

УДК 636.4.087.61

НОВИКОВ М.А., д. т. н. ФГБОУ ВО СПбГАУ,
mihanov25@rambler.ru

РОЖКОВ А.С., к.т.н. Калининградский филиал ФГБОУ ВО СПбГАУ

ПАВЛОВ С.Б., к.т.н. НовГУ им. Ярослава Мудрого

ЕФИМОВ А.К., обучающийся ФГБОУ ВО СПбГАУ

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РОТОРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА БОТВОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Аннотация: На основе анализа исследований по диагностированию роторных рабочих органов сельскохозяйственных машин выбран метод оценки технического состояния ботвоуборочных машин по параметрам вибрации в полевых условиях. Проведен структурно-следственный анализ результатов эксплуатации данных машин, определены диагностические параметры, рассмотрена динамическая система сопряжения «ротор – корпус опорного подшипника. Предложен электронный прибор для реализации вибрационного метода диагностирования.

Ключевые слова: ботвоуборочная машина, ротор, вибрация, диагностика, техническое состояние, метод.

Annotation. Based on an analysis of studies on diagnosis of rotary machinery working bodies selected evaluation method of technical condition of botvouboročnyh machines for vibration parameters under field conditions. Structural investigation conducted an analysis of the results of the operation of these machines, diagnostic settings have been determined, considered the dynamic system coupling rotor-bearing abutment. Proposed electronic device for implementing the method of vibration diagnosis.

Keywords: sugar, rotor machine, vibration, diagnosis, maintenance conditions, method.

В настоящее время в сельском хозяйстве страны и за рубежом важная роль отводится использованию почвообрабатывающих машин и уборочной техники с активными рабочими органами (почвенные фрезы, ботвоуборочные машины, кормоуборочные, зерноуборочные комбайны и т.д.). Основными рабочими органами

таких машин являются вращающиеся с большой угловой скоростью массивные роторы, которые в процессе работы подвергаются значительным динамическим нагрузкам, вследствие неоднородности структуры почвы, наличия в ней камней и растительных остатков. В результате воздействия этих факторов, рабочие органы подвергаются активному износу, что приводит к увеличению неуравновешенности (дисбалансу) ротора, а значит к ослаблению креплений опорных элементов, выходу из строя подшипников вала ротора и его привода.

Причиной неуравновешенности роторных рабочих органов так же могут служить увеличенные зазоры опорных подшипников вала ротора, диагностика которых является неотъемлемой частью оценки технического состояния агрегата при техническом обслуживании и ремонте. Однако, увеличение зазора в опорном подшипнике часто является прямым следствием неуравновешенности ротора и в данной статье рассматривается не как источник дисбаланса, а как диагностический признак его обнаружения [1].

В качестве объекта исследований нами рассматривается наиболее современная ботвоуборочная машина Grimme KSA 75-2, где в качестве рабочих органов измельчительного барабана используются съемные ножи, различные по размеру и массе. Они расположены на барабане по винтовой линии (рис.1) и работают в условиях, когда даже незначительная неуравновешенность приводит к быстрому выходу из строя механизмов привода, подшипников и других деталей (частота вращения ротора достигает 1000 об/мин) [1].

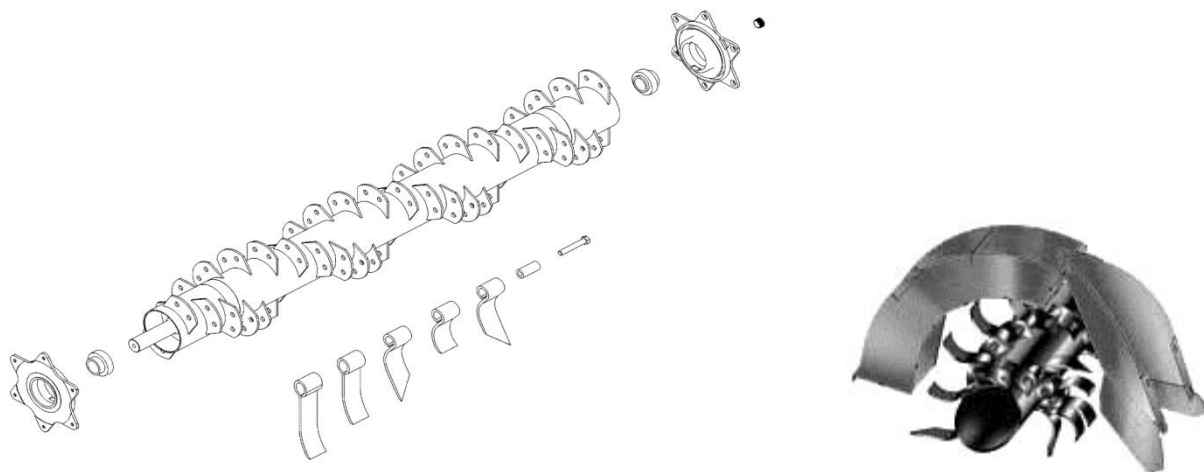


Рис.1 – Рабочие органы ботвоуборочной машины Grimme KSA 75-2

При минимальном износе бичей с целью быстрого восстановления работоспособного состояния машины и устранения дисбаланса требуется заменить один или несколько штук. При значительном же износе для достижения того же результата потребуется установить комплект новых рабочих органов, что приведет к значительным затратам времени и средств.

Одной из главных проблем при восстановлении работоспособности машины является устранение дисбаланса ротора путем его компенсации (динамической балансировки), связанной с установкой новой детали, имеющей такую же массу, что и вышедшая из строя, учитывая ее эксплуатационный износ, либо установкой коррекционного груза. После проведенных операций требуется обязательное проведение дополнительной (чистовой) балансировки ротора в стационарных условиях на стенде.

На практике используются различные методы и средства для диагностирования и минимизации неуравновешенности ротора, большинство из которых связано со значительной трудоемкостью, низкой точностью и необходимостью частичной разборки механизмов [3].

С учётом особенности проблемы, для решения которой в короткий срок рационально применить безразборный метод оценки дисбаланса ротора по вибрационным параметрам [2]. В данном случае, задача заключается в обнаружении дисбаланса ротора ботвоуборочной машины и его источника вибрационным методом, с последующей ликвидацией неисправности в полевых условиях.

Практикой безразборной оценки технического состояния современных машин доказано, что встроенные индикаторы позволяют решать задачи обнаружения неисправности, в то время как внешние средства контроля служат для углубленного диагностирования. Однако, во многих современных уборочных машинах, в том числе и рассматриваемой машине Grimme KSA 75-2, установка встроенных индикаторов не предусмотрена. Вследствие чего задача ее экспресс-диагностирования в полевых условиях с применением вышеперечисленных средств является актуальной и востребованной.

Известно значительное количество способов диагностирования роторных рабочих органов сельскохозяйственных машин и различных вращающихся механизмов, в основе которых лежит метод оценки технического состояния без снятия и разборки [3]. Большинство из них заключаются в получении сигнала от установленных на машине датчиков с последующим анализом полученных амплитудно-частотных характеристик при помощи электронных диагностических систем.

Этот способ технической диагностики дефектов вращающегося оборудования специалисты считают основным и наиболее эффективным в силу нескольких важных причин [1].

Во-первых, отличительные признаки большинства дефектов вращающегося оборудования легко дифференцируются на спектрах вибрационных сигналов.

Во-вторых, более половины диагностируемых дефектов имеют в спектре набор характерных уникальных гармоник. Для остальных дефектов наборы характерных гармоник могут взаимно перекрываться, по составу и соотношению гармоник, однако, при наличии у диагноста достаточного практического опыта, эти дефекты можно уверенно разделить.

В-третьих, приборы регистрации и анализа вибрационных сигналов, имеющие встроенную функцию спектрального преобразования, являются наиболее распространенными в практике в отличие от приборов, оснащенных функцией модального анализа сигналов, которые в настоящее время найти достаточно сложно.

В-четвертых, диагностика дефектов по спектрам вибрационных сигналов наиболее просто может быть создана в виде диагностической системы, реализованной в персональном компьютере, и даже в самом приборе, если речь идет о мобильной версии оборудования [1].

С целью реализации вышеописанного метода диагностирования рабочих органов ботвоуборочной машины Grimme, выявления наиболее уязвимых мест в эксплуатации агрегата и его узлов, определения их предельных размеров (структурных параметров) и диагностических признаков нами выполнен структурно-следственный анализ эксплуатации ротора.

Результаты анализа данных исследований показывают, что наиболее

нагруженными узлами ботвоуборочной машины являются: вал ротора, ротор, подшипники. Структурными параметрами, лимитирующими их работоспособное состояние, служат: изгиб вала, дисбаланс, суммарный зазор в подшипниках опор, износ ножа, зазор в сопряжении «барабан – ось ножа - нож». В качестве диагностических признаков выявленных неисправностей узлов и деталей могут быть использованы: изменение амплитуды вибрации опор вала, изменение фаз вибросигналов относительно опорной точки [3].

На основе этих данных можно разработать новые или усовершенствовать существующие методы и средства технического диагностирования.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены методы определения технического состояния роторного оборудования с применением диагностических приборов, в основе работы которых лежит оценка параметров вибрации с помощью электронно-вычислительных систем [2,3,4,5].

Учитывая особенности конструкции и условия работы рассматриваемого типа машин, наиболее удобным с точки зрения экспресс-диагностики по параметрам вибрации является метод, описанный в работе 2. Он может быть использован не только для безразборного диагностирования роторных рабочих органов, но и определения величины дисбаланса с целью ее устранения проведением балансировки в эксплуатационных условиях [2].

Несмотря на то, что метод разработан для измельчительного барабана кормоуборочного комбайна, он применим и для решения поставленной задачи, так как источником дисбаланса в обоих случаях является неуравновешенный ротор.

В качестве основной теоретической предпосылки оценки технического состояния ботвоуборочной машины является процесс формирования диагностических сигналов в системе «ротор – корпус опорного подшипника» в зависимости от технического состояния барабана-ротора и его опор. Общий вид силового нагружения барабана-ротора можно представить в виде пассивной динамической системы (рис.2).

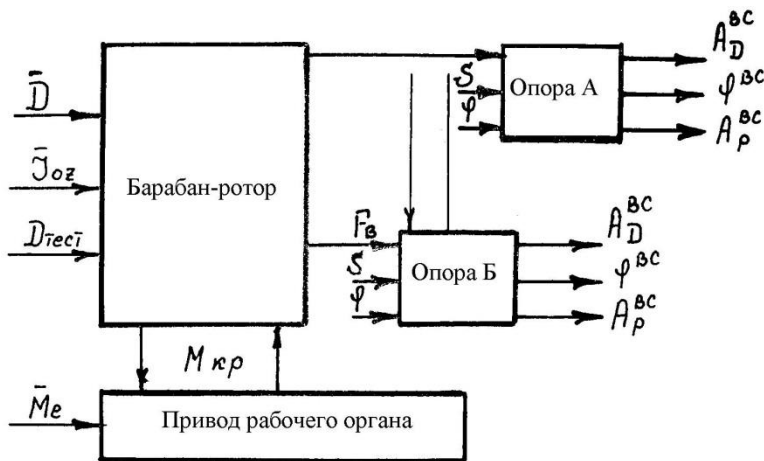


Рис.2 – Схема динамической системы «ротор – опора» ботвоуборочной машины Grimme KSA 75-2

На опорные подшипники действуют возмущающие воздействия: D-дисбаланс ротора, $M_{кр}$ -крутящий момент от привода, h -зазор в опорных подшипниках, формируя при этом выходные диагностические признаки.

В общем случае на опорные цапфы неуравновешенного ротора А и Б действуют динамические силы инерции F_a и F_b , постоянные по величине, но переменные по направлению. Кроме этого статические силы P_a и P_b , постоянные по величине и направлению (рис.3) [2].

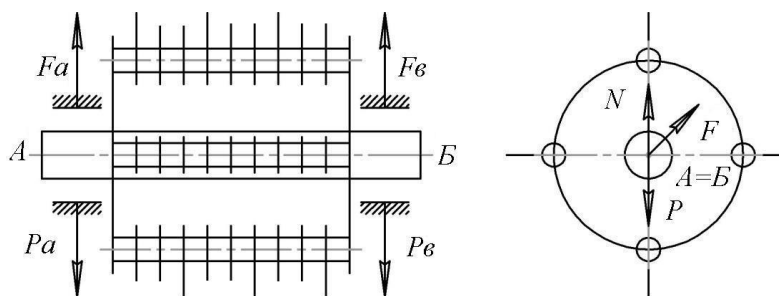


Рис.3 – Схема сил, действующих на измельчительный ротор

Равнодействующую сил T , определяющую колебательный процесс системы «ротор – опора», можно представить векторным уравнением.

$$T = P + F + N,$$

где F – суммарная динамическая сила, вызванная дисбалансом,

P – сила тяжести ротора, N – реакция опор.

Отрицательное влияние неуравновешенности ротора, приводящее к увеличению его вибрации в динамической системе обусловлено связями в местах контакта ротора с корпусом, т.е. реакциями опор (N) [3].

При диагностировании ротора представленным методом ставится задача определить степень изменения структурного параметра (дисбаланса) по известному изменению диагностических – амплитуды и фазы виброускорения, которые получаются в результате обработки полученных данных [2].

Анализируя приведенный материал можно убедиться, что для решения проблемы диагностирования технического состояния рабочих органов ботвоуборочной машины Grimme KSA 75-2 с целью обнаружения и минимизации дисбаланса в эксплуатационных условиях возможно использование разработанного ранее метода диагностирования кормоуборочного комбайна.

Для реализации метода ранее использовались экспериментальные электронно-вычислительные устройства, либо специальные приборы, выпускающиеся малыми партиями и требующими сложной настройки и углубленных знаний в области диагностики.

Учитывая так же недостатки существующих систем диагностики роторов, для решения поставленной задачи следует задаться рядом требований, которым должна отвечать система для работы с ботвоуборочной машиной Grimme KSA 75-2 в полевых условиях. Из основных требований к прибору следует отметить:

- портативность и энергетическая автономность;
- простота использования, монтажа и демонтажа датчиков на машине;
- набор функций, позволяющий проводить диагностику (в том числе и динамическую балансировку ротора) в полевых условиях без использования дополнительной электронно-вычислительной аппаратуры;
- представление результата анализа полученных данных в виде, понятном оператору, не имеющему углубленных знаний в области вибродиагностики.

В основном этим требованиям отвечает электронный прибор анализатор «АГАТ-М», разработанный фирмой «Диамех» (рис.4).



Рис.3 – Электронный виброанализатор «АГАТ-М»

Виброанализатор имеет встроенные аккумуляторы, малую массу (900 г.), простой интерфейс, возможность 2-х плоскостной динамической балансировки, набор датчиков и приспособлений для проведения диагностики машины в полевых условиях [1].

Диапазон данных, регистрируемых датчиками прибора, приемлим для диагностики ротора ботвоуборочной машины на всех частотных режимах его работы (540, 750 или 1000 об/мин), к тому же использование не требует высокой квалификации.

На основании вышеизложенного материала можно сделать выводы, о том, что:

- задача, связанная с оценкой технического состояния и устранения неисправностей, вызванных повреждением рабочих органов ботвоуборочных машин Grimme в полевых условиях может быть успешно решена с применением ранее разработанных методов диагностирования;

- возможно применение вибрационного метода, как наиболее удобного и совершенного для безразборного способа обнаружения дисбаланса и проведения балансировки в поле;

- современная промышленность обладает серийными приборами, отвечающими требованиям поставленной задачи.

Целями дальнейших исследований являются: определение наиболее чувствительных мест установки вибрационных преобразователей, рационального скоростного режима диагностирования, частотного диапазона фильтрующих элементов для выделения полезного сигнала.

Литература

1. **Русов В.А.** Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам – Пермь:[б. и.]. – 2012. – 252 с.

2. **Коновалюк А.В.** «Методы и средства диагностирования технического состояния измельчительного барабана кормоуборочного комбайна по параметрам вибрации»: дис... канд. тех. наук. М., 1994. 197 с.

3. **Аллилуев В.А., Новиков М.А. и др.** Надежность самоходных уборочных машин в современных экономических условиях АПК: учебное пособие /под ред. В.А. Аллилуева. Йошкар-Ола.: МарГТУ, 2001. – 122с.

4. **Новиков М.А., Сидыганов Ю.Н., Гуськов И.Б.** Тестовое диагностирование роторных рабочих органов сельскохозяйственных машин // Методы и средства повышения эффективности эксплуатации машинно-тракторного парка. ЛСХИ, 1987. С. 45 – 47.

5. **Новиков М.А., Сидыганов Ю.Н., Бутусов Д.В.** Основы методологии периодического вибромониторинга технического состояния рабочих органов уборочных машин // Повышение производительности и эффективности использования машинно-тракторного парка и автотранспорта. Санкт-Петербург, 2002. С. 182-188.

