значение амплитуды превышает 30 %.

Для использования полученных результатов исследований на практике, предложена интегральная номограмма соответствия наработки комбайна амплитудно - частотной характеристике статорного тока приводного двигателя режущего органа. Полученные результаты взяты за основу при корректировке графика планово-предупредительных работ и технического обслуживания режущего органа горнопроходческих комбайнов КП21 при эксплуатации в соответствующих горно-геологических условиях

**Ключевые слова:** надежность горнопроходческого оборудования, онлайн диагностика, автоматизированный контроль, мониторинг тока, техническое обслуживание и ремонт.

С целью проверки адекватности предложенной ранее авторами методики онлайн-диагностики и автоматизированного контроля технического состояния горнопроходческого комбайна, выполнены производственные исследования электромеханического привода режущего органа комбайна КП21 с асинхронным короткозамкнутым двигателем 2ЭДКОФВ250LB4 У2,5 в условиях шахты «Алмазная» ЗАО «УК «Гуковуголь». Кроме того, целью экспериментов, стала идентификации дефектов и выявление корреляционных зависимостей нормированных амплитуд тока статорной обмотки на соответствующих частотах от технического состояния элементов привода горнопроходческого комбайна

---

[1-3].

Методикой экспериментальных производственных исследований предусмотрено подключение измерительного комплекса к статорной обмотке одной из фаз электродвигателя [4-5]. Замеры выполнялись в различных условиях эксплуатации комбайна, соответствующих различным техническим состояниям объекта. В частности - на новом комбайне, отработавшем пятидесятипроцентный ресурс (наработка  $12000 \text{ м}^3/1000 \text{ п.м}$ ); требующем капитального ремонта (наработка  $30000 \text{ м}^3/2400 \text{ п.м}$ .) Эксперимент проводился при режимах работы приводного электродвигателя рабочего органа комбайна в установившемся режиме.

На рис. 1 представлен график амплитуды статорного тока электродвигателя 2ЭДКОФВ250LB4 У2,5, установленного на режущем органе нового комбайна. Полученные амплитуды тока нормировались по максимальному значению, поэтому на рис.1 они интерпретированы в виде безразмерной величины «  $k$  ». Можно сделать вывод, что анализ тока статора двигателя во времени в представленном виде весьма затруднителен. Применение быстрого преобразования Фурье, и представление полученного массива в частотной области, делают графики наглядными и более информативными.

На рис. 2 показан график тока статорной обмотки, приведенный в частотный вид, соответствующий рисунку 1. Величина частоты среза принятого фильтра низких частот составляет  $f_c = 1200 \text{ Гц}$ ., поэтому спектр тока представлен в интервале  $0 - 1200 \text{ Гц}$ . Графики представлены квадратами амплитуд разложенных частот в безразмерной форме, так как они нормировались по максимальным значениям.

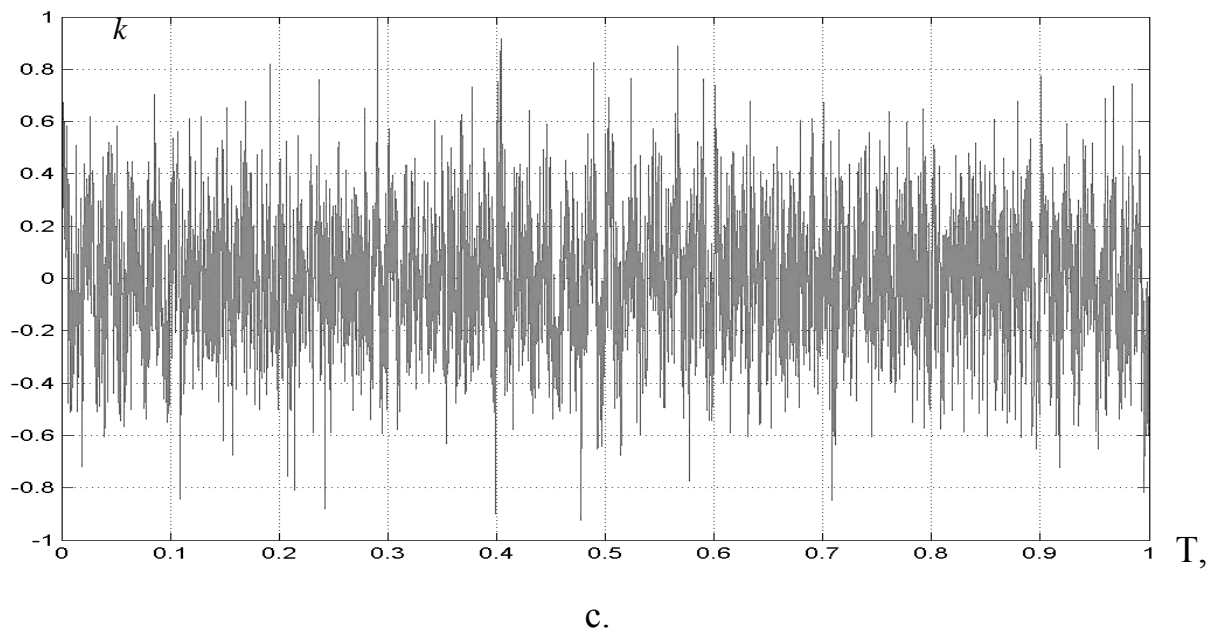


Рис. 1. Ток статора электродвигателя режущего органа горнопроходческого комбайна КП21.

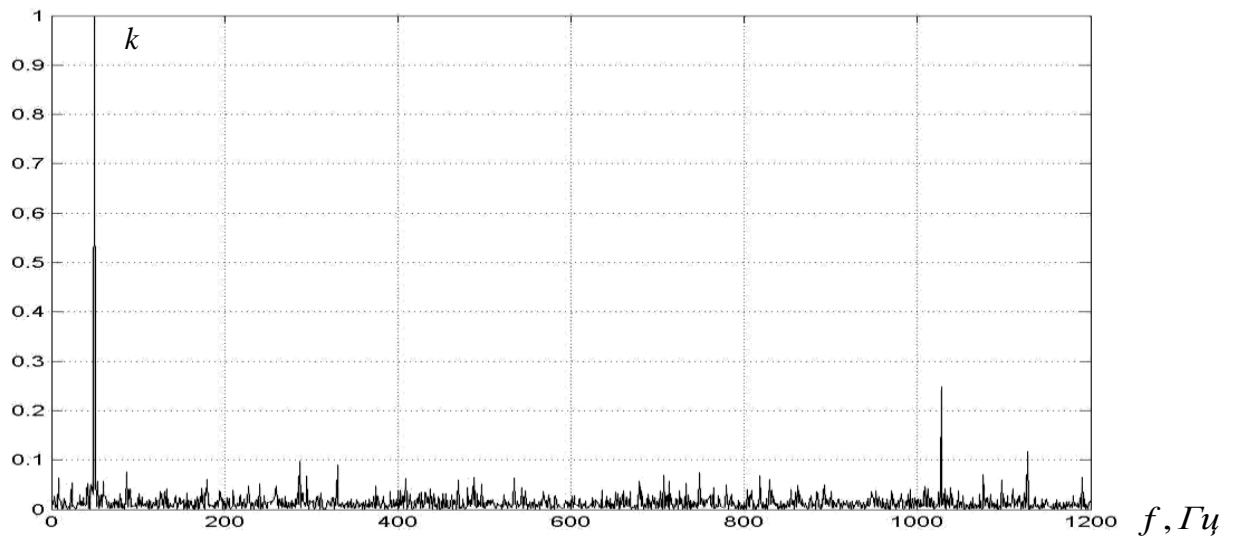


Рис. 2. Спектральная плотность тока статорной обмотки электродвигателя режущего органа горнопроходческого комбайна КП21.

Можно сделать вывод, что перевод фиксируемого сигнала в частотную область позволяет с достаточной степенью точности интерпретировать и определять техническое состояние элементов электродвигателя приводного редуктора режущего органа горнопроходческого комбайна, методом анализа

значений характерных амплитуд спектра [6-8]. Их проявление в процессе проведения эксперимента подтверждает справедливость теоретических предпосылок о возможности использования метода спектрального анализа, для диагностики и автоматизированного контроля технического состояния привода режущего органа горнопроходческого комбайна.

Проанализируем полученные результаты. Рассмотрим низкочастотную область спектра в диапазоне частот 0 - 100 Гц. Это позволяет установить появления боковых частот  $f'_b$  и  $f''_b$  вокруг питающей частоты  $f_1 = 50$  Гц. Чувствительность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) применяемого аппаратного комплекса и принятый порядок быстрого преобразования Фурье, обеспечивают фиксацию спектра тока с шагом 1 Гц., что позволяет производить идентификацию и анализ искомых частот.

На рис. 3, соответствующем новому комбайну, можно видеть одну характерную амплитуду 1 на частоте, соответствующей частоте питания сети  $f_1 = 50$  Гц. Все остальные возмущения являются следствием помех, наводимых смежным работающим оборудованием.

На рис. 4 (комбайн, выработавший 50% ресурс), в спектре отмечаются характерные амплитуды на разных частотах, не относящиеся к помехам. Частота 1 соответствует частоте питания сети  $f_1 = 50$  Гц., возмущения 2 и 3 наблюдаются на частотах, относящихся и характеризующих степень дефекта ротора  $f'_a \approx 52$  Гц. и  $f''_b \approx 48$  Гц. Наличие возмущения 4, 5 и 6 на частоте  $f'_{bng}$  указывают на дефекты в сепараторах подшипниковых узлов электродвигателя и редуктора режущего органа горнопроходческого комбайна.

На рис. 5 (комбайн, требующий капитального ремонта) спектр статорного тока содержит амплитуды на характерных частотах, явно указывающие на выраженные дефекты электромеханического привода. Частота 1-  $f_1 = 50$  Гц. - питающая частота. Наличие возмущений на частотах 2

и 3 -  $f'_a \approx 52$  Гц.,  $f''_b \approx 48$  Гц., при таком уровне амплитуд однозначно указывают на имеющийся дефект ротора. Всплески 4 - 7 на частотах 60 Гц., 70 Гц., 80 Гц., 90 Гц. соответствуют наличию разрушений сепараторов подшипников редуктора.

Сравнительный анализ технического состояния диагностируемых узлов и значений нормированных амплитуд соответствующих частот позволил сделать вывод: дефект необходимо фиксировать, если амплитуда сигнала превышает значение в 10% от максимума, а дефект является значимым и требует устранения, если значение амплитуды превышает 30 %.

Адекватность ранее разработанной методики определения идентификационных частот подтверждается приведенными в настоящей статье экспериментальными данными в низкочастотной области спектра.

Несмотря на применение онлайн-диагностики, окончательное подтверждение и устранение дефекта электромеханического привода режущего органа комбайна предусматривает непосредственный визуальный осмотр.

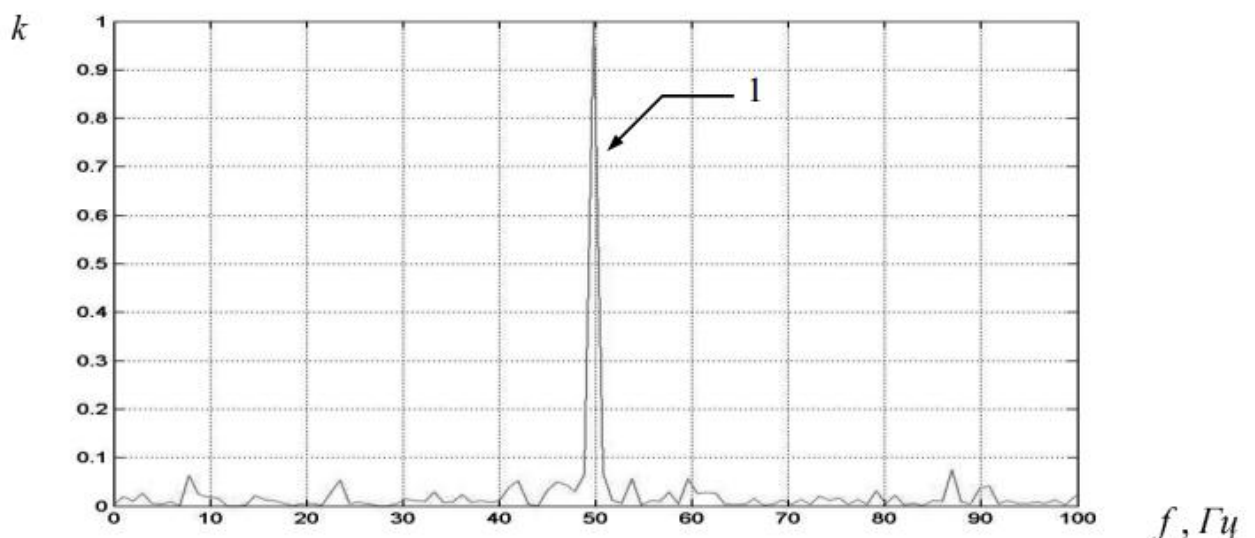


Рис. 3. Спектр тока двигателя нового исполнительного органа в полосе 0 – 100 Гц.

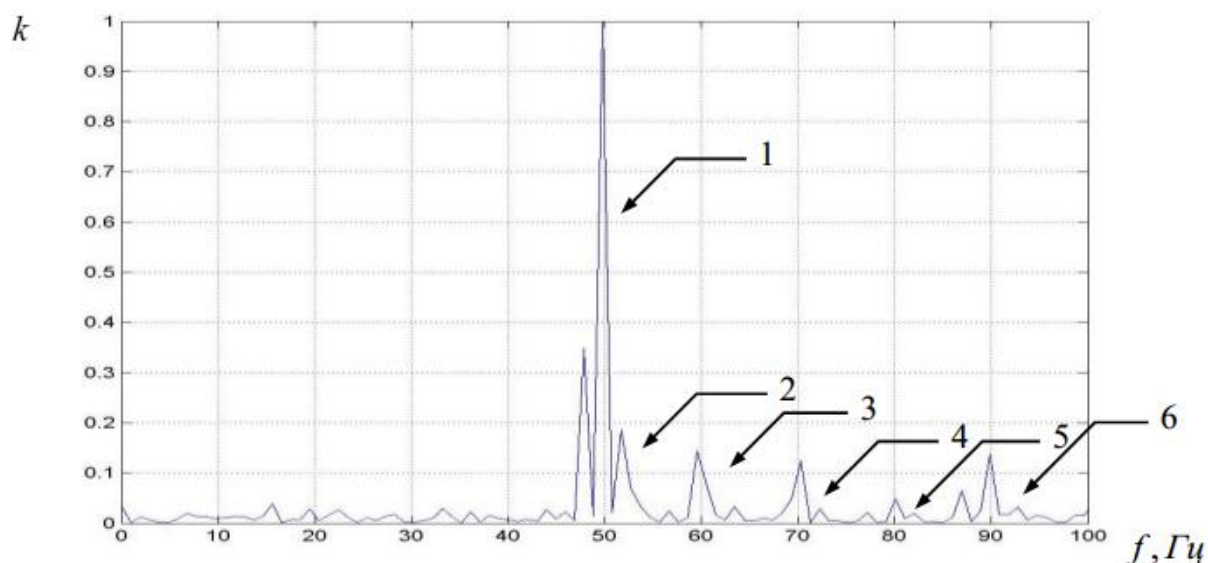


Рис. 4. Спектр тока двигателя исполнительного органа, бывшего в эксплуатации.

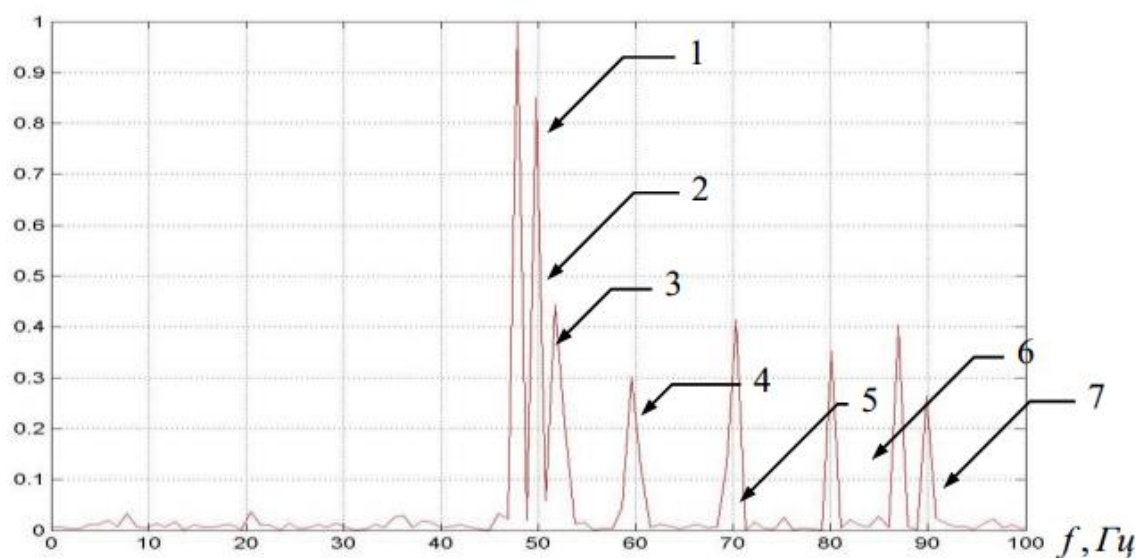


Рис. 5. Спектр тока двигателя исполнительного органа, требующего капитального ремонта.

В связи с этим, для использования полученных результатов исследований на практике, предложена интегральная номограмма соответствия наработки комбайна амплитудо-частотной характеристике статорного тока приводного двигателя режущего органа [9-10].

Взаимосвязь нормированных амплитуд тока на характерных частотах с

текущей наработкой горнопроходческого комбайна КП21, по части технического состояния исполнительного режущего органа, представлена на рис. 6.

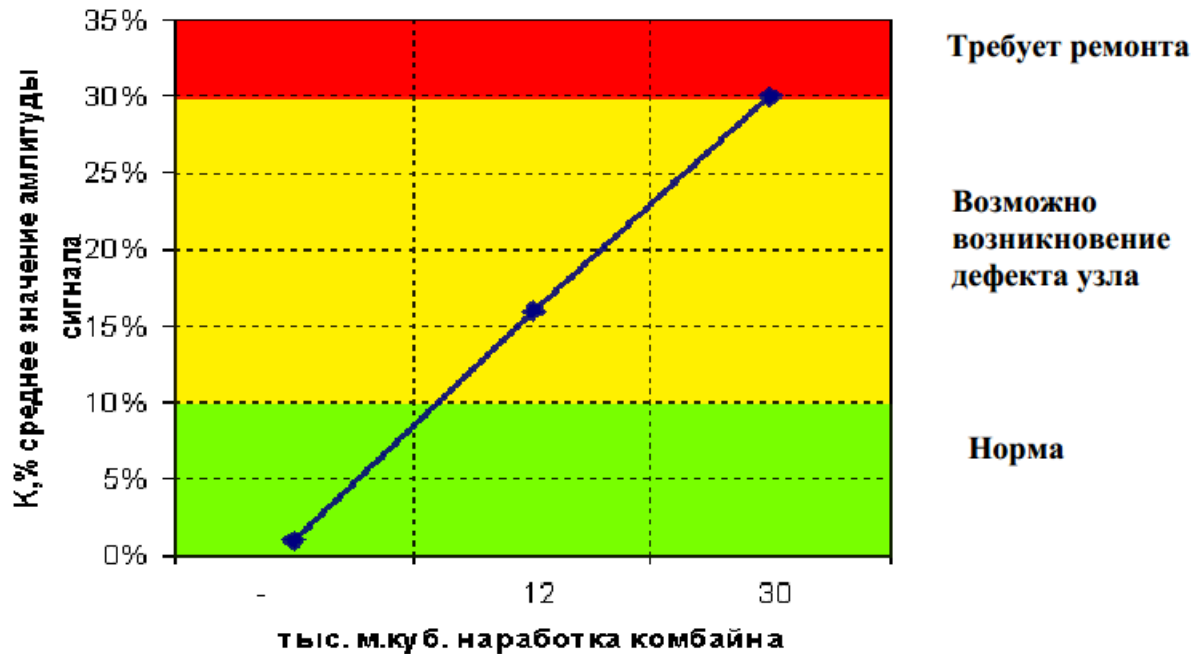


Рис.6. Номограмма определения технического состояния режущего органа комбайна КП21.

Полученные результаты взяты за основу при корректировке графика планово-предупредительных работ (ППР) и технического обслуживания (ТО) режущего органа горнопроходческих комбайнов КП21 при эксплуатации в соответствующих горно-геологических условиях [9,10]. Технико-экономическая оценка эффективности применения оперативной онлайн-диагностики и автоматизированного контроля технического состояния режущего органа горнопроходческого комбайна КП21 приведены на рис. 7 и в табл.1.

Экономический эффект получен за счет предупреждения отказов подшипников в редукторе режущего органа и разрушения силовых элементов вала и короны проходческого комбайна КП21 зав.№ 34, в отличие

от комбайна КП21 зав. № 20, за счет выполнения ТО и ремонта по фактическому состоянию, на основе применения онлайн- диагностики [11-12].

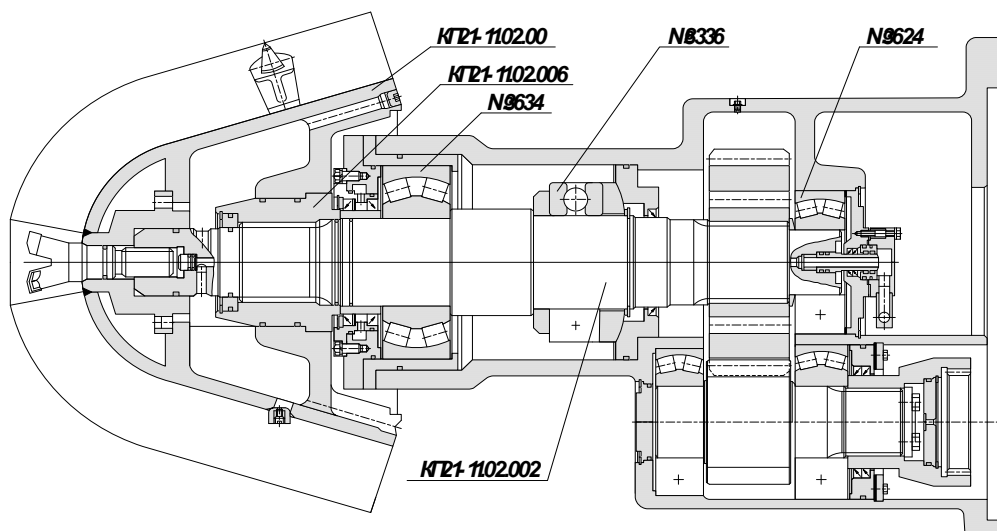


Рис. 7. Режущий орган горнопроходческого комбайна КП21.

Таблица 1.

Затраты на обеспечение работоспособного состояния режущего органа комбайна КП21.

№ п/п	Наименование показателя, изделия, узла, детали	Стоимость, тыс. руб	Зав. № КП21	
			20	34
1	Комбайн КП21	20 000		
2	Устройство диагностики	70,0		
3	Подшипник № 3634	24,0	+	+
	№8336	28,0	+	+
	№3624	20,0	+	+
4	Ступица КП21-11.02.006	70,0	+	--
5	Вал коронки КП21-11.02.002	180,0	+	--
6	Коронка КП21-11.02.00	590,0	+	--
7	Прямые затраты по зап. частям		912,0	72,0
8	Экономический эффект	770,0		

## Выводы

Сопоставление технического состояния исследуемых узлов и деталей



режущего органа комбайна с значениями нормированных амплитуд тока на характерных частотах в измеряемом спектре, позволил сделать вывод о том, что дефект присутствует, если амплитуда превышает 10% от максимума, а дефект является существенным и требует устранения, если значение амплитуды превышает 30%.

Применение онлайн-диагностики и автоматизированного контроля технического состояния режущего органа горнопроходческого комбайна КП21, позволило повысить надежность за счет недопущения внезапных отказов и уменьшения их тяжести. В частности, коэффициент готовности комбайна КП21 зав. №34 составил  $K_r = 0,85$  против  $K_r = 0,7$  у комбайна КП21 зав. № 20. Экономический эффект достигнут за счет снижения затрат на восстановление работоспособного состояния режущего органа комбайна, и, по расчетам, составил 770 тыс. руб.

### Литература

1. Калашников С.А., Малкин О.А., Левченко А.Н. Основные направления совершенствования горнопроходческой техники // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 8. – С. 27-33.
  2. Nosenko A.S., Domnitskiy A.A., Shemshura E.A. Evaluation of Reliability and Technical Conditions of Tunneling Machines / Procedia Engineering. – 2015. - № 129. – pp. 624 – 628. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581503965X](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581503965X).
  3. Носенко А.С. Домницкий А.А. Носенко И.А. Результаты производственных исследований надежности горнопроходческих комбайнов избирательного действия // Инженерный вестник Дона. - 2016. - №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_14\\_Nosenko.pdf\\_2757bcb0b1.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_14_Nosenko.pdf_2757bcb0b1.pdf)
  4. Герике Б.Л. Мониторинг технического состояния горного оборудования. / Горные машины и автоматика - 2002. - №9. - С. 30-34.
-

5. Носенко И.А. Информационные технологии диагностики состояния электропривода проходческого комбайна КП21 // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. статей 9-й международ. науч.-техн. конф., ноябрь 2008г. - Пенза: РИО ПГСХА, 2008. - С.196-198

6. Дрыгин С.Ю. Анализ технического состояния экскаваторного парка угольных разрезов Кузбасса // Вестник КузГТУ, №6. - Кемерово. - 2004. -С 46-48.

7. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока // Новости Электротехники, №1(31) 2005. URL: [news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php](http://news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php)

8. Thomson W.T. A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors -Past Present and Future // Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999 pp 3-18.

9. Воронова, Э.Ю. Перспективы развития агрегатированных проходческих систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №3. – С. 56-64.

10. Хазанович Г.Ш., Воронова Э.Ю. Повышение эффективности горнопроходческих систем путем агрегатирования технологического оборудования / III International Symposium Energy Mining, 8-11 Sept. 2010, Apatin, Serbia; Energymining, new technologies, sustainable development: proceedings. – Apatin: VanjaJunakovic, 2010. – С. 353-360.

11. Синютин С.А., Горбунов А.А., Киснер А.Ю. Разработка динамической модели электропривода механизма сканирования прибора ориентации по Земле // Инженерный вестник Дона, 2020, №10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639).

12. Гладких С.А., Ланкин А.М., Ланкин М.В. Метод обработки рабочей характеристики электромагнита для прогнозирования его надежности //

---



Инженерный вестник Дона, 2021, №6. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7057.

### References

1. Kalashnikov S.A., Malkin O.A., Levchenko A.N. Gornoe oborudovanie i e`lektromexanika. 2008. № 8. p. 27.
  2. Nosenko A.S., Domnitskiy A.A., Shemshura E.A. Procedia Engineering. 2015. № 129. p. 624. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581503965X](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581503965X).
  3. Nosenko A.S. Domniczkij A.A. Nosenko I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_14\\_Nosenko.pdf\\_2757bcb0b1.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_14_Nosenko.pdf_2757bcb0b1.pdf)
  4. Gerike B.L. Gorny`e mashiny` i avtomatika, 2002, №9. p. 30.
  5. Nosenko I.A. Informacionno-vy`chislitel`ny`e texnologii i ix prilozheniya: sb. statej 9 mezhdunarod. nauch.-texn. konf., noyabr` 2008. Penza: RIO PGSXA, 2008. p.196.
  6. Dry`gin S.Yu. Vestnik KuzGTU, №6. Kemerovo, 2004. p. 46.
  7. Petuxov V.S., Zhukov S.V. Novosti E`lektrotexniki, №1 (31) 2005. URL: [news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php](http://news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php).
  8. Thomson W.T. Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999 p. 3.
  9. Voronova, E`.Yu. Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2014, №3. p. 56.
  10. Xazanovich G.Sh., Voronova E`.Yu. III International Symposium Energy Mining, 8-11 Sept. 2010, Apatin, Serbia; Energymining, new technologies, sustainable development: proceedings. Apatin: BanjaJunakovic, 2010. p. 353.
  11. Sinyutin S.A., Gorbunov A.A., Kisner A.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6639).
-



12. Gladkix S.A., Lankin A.M., Lankin M.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/705](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/705).