

УДК 621.869.33

УДК 004.93

А. В. ПОЛЯРУС, докт. техн. наук, **Р. Э. ПАЩЕНКО**, докт. техн. наук,

Е. А. ПОЛЯКОВ, ассистент, **Я. С. БРОВКО**, студент

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ

Постановка проблемы. При выполнении различных рабочих операций автогрейдер находится под воздействием динамических знакопеременных нагрузок, обусловленных главным образом структурой почвы. В результате таких нагрузок в металлоконструкциях могут возникать трещины, которые в свою очередь приводят к отказам в работе машины. Данные процессы могут быть обнаружены на ранних стадиях с помощью применения вибрационной диагностики. Для получения диагностической информации об исправности машины необходимо иметь сведения о состоянии динамического объекта (режимах его работы) и описание динамических нагрузок в разных режимах работы машины. Кроме того, необходимо определить уровень и составляющие вибраций, действующих на конструкцию машин в результате знакопеременных нагрузок.

Анализ публикаций. Результаты исследований, приведенные в [1], показывают, что диагностика землеройно-транспортных машин может обеспечить прогнозирование возможных нарушений их работы. В работе [2] рассмотрена динамика землеройно-транспортных машин при резком возрастании сопротивления, что позволяет оценить динамические нагрузки, которые действуют на металлоконструкцию. Для выявления неисправных состояний автогрейдера необходимым условием является получение базы данных состояний исправной машины и сравнение данных, полученных в рабочих режимах, с эталонными данными. Для получения такой базы данных проводят специальные экспериментальные исследования. Принципы планирования экспериментов такого типа рассмотрены в [3].

Цель и постановка задачи. При прогнозировании возможных нарушений работы автогрейдера возникает задача учета пиковых нагрузок на раму машины, которая фактически означает определение режимов нагружения. Определение режимов нагружения автогрейдера целесообразно осуществлять на основе экспериментально

полученных сигналов, которые описывают нагрузку на шкворень автогрейдера, и их представления на псевдофазовой плоскости.

Цель статьи: рассмотреть возможность использования фазовых портретов для определения режимов нагружения автогрейдера.

Получение экспериментальных данных. Полевые эксперименты проводились в условиях испытательного полигона ХНАДУ. Экспериментальные исследования проводились для определения параметров узлов автогрейдера во время выполнения рабочих операций. В качестве объекта исследований использовался автогрейдер ДЗК-251 Крюковского вагоностроительного завода. В ходе эксперимента на пути автогрейдера размещалось препятствие при взаимодействии с которым фиксировались нагрузки [4]. Для регистрации экспериментальных данных была использована измерительно-информационная система, которая описана в [5].

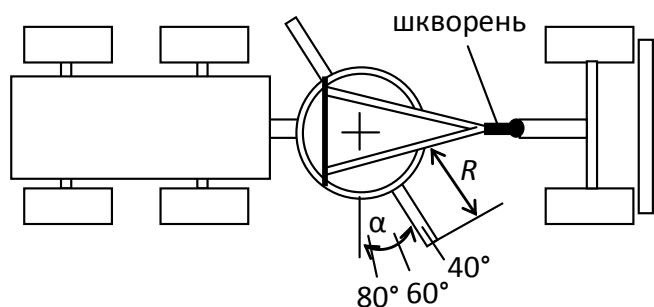


Рис. 1. Схема проведения эксперимента.

Одним из основных элементов автогрейдера, через который передается все тяговое усилие от ведущих колес к отвалу, является шаровой шкворень. Шкворень закрепляется на переднем конце продольных балок тяговой рамы. С помощью шкворня тяговая рама соединяется с головной отливкой основной рамы автогрейдера. Поэтому при выполнении рабочих операций целесообразно оценить нагрузки, воздействующие на этот элемент автогрейдера. Измерение напряжений на шкворене автогрейдера при выполнении рабочих операций осуществлялось с помощью тензодатчиков.

При проведении эксперимента оценивалось влияние различных положений грейдерного отвала на напряжения, возникающие на шкворне автогрейдера. При этом изменялись следующие параметры автогрейдера:

- вынос грейдерного отвала в сторону (0 м, 0,7 м, 1,4 м);
- угол поворота (установки) отвала (40°, 60°, 80°);
- частота вращения двигателя (900 об/мин, 1100 об/мин, 1300 об/мин).

Схема проведения эксперимента и изменяемых параметров показаны на рис. 1.

На рисунке α обозначает угол поворота отвала, а R – вынос грейдерного отвала в сторону. Также показана точка измерения нагрузки на шкворень.

Измерительная система в процессе проведения эксперимента фиксировала показания датчиков в виде табличных цифровых данных и записывала их в постоянную память компьютера.

На рисунке 2 представлены временные зависимости напряжений (σ , МПа) на шкворене автогрейдера при выносе грейдерного отвала в сторону: $R = 0$ м (а), $R = 0,7$ м (б), $R = 1,4$ м (в), и фиксированных значениях: угла поворота отвала ($\alpha = 80^\circ$) и частоты вращения двигателя ($f = 1300$ об/мин). На этом, и последующих рисунках, ось ординат Y соответствует напряжению на шкворене (σ , МПа), а ось абсцисс I – времени выполнения рабочих операций. При этом значению $I = 1 \times 10^4$ соответствует время $t = 10$ с.

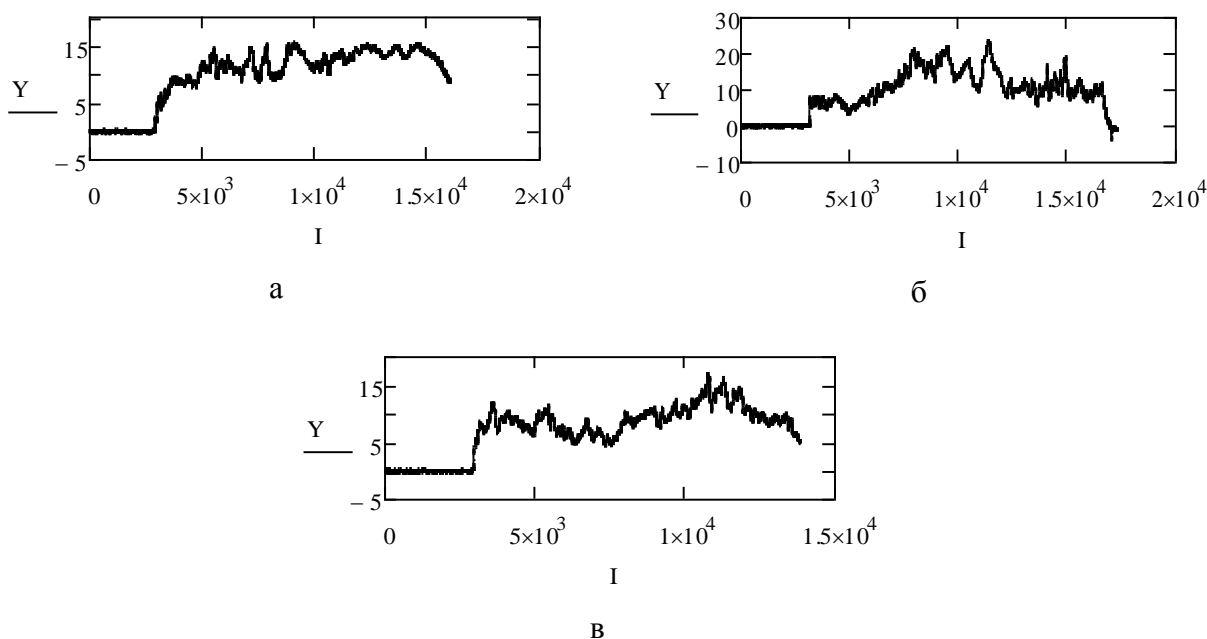


Рис. 2. Временные реализации сигналов напряжений на шкворне при $R = 0$ м (а), $R = 0,7$ м (б), $R = 1,4$ м (в).

Как видно на рисунке 2, не зависимо от выноса отвала в сторону, первые 2-3 секунды автогрейдер работал без взаимодействия с препятствием (грунтом), при этом напряжения на шкворне были не значительными. Затем при взаимодействии с грунтом напряжения на шкворне возрастали скачкообразно. После этого нагрузки на шкворне изменялись не равномерно, а характер изменений практически не зависит от выноса отвала автогрейдера. Некоторые отличия проявляются при выносе отвала $R = 0,7$ м (рис. 2, б), при котором на 8-12 секундах амплитуда напряжений была максимальной, а в конце уменьшается до значений, которые были в первые 2-3 секунды работы. На рисунке также видно, что по величине амплитуды напряжений не сложно оценить была ли нагрузка на автогрейдер, или он работал без нагрузки. Однако, по временным реализациям сложно определить

режимы нагружения при выполнении рабочих операций.

На рисунке 3 представлены временные зависимости напряжений (σ , МПа) на шкворне автогрейдера при угле поворота отвала: $\alpha = 40^\circ$ (а), $\alpha = 60^\circ$ (б), $\alpha = 80^\circ$ (в), и фиксированных значениях: выноса грейдерного отвала в сторону ($R = 0,7$ м) и частоты вращения двигателя ($f = 1300$ об/мин).

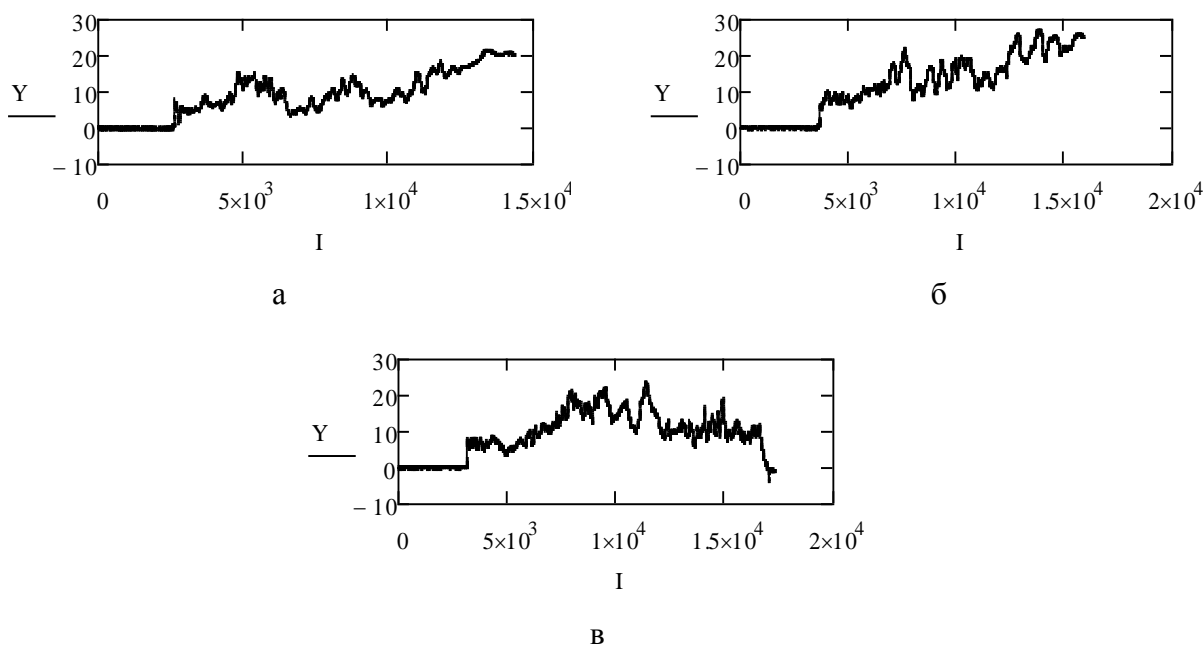


Рис. 3. Временные реализации сигналов напряжений на шкворне при $\alpha = 40^\circ$ (а), $\alpha = 60^\circ$ (б), $\alpha = 80^\circ$ (в).

На рисунке 3 видно, что также как и на рис. 2, первые 2-3 секунды автогрейдер работал без взаимодействия с препятствием, а затем напряжения на шкворне возрастали. При углах поворота отвала $\alpha = 40^\circ$ и $\alpha = 60^\circ$ (см. рис. 3, а и б) амплитуды напряжений на шкворне возрастают со временем, и имеют изрезанный характер. При $\alpha = 80^\circ$ (рис. 3, в) амплитуда напряжения также имеет изрезанный характер, но в отличии от предыдущих условий вначале увеличивается, а затем уменьшается. Также как и при исследовании напряжений от выноса отвала в сторону при выполнении рабочих операций, по временным реализациям сложно определить режимы нагружения автогрейдера.

На рисунке 4 представлены временные зависимости напряжений (σ , МПа) на шкворне автогрейдера при частоте вращения двигателя: $f = 900$ об/мин (а), $f = 1100$ об/мин (б), $f = 1300$ об/мин (в), и фиксированных значениях: выноса грейдерного отвала в сторону ($R = 0$ м) и угла поворота отвала ($\alpha = 40^\circ$).

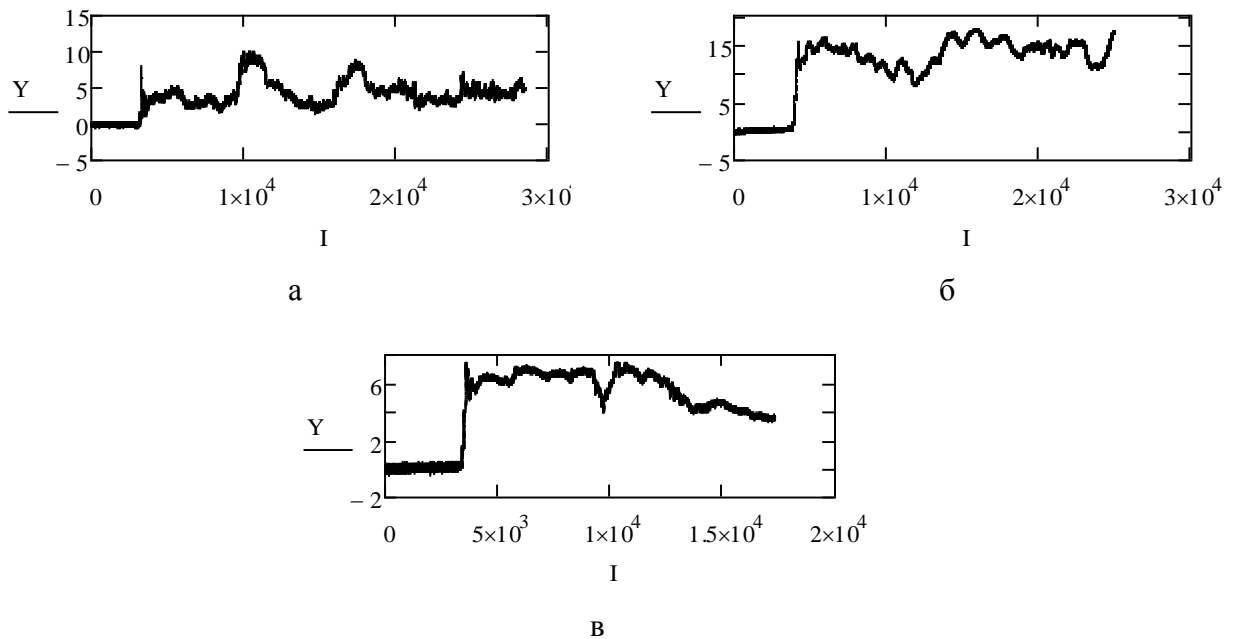


Рис. 4. Временные реализации сигналов напряжений на шкворне при $f = 900$ об/мин (а), $f = 1100$ об/мин (б), $f = 1300$ об/мин (в).

Как видно на рисунке 4, характер временных реализаций напряжений на шкворне автогрейдера при различных частотах вращения двигателя не отличается от временных реализаций, показанных на рисунках 2 и 3. Вначале работа без нагрузки, а затем напряжения на шкворне увеличивается скачкообразно, и в дальнейшем носит изрезанный характер.

Таким образом, по временным реализациям напряжений на шкворне хорошо определяется момент возникновения нагрузки на автогрейдера (по скачкообразному увеличению амплитуды напряжений), однако, определить режимы нагружения при выполнении рабочих операций по временным реализациям напряжений сложно.

Построение фазовых портретов. В общем случае фазовое пространство можно определить как абстрактное математическое пространство, в котором осями координат является состояние системы и ее производная.

На рис. 5, а показана временная реализация периодического сигнала $x(t)$, а на рисунок 5, б – его фазовый портрет (ФП) в фазовой плоскости $y(x)$, где $y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$. Как видно из рисунка, ФП периодического сигнала при единичной амплитуде является окружностью.

В последнее время для анализа поведения сложных (нелинейных) динамических систем, в которых известен только один параметр (система с одной степенью свободы),

используют метод построения псевдофазовой плоскости (ПФП) с временной задержкой [6]. Для системы, в которой измерена только одна величина, строится зависимость сигнала от этой же величины в другой момент времени, отстающий или опережающий данный момент времени на постоянную величину: $[x(t), x(t+T)]$. Результат построения имеет те же свойства, что и при использовании действительной фазовой плоскости. Построение фазовых портретов в ПФП не требует большого времени.

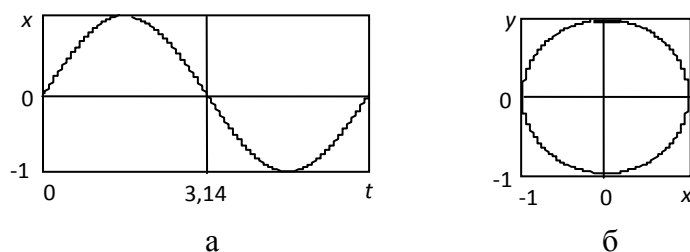


Рис. 5. Временная реализация (а) и фазовый портрет (б) периодического сигнала.

На рис. 6 показаны ФП гармонического сигнала [7], построенные на ПФП при различных временных задержках ($T_1 < T_2 < T_3$). Как видно из рис. 4, в можно подобрать такое значение временной задержки, при котором ФП на ПФП будет отвечать ФП на реальной фазовой плоскости (рис. 5, б и рис. 6, в).

Таким образом, построение фазовых портретов на псевдофазовой плоскости можно использовать для наглядного представления и качественного исследования свойств динамических систем, которые невозможно или затруднительно исследовать аналитически. Рассмотрим возможность использования фазовых портретов для определения режимов нагружения автогрейдера.

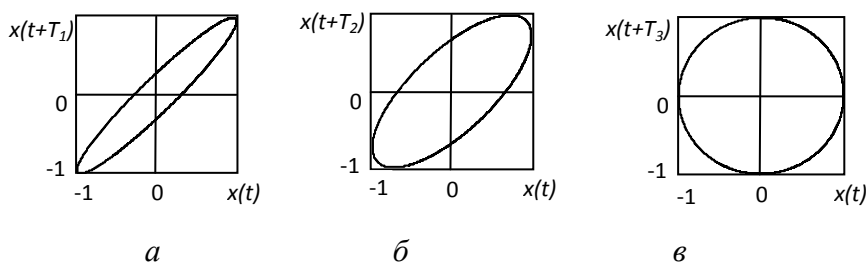


Рис. 6. Фазовые портреты гармонического сигнала, построенные на ПФП: временная задержка T_1 (а); T_2 (б); T_3 (в)

Анализ режимов нагружения автогрейдера с использованием фазовых портретов.

На рисунке 7 показаны фазовые портреты напряжений на шкворене автогрейдера при

выносе грейдерного отвала в сторону: $R = 0$ м (а), $R = 0,7$ м (б), $R = 1,4$ м (в), временные реализации, которых представлены на рисунке 2. На этом, и последующих рисунках, ось абсцисс Y соответствует напряжению на шкворне (σ , МПа), а ось ординат Z – тому же напряжению на шкворене, но при временной задержке $T = 500$ элементов выборки (выборке сдвинутой на 500 элементов).

Как видно на рисунке 7, на фазовых портретах можно выделить несколько характерных областей. Кроме того, ФП изменяются в зависимости от выноса грейдерного отвала в сторону. На всех трех ФП можно выделить область (1 на рис. 7), соответствующую работе автогрейдера без нагрузки, которая представляет собой набор точек вытянутых параллельно оси Z . Вторая характерная область (2 на рис. 7), присутствующая на всех ФП в виде набора точек вытянутых параллельно оси Y , соответствует переходному режиму от работы без нагрузки к нагруженному режиму. Необходимо заметить, что при выносе грейдерного отвала в сторону $R = 0,7$ м (см. рис. 7, б) на ФП присутствуют по две области 1 и 2. Это говорит о том, что автогрейдер работал два раза без нагрузки, и была два переходных режима. Если проанализировать временную реализацию напряжения на рис. 2, б, то можно сказать, что второй переходной режим был в конце рабочих операций – из нагруженного режима в не нагруженный.

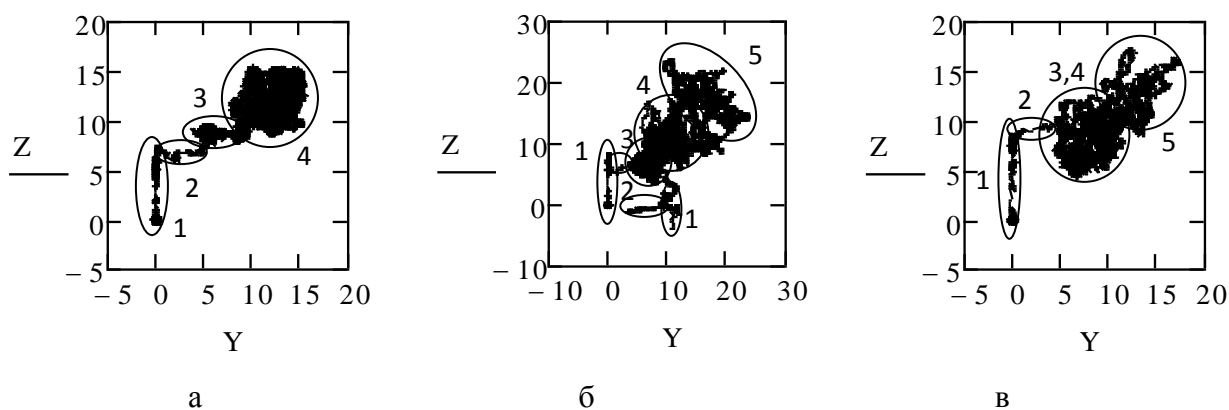


Рис. 7. Фазовые портреты напряжений на шкворене при $R = 0$ м (а), $R = 0,7$ м (б), $R = 1,4$ м (в).

Третья область (3 на рис. 7) характеризует средние нагрузки работы автогрейдера, при этом амплитуды напряжений на шкворне ($\sigma \approx 7$ МПа) и их разброс ($\Delta\sigma \approx \pm 2$ МПа) не большие. При больших нагрузках работы автогрейдера амплитуды напряжений на шкворне ($\sigma \approx 11$ МПа) и их разброс ($\Delta\sigma \approx \pm 4$ МПа) возрастают, что приводит к усложнению формы ФП (четвертая область, 4 на рис. 7). Кроме того, на рисунке 7, в

видно, что при выносе грейдерного отвала в сторону $R = 1,4$ м на ФП области 3 и 4 практически не разделяются и можно говорить, что автогрейдер сразу после переходного режима работал при больших нагрузках. Также необходимо отметить, что при выносе грейдерного отвала в сторону $R = 0,7$ м и $R = 1,4$ м на ФП выделяется пятая область (5 на рис. 7, б и в). Данная область характеризует пиковые нагрузки работы автогрейдера, при этом амплитуды напряжений на шкворне возрастают ($\sigma \approx 15$ МПа), а их разброс остается такой же, как при больших нагрузках ($\Delta\sigma \approx \pm 4$ МПа). В то же время, при выносе грейдерного отвала в сторону $R = 0$ м резких изменений амплитуды напряжений на шкворне не наблюдается, и пятой области на ФП нет, т.е. можно сказать, что при таких параметрах автогрейдера он работал при больших нагрузках, но без пиковых.

Таким образом, анализ форм фазовых портретов позволил выделить пять режимов работы автогрейдера при выполнении рабочих операций: не нагруженный, переходной, средних, больших и пиковых нагрузок.

Рассмотрим форму фазовых портретов напряжений на шкворне при других параметрах автогрейдера. На рисунке 8 показаны фазовые портреты напряжений на шкворне автогрейдера при угле поворота отвала: $\alpha = 40^\circ$ (а), $\alpha = 60^\circ$ (б), $\alpha = 80^\circ$ (в), временные реализации, которых представлены на рисунке 3.

Как видно на рисунке 8, на фазовых портретах также можно выделить пять областей, которые характеризуют различные режимы работы автогрейдера при выполнении рабочих операций. Кроме того, форма ФП изменяется при изменении угла поворота отвала. На всех трех ФП выделяются области при: не нагруженном режиме работы (1), переходном режиме (2), средних (3), больших (4) и пиковых (5) нагрузках. Однако, при угле поворота отвала $\alpha = 40^\circ$ (см. рис. 8, а) разделить области больших и средних нагрузок (4 и 3) практически невозможно, а в области пиковых нагрузок (5) амплитуда напряжения на шкворне возрастает до значений $\sigma \approx 20$ МПа при их разбросе $\Delta\sigma \approx \pm 2$ МПа. Увеличение амплитуд напряжения на шкворне при больших и пиковых нагрузках также наблюдается при увеличении угла поворота отвала до $\alpha = 60^\circ$ (см. рис. 8, б). При этом при больших нагрузках амплитуда напряжения на шкворне составляет $\sigma \approx 15$ МПа при их разбросе $\Delta\sigma \approx \pm 5$ МПа, а при пиковых – $\sigma \approx 20$ МПа при $\Delta\sigma \approx \pm 5$ МПа. Анализ ФП, соответствующего углу поворота отвала $\alpha = 80^\circ$ и представленного на рисунке 8, в, был проведен выше (рис. 7, б).

Таким образом, анализ форм фазовых портретов при различных углах поворота отвала показал, что, при остальных равных параметрах работы автогрейдера, наибольшие нагрузки (в более тяжелых режимах работы) наблюдаются при $\alpha = 60^\circ$.

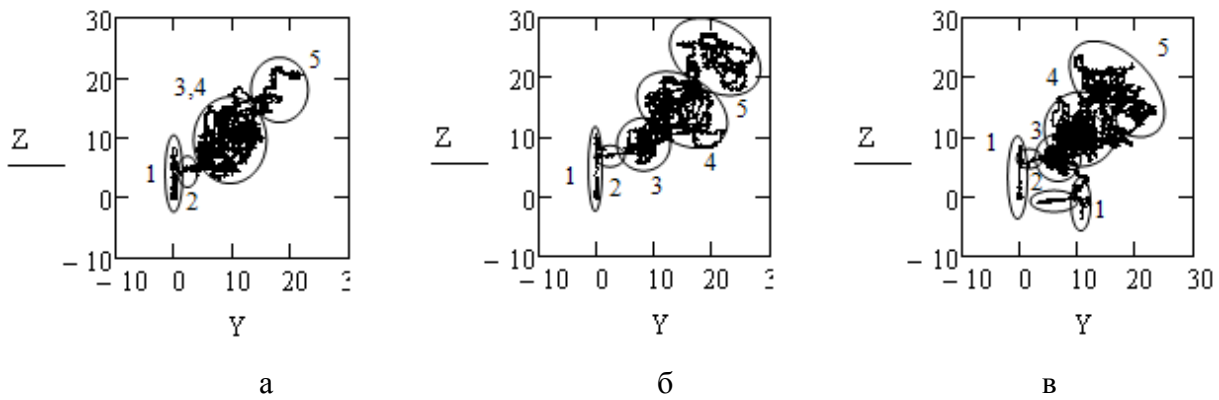


Рис. 8. Фазовые портреты напряжений на шкворене при $\alpha = 40^\circ$ (а), $\alpha = 60^\circ$ (б), $\alpha = 80^\circ$ (в)

На рисунке 9 показаны ФП напряжений на шкворне автогрейдера при частоте вращения двигателя: $f = 900$ об/мин (а), $f = 1100$ об/мин (б), $f = 1300$ об/мин (в), временные реализации, которых представлены на рисунке 5.

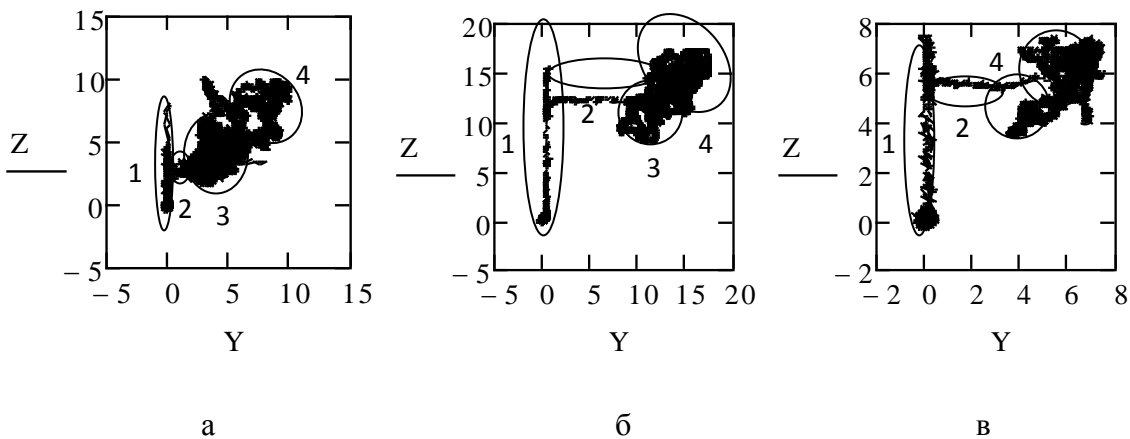


Рис. 9. Фазовые портреты напряжений на шкворене при $f = 900$ об/мин (а), $f = 1100$ об/мин (б), $f = 1300$ об/мин (в).

На рис. 9 видно, что при увеличении частоты вращения двигателя в не нагруженном режиме работы автогрейдера (первая область на ФП) увеличивается разброс амплитуд напряжений на шкворне (увеличение размеров точки внизу области 1). На фазовых портретах также можно выделить пять областей, которые характеризуют различные режимы работы автогрейдера при выполнении рабочих операций, однако при различных частотах вращения двигателя эти области проявляются по-разному. Так при $f = 900$ об/мин третья область, соответствующая средним нагрузкам, характеризуется небольшими амплитудами напряжений на шкворне ($\sigma \approx 5$ МПа) при их разбросе $\Delta\sigma \approx \pm 2$ МПа, а пиковых нагрузок не наблюдается. При $f = 1100$ об/мин, наоборот, в основном присутствуют пиковые нагрузки (область 5, $\sigma \approx 15$ МПа при $\Delta\sigma \approx \pm 4$ МПа), а третья область (средние нагрузки)

отсутствует. Кроме того, при $f = 1300$ об/мин после переходного режима наблюдались повышенные нагрузки (область 4), а затем нагрузки понижались (область 3), но амплитуды напряжений на шкворне были не большими $\sigma \approx 7$ МПа и $\sigma \approx 5$ МПа соответственно при $\Delta\sigma \approx \pm 1$ МПа.

Таким образом, анализ форм фазовых портретов при различных частотах вращения двигателя показал, что в не нагруженном режиме работы автогрейдера при увеличении частоты вращения увеличивается разброс амплитуд напряжений на шкворне, а нагруженные режимы на фазовых портретах проявляются по-разному.

Выводы. 1. Построение фазовых портретов можно использовать для наглядного представления и качественного исследования напряжений на шкворне автогрейдера. 2. Анализ форм фазовых портретов позволил выделить пять режимов работы автогрейдера при выполнении рабочих операций: не нагруженный, переходной, средних, больших и пиковых нагрузок. 3. При различных углах поворота отвала, при остальных равных параметрах работы автогрейдера, наибольшие нагрузки (в более тяжелых режимах работы) наблюдаются при $\alpha = 60^\circ$. 4. В не нагруженном режиме работы автогрейдера при увеличении частоты вращения увеличивается разброс амплитуд напряжений на шкворне, а нагруженные режимы на фазовых портретах проявляются по-разному. 5. При проведении дальнейших исследований целесообразно рассмотреть возможность применения фазовых портретов для анализа сигналов, полученных на других элементах автогрейдера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учеб. пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – Санкт-Петербург: Изд. СПМТУ, 2000. – 158 с.
2. Холодов А.М. Динамика землеройно-транспортных машин при резком возрастании сопротивлений / А.М. Холодов // Труды ХАДИ. – 1960. – Вып. 22. – С. 71 – 81.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
4. Полярус О.В. Автоматичне розпізнавання режимів навантаження автогрейдера на основі нейромережевих технологій / О.В. Полярус, Є.О. Поляков, О.О. Резніков // Сб. науч. тр. “Строительство. Материаловедение. Машиностроение”. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – С. 230 – 233.

5. Шевченко В.А. Экспериментальная оценка влияния положения грейдерного отвала на нагрузки, действующие в основной раме автогрейдера ДЗК-251 / В.А. Шевченко, А.А. Резников, В.В. Крецул // Вестник ХНАДУ – 2010. – Вып. 49. – С. 62–66.

6. Берже П. Порядок в хаосе. О детерминистском подходе к турбулентности / Берже П., Помо И., Видаль К. – М.: Мир, 1991. – 368 с.

7. Пащенко Р.Э. Основы теории формирования фрактальных сигналов / Пащенко Р.Э. – Харьков: ХООО “НЭО “ЭкоПерспектива”, 2005. – 296 с.

УДК 621.879.48

А. Б. КОВАЛЬ, інж.

Національний транспортний університет

ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ НАВАНТАЖЕНЬ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ УНІВЕРСАЛЬНИХ РОТОРНИХ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН

Актуальність проблеми. Земляні роботи, особливо при спорудженні протяжних виїмок різного призначення в ґрунті, як в Україні, так і за її межами, пов'язані з розробкою та переміщенням мільярдів кубічних метрів ґрунту. Виконання таких об'ємів робіт можливе лише при використанні високопродуктивних екскаваторів безперервної дії. Існуючі конструкції екскаваторів дозволяють відкопувати в ґрунті протяжні виїмки заданого профілю. Спорудження виїмок іншого профілю досягається шляхом переоснащення машин іншим робочим обладнанням.

Така ситуація суттєво звужує спектр технологічного призначення екскаваторів поздовжнього копання і, як наслідок, знижує величину коефіцієнта використання машин в часі та техніко-економічні показники використання машини в цілому. По вказаній причині тільки за останні 20...25 років використання екскаваторів поздовжнього копання зменшилось в 3...3,5 рази не дивлячись на те, що використання спеціалізованих землерийних машин безперервної дії забезпечує зменшення об'ємів земляних робіт на будівельних об'єктах на 35...45 %, знижує собівартість виконання земляних робіт майже вдвічі, в декілька разів підвищує темпи виконання земляних робіт на об'єктах.

На наш погляд заслуговує серйозної уваги вирішення питання створення універсальних землерийних машин (УЗМ), здатних одним і тим же робочим органом