

По результатам показателей, определяющих качество урожая можно выделить сорта содержание сухих веществ более (17 %) — Алёшенькин, Восторг, Илья, Красотка; по внешнему виду, крупности, красоте формы грозди и окраске ягоды выделились сорта — Августин, Аркадия, Арочный, Красотка; по сумме показателей, определяющих качество урожая выделяется сорт — Красотка.

**Заключение.** В результате проведенных исследований выделились следующие сорта.

По фенологическим наблюдениям:

- очень раннее начало созревания ягод у сортов Алёшенькин, Кодрянка (первая декада августа);
- по силе роста исследуемые сорта разделились на две группы: 4 балла — рост сильный (Восторг, Илья, Краса севера, Красотка), 5 баллов — рост очень сильный (Августин, Алёшенькин, Аркадия, Арочный, Кодрянка);
- повышенной зимостойкостью обладали следующие сорта: Алёшенькин, Арочный, Краса севера, Красотка.

2. По хозяйственно-биологическим характеристикам выделились:

- масса грозди: наиболее крупные более 500 г — Алёшенькин, Аркадия, Илья, Кодрянка;
- масса ягоды (более 5 г) — Августин, Аркадия, Арочный, Восторг, Илья, Кодрянка, Красотка;
- по урожайности (более 5 кг) — Августин, Алёшенькин, Аркадия, Арочный, Илья, Красотка.

3. По оценке качества урожая:

- по содержанию сухих веществ (свыше 17 %) — Алёшенькин, Восторг, Илья, Красотка;
- по внешнему виду, крупности, красоте формы грозди и окраске ягоды — Августин, Аркадия, Арочный, Красотка;
- по сумме показателей, определяющих качество урожая (дегустационная оценка) — Красотка.

#### Список цитируемых источников

1. Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда / З. А. Козловская [и др.]; под общ. ред. З. А. Козловской; Нац.акад. наук Беларуси, Ин-т пловодства. — Минск : Беларус. навука, 2019. — С. 225 — 236 с. ил.
2. *Леонович, И. С.* История развития виноградарства и виноделия / И. С. Леонович, В. Н. Устинов // Пловодство : науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Институт пловодства». — Самохваловичи, 2015. — Т. 27. — С. 421 — 436.
3. *Силич, М. В.* Исследование сортов винограда, районированного в Республике Беларусь / М. В. Силич, И. М. Почичкая, В. Л. Рослик // Пищевая промышленность: наука и технологии : рецензируемый науч.-техн. журн. — 2017. — № 1(35). — С. 7581.
4. Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда : монография / З. А. Козловская [и др.] ; ред. З. А. Козловская ; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Институт пловодства». — Минск : Беларус. навука, 2019. — 248 с.
5. *Олешук, Е. Н.* Виноградарство Беларуси: разрушить стереотипы, или о проблемах мнимых и истинных / Е. Н. Олешук, Е. Г. Попов // Наше сельское хозяйство: журнал настоящего хозяина. — 2014. — № 17 (Агрономия). — С. 82—86.
6. *Астапенко, Н.* Какой виноград можно выращивать в Беларуси / Н. Астапенко, В. Астапенко // Хозяин : ежемесяч. производствен.-практ. журн. — 2011. — № 6. — С. 6—8.
7. Государственный реестр сортов / Минсельхозпрод Респ. Беларусь ; ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». — Минск, 2020. — 270 с.
8. Генофонд плодовых и ягодных растений Беларуси: атлас сортов плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда / З. А. Козловская [и др.] ; под общ. ред. З. А. Козловской, А. А. Таранова ; Нац.акад. наук Беларуси, Ин-т пловодства. — Минск : Беларус. навука, 2020. — С. 472—493.
9. *Лазаревский, М. А.* Изучение сортов винограда / М. А. Лазаревский. — Ростов н/Д : Изд-во Ростов. ун-та 1963. — 152 с.
10. *Трошин, Л. П.* Ампелогографический скрининг генофонда винограда : учеб. нагляд. пособие // Л. П. Трошин, Д. Н. Маградзе. — Краснодар : КубГАУ, 2013. — 120 с.

УДК 621.833.15

**А. Н. Парфиевич, В. А. Сокол, Ю. Н. Саливончик**

*Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», Брест, Республика Беларусь*

## ИНФОРМАТИВНЫЕ ЧАСТОТНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПРИ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗУБЬЕВ ЭВОЛВЕНТНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЕС В СОСТАВЕ МНОГОВАЛЬНОГО ПРИВОДА

**Введение.** В процессе диагностирования многовальных приводов на основе зубчатых колес специализированный диагност сталкивается с проблемой чрезмерной насыщенности частотными составляющими в спектре акустического сигнала. Уменьшение степени его разрешенности может привести к утрате значимой диагностической информации. В силу этого необходимо выделить перечень информативных частотных составляющих, несущих в себе важную диагностическую информацию, что позволит сократить объем анализируемой информации с сохранением объективности процедуры диагностирования.

**Основная часть.** Вне зависимости от состояния зубчатого колеса в составе многовального привода будут возбуждаться колебания. Природа их возникновения может быть описана факторами двух групп [1], каждый из которых вносит свой вклад в формирование итогового анализируемого сигнала:

1. Динамические явления непосредственно в зубчатом зацеплении:

- ударные нагрузки, сопровождающие каждый вход зубьев в зацепление;
- переменные нагрузки, связанные с изменением числа зубьев, принимающих участие в передаче крутящего момента;
- трение контактируемых поверхностей зубьев;

2. Погрешности изготовления и монтажа зубчатых колес. Между контактирующими зубьями при каждом вхождении в зацепление возникает импульсное взаимодействие значительное по величине, но малое по продолжительности. Центр возбуждения практически всегда находится в зоне контакта между зубьями в момент их соударения [2, 3, 4, 5].

Исходя из анализа ряда литературных источников [5, 6, 7, 8] установлено, что в процессе зацепления происходит изменение точки приложения равнодействующей силы и ее величины в месте контакта зубьев зубчатых колес, что вызывает упругие колебания в рассматриваемой технологической системе (рисунок 1).

В процессе своей работы зуб постоянно воспринимает импульсную нагрузку, повторяющуюся с частотой пересопряжения зубьев контактируемых зубчатых колес [5, 6, 8].

Необходимо также отметить, что контактирующие зубья при каждом вхождении в зацепление из-за возникающего относительного скольжения испытывают касательные нагрузки [9]. Это приводит к тому, что в зоне контакта появляются последовательные хаотичные импульсы малой интенсивности и продолжительности, вносящие общий вклад в формирование итогового анализируемого сигнала.

Из-за несовершенства технологического процесса производства зубчатых колес каждый зуб индивидуален и способен генерировать собственные частоты колебаний, отличные от других, проходя зону зацепления. Так как число зубьев колеса и шестерни различно, то пары контактирующих зубьев постоянно разные и формируемый акустический шум носит постоянный нестационарный характер [10].

При периодическом изменении жесткости зубьев, происходящем в процессе их работы, и при постоянной ошибке шага зубозацепления в спектре колебаний зубчатой передачи появляются составляющие на зубцовой частоте и ее гармониках [10—13]

$$f_z = z_1 \times f_{01} = z_2 \times f_{02},$$

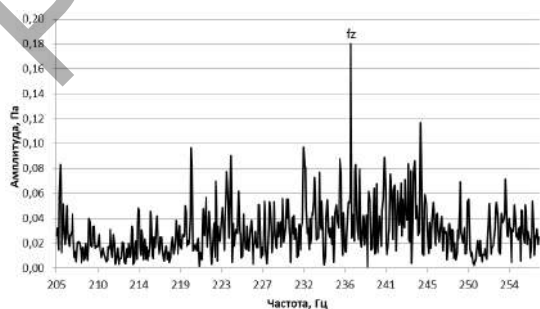
где  $z_1, z_2$  — количество числа зубьев;

$f_{01}, f_{02}$  — частоты вращения сопряженных колес.

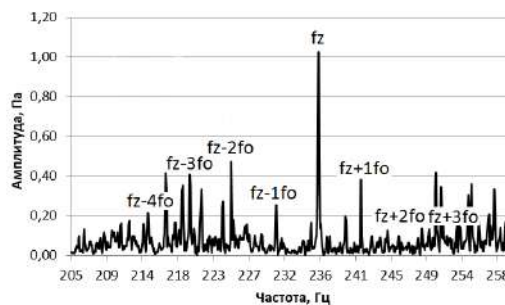
В ряде случаев при анализе спектра акустического сигнала можно выявить семейство так называемых комбинированных частотных составляющих, располагаемых около зубцовой частоты на расстоянии, кратном либо некратном зубцовой частоте соответствующего колеса [11, 12, 13, 14]. Появление данных составляющих имеет недостаточно ясную механическую природу. Существует ряд теорий, но ни одна из них не смогла объединить особенности поведения данных частотных составляющих. Одно из наиболее предпочтительных предположений — собственные частоты зубчатых элементов, и весьма вероятно, что они являются результатом резонансного возбуждения при ударных воздействиях, происходящих в процессе зубозацепления [11—14]. Появление серии промежуточных частотных составляющих в анализируемом сигнале может свидетельствовать о зарождении различных дефектов в зубчатой передаче.

При появлении локального повреждения зуба в зоне зацепления формируются дополнительные возмущающие силы [5, 14, 15], приводящие к увеличению амплитуды частоты пересопряжения зубьев зубчатой пары и появлению симметрично расположенных боковых полос с относительно небольшими затухающими амплитудами.

В ряде работ [11, 12, 13, 14] большое внимание уделяется анализу боковых полос зубцовых и кратных им гармоник, несущих в себе основную диагностическую информацию. Наличие и развитие дефекта контактирующих поверхностей отражается как на зубцовых частотах  $f_z = z \times f_o$  и кратных им гармониках  $m \times f_z$ , так и на комбинированных частотах  $m \times f_z \pm k \times f_o$  в окрестности частоты пересопряжения зубьев, где  $m$  и  $k = 1, 2, \dots$ ,  $f_o = 1/T$  — оборотная частота вращения колеса (рисунок 2). Общее число боковых полос может варьироваться в пределах от четырех до шести [16], а их амплитуды не всегда симметрично расположены относительно частоты пересопряжения зубьев диагностируемой пары колес.

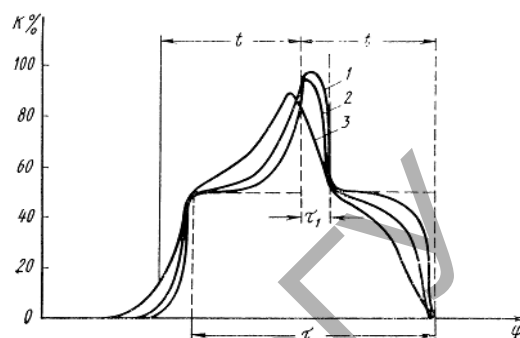


а)



б)

Рисунок 2 — Фрагмент спектра акустического сигнала в области зубцовой частоты  $f_z$ : а — исправное зубчатое колесо; б — зубчатое колесо с локальным повреждением зуба



К — часть полной нагрузки, воспринимаемая одним зубом; штриховая линия — теоретическая зависимость, сплошная линия — экспериментальная зависимость

Рисунок 1 — График изменения нагрузки на зуб шестерни в процессе его работы

**Заключение.** Даже технически исправная зубчатая пара генерирует акустический шум, представляющий собой последовательность ударных импульсов, которые на спектре анализируемого сигнала отображаются явно выраженными величинами собственных зубцовых  $f_z$  и кратных им составляющих гармоник  $m \times f_z$ . Это чаще всего связано с погрешностью изготовления и сборки зубчатых колес. В этом случае комбинированные гармоники  $m \times f_z \pm k \times f_o$  будут присутствовать в спектре сигнала, но из-за малой энергии удара в зацеплении их идентифицировать затруднительно. При появлении на зубе локального дефекта на спектре акустического сигнала происходит увеличение амплитуд частотных составляющих, которые характеризуют работу анализируемого зубчатого колеса. На спектре также появляются боковые полосы, симметрично расположенные относительно зубцовой составляющей и сдвинутые на частоту вращения вала, на котором расположена дефектная шестерня [11—14]. В силу того, что математическая основа приведенных выше компонент достаточного хорошо изучена, то появляется возможность автоматизировать процесс их вычисления. Это позволит сократить время постановки диагноза исследуемого многовального зубчатого привода, а совместное использование предлагаемых зубцовых  $f_z$  и комбинированных  $m \times f_z \pm k \times f_o$  частотных составляющих с мощными современными математическими аппаратами даст возможность снизить нагрузку на специалиста-диагноста при анализе поступающей информации и повысит объективность безразборных методов диагностики.

#### Список цитируемых источников.

1. Вопросы акустической диагностики // Методы виброизоляции машин и присоединенных конструкций / М. Д. Генкин [и др.]. — [Б. м.] : Наука. — 1975. — С. 67—91.
2. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний : учеб. для вузов / В. Л. Бидерман. — М. : Высш. шк., 1980. — 408 с.
3. Генкин, М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова. — М. : Машиностроение, 1987. — 288 с.
4. Пановко, Я. Г. Введение в теорию механического удара / Я. Г. Пановко. — М. : Наука, 1977. — 224 с.
5. Павлов, Б. В. Акустическая диагностика механизмов / Б. В. Павлов. — М. : Машиностроение, 1971. — 224 с.
6. Антипенко, Г. Л. Влияние единичных дефектов зубьев привода на его динамическую нагруженность / Г. Л. Антипенко, М. Г. Шамбалова // Механика машин, механизмов и материалов. — 2013. — № 3(24) — С. 33—38.
7. Бережной, В. А. Динамическая модель для эвольвентного прямозубого зацепления / В. А. Бережной, Н. В. Матюшенко, А. В. Федченко // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы механического привода. — Харьков : НТУ «ХПИ». — 2012. — № 35. — С. 12—16.
8. Ишин, Н. Н. Динамика и вибромониторинг зубчатых передач / Н. Н. Ишин. — Минск : Беларус. навука, 2013. — 432 с.
9. Вибрации в технике: справочник : в 6 т. / под ред. Ф. М. Диментберга и К. С. Колесникова. — М. : Машиностроение, 1980. — Т. 3: Колебания машин, конструкций и их элементов. — 544 с.
10. Руссов, В. А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В. А. Руссов. — Пермь, 2012. — 252 с.
11. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник : в 7 т. / под общ. ред. В. В. Клюева — М. : Машиностроение, 2003. — 656 с.
12. Неразрушающий контроль : справочник : в 7 т. / под общ. ред. В. В. Клюева ; В. И. Иванов, И. Э. Власов. — М. : Машиностроение, 2005. — Т. 7, кн. 1 : Метод акустической эмиссии. — С. 12—341.
13. Неразрушающий контроль : справочник : в 7 т. / под общ. ред. В. В. Клюева ; Ф. Я. Балицкий [и др.] — М. : Машиностроение, 2005. — Т. 7, кн. 2 : Вибродиагностика. — С. 341 — 820.
14. Шишкин, С. М. Методы исследования уровней шума с использованием спектрального анализа / С. М. Шишкин, О. К. Постников // Сб. тр. ВНИИОПИТ. — 1972. — № 41.
15. Герике, Б. Л. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов : учеб. пособие : в 2 ч. / Б. Л. Герике. — Кемерово : Кузб. гос. техн. ун-т. — 1999. — Ч. 2 : Диагностика технического состояния на основе анализа вибрационных процессов. — 230 с.
16. Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации : учеб. пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. — СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. — 159 с.

УДК 334.02

И. А. Петручя, В. Н. Гутман

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь

### ОБЗОР РАЗВИТИЯ ПРИНЦИПОВ КАРБОНОВЫХ ФЕРМ

**Введение.** В настоящее время страны и компании сегодня соревнуются друг с другом, кто больше сократит выбросы  $\text{CO}_2$  (парниковых газов) и раньше достигнет углеродной нейтральности. Сокращение выбросов  $\text{CO}_2$  от деятельности человека называется декорбонизацией. Ее можно достичь двумя способами.

**Основная часть.** Первый — это, собственно, уменьшение выбросов в атмосферу [1]. Главным инструментом для решения этой задачи является энергоэффективность. Однако простая замена лампочек накаливания на светодиодные не позволит существенно снизить выбросы  $\text{CO}_2$  — требуется системная перестройка всей мировой промышленности. Бывает, что и модернизация производства невозможна. Например, достигнут технологический предел и снизить потребление энергоресурсов невозможно: либо не хватает места для установки нового оборудования, либо процесс экономически невыгоден.