

Анализ вибронагруженности длиннобазных винтовых роторов акустическими методами с целью повышения срока службы транспортно-технологических средств



И. Г. Куклина,
канд. техн. наук, доцент
кафедры информационных
систем и технологий
Нижегородского
государственного
архитектурно-
строительного
университета

Повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий отражены в стратегических документах России. При этом обеспечение безопасного функционирования инфраструктуры транспорта в зимний период имеет первостепенное значение для сохранения устойчивой социально-экономической жизни страны.

Транспортно-технологические средства, оснащенные длиннобазными винтовыми роторами, — это машины для очистки транспортных магистралей от снега, где винтовой ротор является рабочим органом, а также машины высокой проходимости, в которых винтовой ротор служит движителем. От скорости и качества работы данных механизмов часто зависит решение социальных и стратегических проблем на территориях, где снежный покров присутствует от трех до девяти месяцев в году. Наиболее пристального внимания заслуживают магистрали северных регионов страны, которые характеризуются крайне сложной транспортной доступностью.

Автомашиной, свободно преодолевающей снежные заносы, ледовую поверхность и заболоченные участки, является шнековый снегоболотоход. Разработками машины с роторно-винтовым движителем, выполняющей транспортно-технологические операции при преодолении водоемов в осенне-зимний период, занимаются ученые Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева (НГТУ). Построенные ими шнекоходы легко преодолевают непроходимые болота в любое время года, перемещаются по льду рек. Если ледовое покрытие нарушается, то герметичные корпуса роторно-винтовых шнеков свободно удерживают

машину на плаву, что позволяет вездеходу перемещаться за счет винтовой тяги.

Однако крепление движителей-роторов, выполненное жестким или полужестким способом, делает поездку людей в машине крайне некомфортной. Колебательные и вибрационные нагрузки самих роторов и кузова превышают все допустимые нормы.

Разработками конструкций упруго-вязкой подвески движителей роторно-винтовой машины более 30 лет занимаются ученые кафедры строительных и дорожных машин НГТУ. Полученные теоретические и экспериментальные результаты указывают на высокую степень колебаний движителей и кузова транспортно-технологического средства. И все-таки роторно-винтовой вездеход является пока идеальным средством перемещения людей и грузов в условиях Крайнего Севера, где нет возможности посадить авиатехнику. Как и у снегоуборочной техники, основным элементом роторно-винтового вездехода является длиннобазный винтовой ротор.

Натурные испытания машин, оснащенных длиннобазными винтовыми роторами, привели к необходимости решения проблемы снижения вибронагруженности и возможности измерения величины разбалансировки длиннобазных винтовых роторов при выполнении ими транспортно-технологических операций.

Результаты проведенных исследований указали на актуальность разработки специального оборудования, позволяющего измерять виброперемещения тела и навивку длиннобазного винтового ротора без выполнения разборки агрегатов машин. Создание комплекса мер и оборудования для бесконтактного контроля уровня разбалансировки навесного оборудования у снегоуборочной техники и двигателей у транспортных машин и явилось целью данного исследования.

Материалами, на базе которых выполнены изыскания, стали опубликованные труды исследователей, специалистов и ученых в области: теории колебаний [1]; динамики и вибрации роторов [2]; теории проектирования и расчета строительных и дорожных машин [3]; создания устройств специальных аппаратов с возможностью применения ультразвукового фазового преобразователя угла поворота вала и измерений параметров вибрации конструкций акустическими методами [4–6]; создания гидравлических виброопор валов с различными рабочими жидкостями [7]; рассмотрения нелинейности систем защиты от воздействия внешних факторов [8].

Концепция исследования в сфере фундаментального теоретического обоснования, расчета, проектирования и создания роторно-винтовых машин базируется на трудах известных ученых НГТУ [9]. Методика исследования включает в себя проведение экспериментальных оценок вибронегруженности длиннобазных винтовых роторов при помощи ультразвукового фазового вибропреобразователя.

В начальной стадии исследования рассмотрен опыт применения методики определения вибронегруженности элементов машин. Транспортно-технологические средства характеризуются детерминированными показателями: размерами машины, массовыми инерционными параметрами, скоростью вращения рабочего органа. Но имеют место и факторы со случайными параметрами — возникновение неуровновшенности в радиальных плоскостях и по длине машины. Данные характеристики разбалансированности транспортно-технологического средства, возникающие при нарушении в работе длиннобазных винтовых роторов, крайне негативно сказываются на рабочих операциях, выполняемых машиной.

Рассмотрение и систематизация экспериментальных данных вибрационных процессов длиннобазных винтовых роторов с помощью ультразвукового фазового вибропреобразователя важно для повышения надежности технологических машин. Поскольку проведение измерений выполняется дистанционно без выполнения демонтажа двигателей и навесного рабочего оборудования, то уникальность и необходимость рассматриваемых измерительных систем значительна.

Амплитуды вибрации длиннобазного винтового ротора при отсчете трассы от снега, величины усилий, передаваемых шнеком на опоры при движении по заснеженной поверхности, существенно зависят от физических и геометрических параметров разрабатываемого материала (снеговой поверхности). В расчетах чаще всего применяется вероятностный метод

упрощенных математических моделей возмущающего воздействия. Амплитуды колебаний зависят от динамических нагрузок между длиннобазными винтовыми роторами и их опорами, а также усилиями, передаваемыми на кузов транспортно-технологического средства.

Шнековый снегоболотоход и машина для уборки снега с длиннобазным винтовым ротором представляют собой механизмы с неблагоприятным колебательным нагружением. Вращение винтовой навивки обостряет возникающие вибрации при воздействии длиннобазного винтового ротора с разрабатываемой поверхностью.

Замеры разбалансировки роторов при некачественном их креплении бесконтактными акустическими методами на стенде актуальны для исследователей. На *рис. 1* показано проведение измерений вибрации тела шнека при помощи ультразвукового фазового вибропреобразователя. Таким образом можно выявить влияние типа навивки винтовой линии на несбалансированность длиннобазного винтового ротора.

Длиннобазный винтовой ротор исследуется на вибрацию и возможные биения в опорах, вызванные помехами, которые возникают от поверхности винтовой навивки. Изучаются низкочастотные колебания основания винтового ротора, где виброскорость и девиация частоты отраженного сигнала достаточно малы. Фазовое детектирование позволяет извлекать информацию о разности фаз из отраженного акустического сигнала.

Излученный и отраженный от границы сигналы демонстрируют фазовый сдвиг. Исследуемая информация подвергается обработке с минимумом погрешностей. Измерение параметров вибрационной нагрузки не требует специальной подготовки изучаемого ротора.

Принципиальная схема, показанная на *рис. 2*, демонстрирует работу ультразвукового фазового измерителя виброперемещений.

Генератором 1 производится сигнал ультразвуковой частоты 100–300 кГц, который после усилителя мощности 2 поступает на излучающий преобразователь 3. Задающий генератор 1 при смене частоты и настройке на частоту электромагнитного резонанса повышает эффективность излучения ультразвукового сигнала преобразователя 3. Отраженный ультразвуковой сигнал при медленном вращении длиннобазного винтового ротора 4 производит фазу, которая меняется на величину

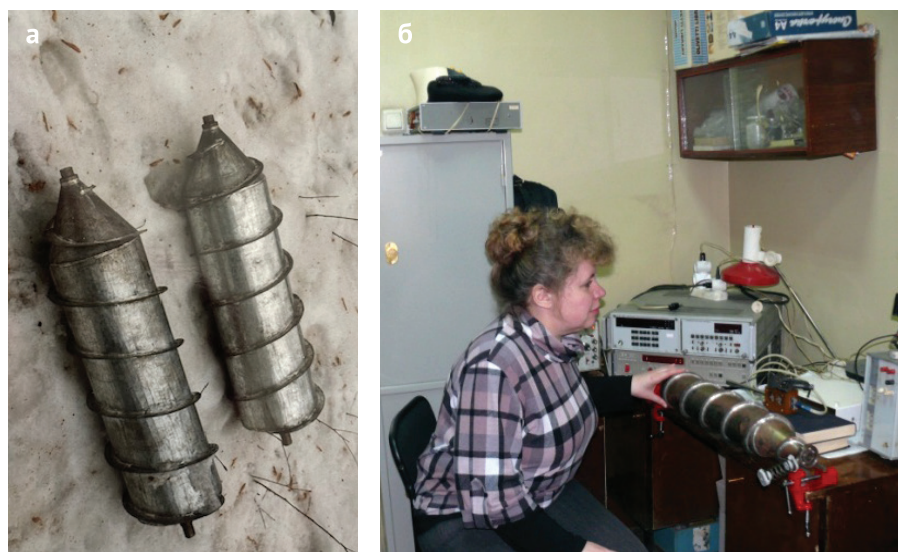


Рис. 1. Исследование длиннобазных винтовых роторов разного диаметра и типа навивки (а) при помощи ультразвукового фазового виброметра (б)

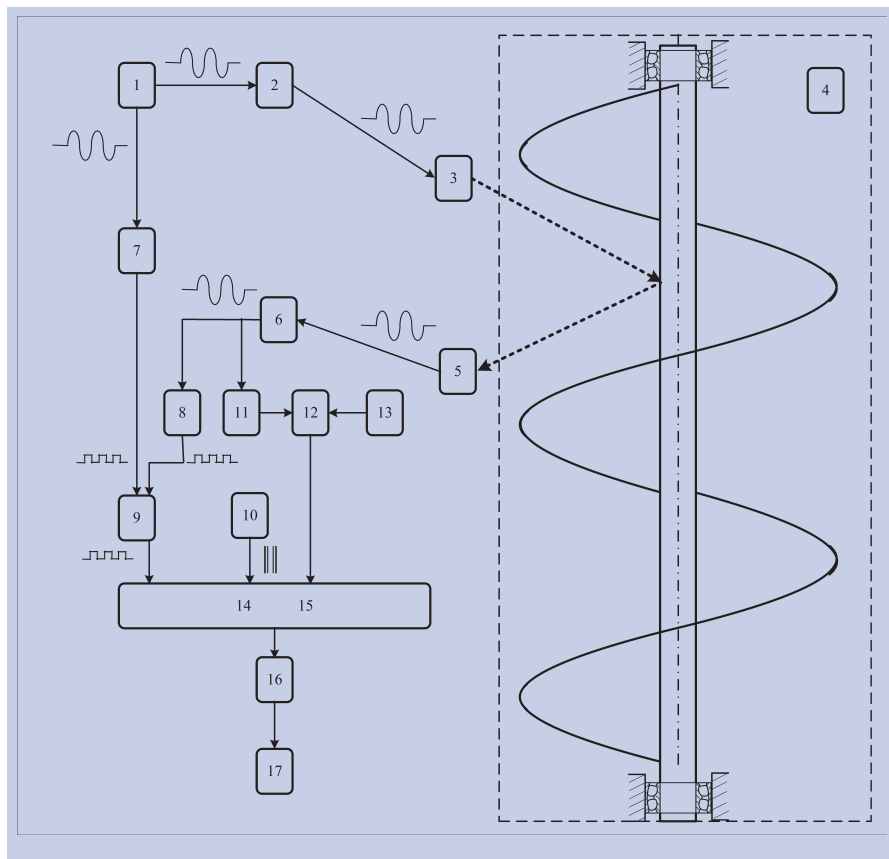


Рис. 2. Ультразвуковой фазовый вибропреобразователь (структурная схема)

ну, обусловленную величиной возможного эксцентриситета вала. Если вал выполняет рабочие операции без эксцентриситета, то сдвига фазы не происходит.

Модулированный по фазе ультразвуковой сигнал, принимаемый преобразователем 5 (настроенным на частоту механического резонанса), трансформирует его в электромагнитный сигнал, который через согласующий усилитель 6 поступает на формирователь меандра 8. При этом сигнал формирователя меандра 7 имеет рассогласование в частоте и фазе в отличие от формирователя 8.

Меандры переформируют синусоидальные сигналы в однополярные прямоугольные чередующиеся импульсы той же частоты. Изменение фазы сигнала демонстрирует трансформацию расстояния от отраженной поверхности вала до излученного, изменение частоты сигнала регулируется скоростью вращения вала. Параметром, выступающим информационным результатом, является фаза. Блоком умножения 9 формируется упорядоченность прямоугольных импульсов разной длины при анализе сигналов прямоугольной формы.

Длительность импульсов демонстрирует изменение фазы. Первый вход второго блока умножения 11 принимает тактовые импульсы порядка 1 ГГц и вме-

сте с генератором тактовых импульсов 10 пересылают данные блоку анализа 12. Затем через имеющий два устойчивых состояния формирователь прямоугольных импульсов 13 данные передаются на второй блок умножения 14 и блок анализа 15. Цифроаналоговым преобразователем 16 результат выводится на осциллограф или персональный компьютер 17. Проведя анализ автокорреляционной функции, система отображает гистограмму распределений информативных параметров.

Работа над ультразвуковым фазовым вибропреобразователем выполнялась при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 08-08-97057-Р_Поволжье). Конструктивная схема ультразвукового фазового вибропреобразователя запатентована, патент в 2012 г. был награжден бронзовой медалью в Сеуле.

Предложенная схема вибропреобразователя позволяет весьма точно определять колебательные перемещения вала ротора под влиянием винтовой наливки. Данные виброперемещений позволяют проводить анализ неуравновешенности длиннобазного винтового ротора при неправильной установке в опорах, т. е. при недостаточной их балансировке.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что данные экс-

периментов при измерении виброперемещений (определяемые по измерениям изменений фаз) находятся через соотношения скорости изучаемого и зондирующего сигналов. Предложенный метод определения виброизмерений демонстрирует явные преимущества: поверхность исследуемого длиннобазного винтового ротора не требует специальной подготовительной обработки, полностью исключаются электромагнитные помехи.

В целях комплексного исследования возникающих вибрационных процессов винтовых роторов и прогнозирования влияния их на работу агрегатов снегоуборочной техники предложено специальное оборудование, позволяющее проводить измерения вибраций без выполнения демонтажа рабочих органов транспортно-технологических машин.

Литература

1. Бабаков И. М. Теория колебаний. М.: Дрофа, 2004. 591 с.
2. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 1999. 344 с.
3. Гоберман Л. А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин. М.: Машиностроение, 1988. 464 с.
4. Гордеев Б. А., Кукулина И. Г. Автоматизированная диагностика элементов машин // Автоматизация в промышленности. 2010. № 3. С. 26–30.
5. Гордеев Б. А., Кукулина И. Г., Осмехин А. Н. Измерения параметров вибрации конструкций акустическими методами // Приволжский научный журнал. 2009. № 2. С. 13–20.
6. Гордеев Б. А., Охулков С. Н., Плехов А. С. и др. Частотный метод измерения крутящих моментов вращающихся валов // Вестник машиностроения. 2015. № 2. С. 3–7.
7. Аббакумов Е. И., Гордеев Б. А., Ерофеев В. И. и др. Исследования гидравлических вибропор с различными рабочими жидкостями // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2002. № 2. С. 33–36.
8. Гордеев Б. А. Математические модели виброзащитных систем. Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. 168 с.
9. Барахтанов Л. В., Беляков В. В., Колотилин В. Е. и др. Нижегородская научная школа вездеходных машин, транспортно-технологических комплексов и специального оборудования НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2007. 167 с.