

Сташенко В.И., Скворцов О.Б.

## Надежность электромеханического оборудования и импульсные ударные процессы

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы обеспечения эксплуатационного контроля вибрации современного электромеханического оборудования. Действие механических динамических сил в условиях электроимпульсных воздействий связано с проявлением электропластического и вибропластического эффектов. Такое влияние необходимо учитывать в условиях длительной эксплуатации электромеханического оборудования и развития усталостных повреждений.

**Ключевые слова:** надежность, циклическая усталость, усталость, фреттинг, электрогенератор, импульсный инвертор, электрический импульс, вибрация, электропластический эффект, вибропластический эффект

### Введение

Обеспечение надежной непрерывной работы мощного энергетического оборудования является важнейшей задачей создания критической инфраструктуры. Прочностные характеристики большей части электропроводящих элементов такого оборудования обычно существенно ниже, чем прочность несущих механических конструкций и определяется выбором материала по его электрическим и теплофизическим параметрам. С другой стороны, электропроводящие элементы обычно эксплуатируются в условиях как обычных механических динамических нагрузок [1], так и специфических динамических воздействий [2, 3], которые определяются динамическим электроимпульсным воздействием. Последние особенности особенно сильно проявляются в условиях воздействия электрических импульсов большой мощности [4]. Такие воздействия типичны для современного энергетического оборудования, работа которого связана с использованием импульсных преобразователей

энергии. Пример структуры с таким преобразованием представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Типовая структура преобразователя электрической энергии от источника постоянного тока (аккумулятора) или генератора переменного тока переменной частоты с использованием импульсного ключевого преобразователя

Механическое действие электрических импульсов в условиях нагружения электропроводящего материала получило название электропластического эффекта. Такой эффект нашел применение, например, при механической обработке металлов давлением с одновременным воздействием электрических импульсов, как показано на рисунке 2.

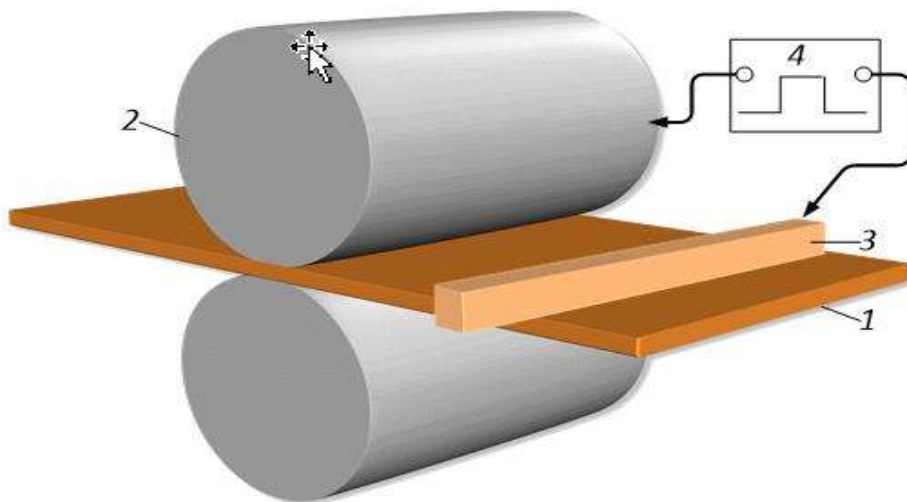


Рисунок 2 – Обработка металлической заготовки 1 давлением инструмента 2 с применением электропластического эффекта. На шину 3 и инструмент 2 поступают электрические импульсы от генератора 4

Простая технология обработки с использованием электропластического эффекта ограничивается необходимостью учета большого количества внешних влияющих факторов, определяющих результаты ее применения на практике. Некоторые из таких дополнительных факторов показаны на рисунке 3.

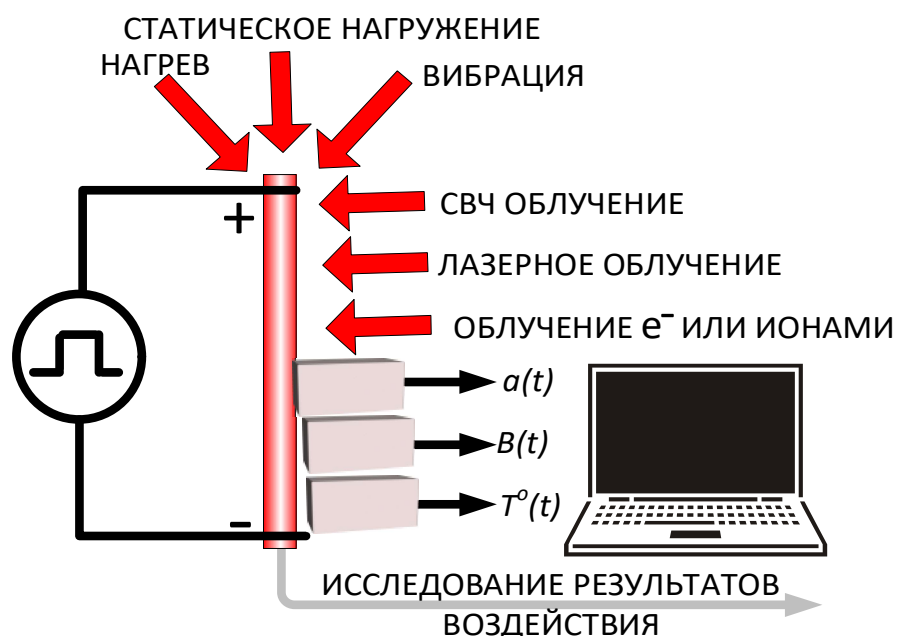


Рисунок 3 – Наличие внешних дополнительных факторов, оказывающих влияние на электропроводящую шину, используемую для передачи силовых электрических импульсов

В публикациях [2, 3, 5-7] было предложено несколько механизмов проявления электропластического эффекта, но общепризнанной теории на настоящее время нет. Сходные с электропластическим эффектом явления изменения пластических свойств материалов наблюдаются и при вибропластическом эффекте. При электроимпульсном воздействии в материале проводника наблюдаются значительные по амплитуде вибрационные колебания. Изучение таких вибрационных откликов может быть полезным при изучении механизмов электропластического эффекта и его применения для решения практических задач.

Изменение таких параметров электрического импульса как длительность и период позволяет изменять вибрационный отклик. При этом зависимость размаха вибрационных колебаний нелинейно

зависит от этих параметров. На рисунке 4 приведен пример такой зависимости от длительности электрического импульса  $T_{и}$ .

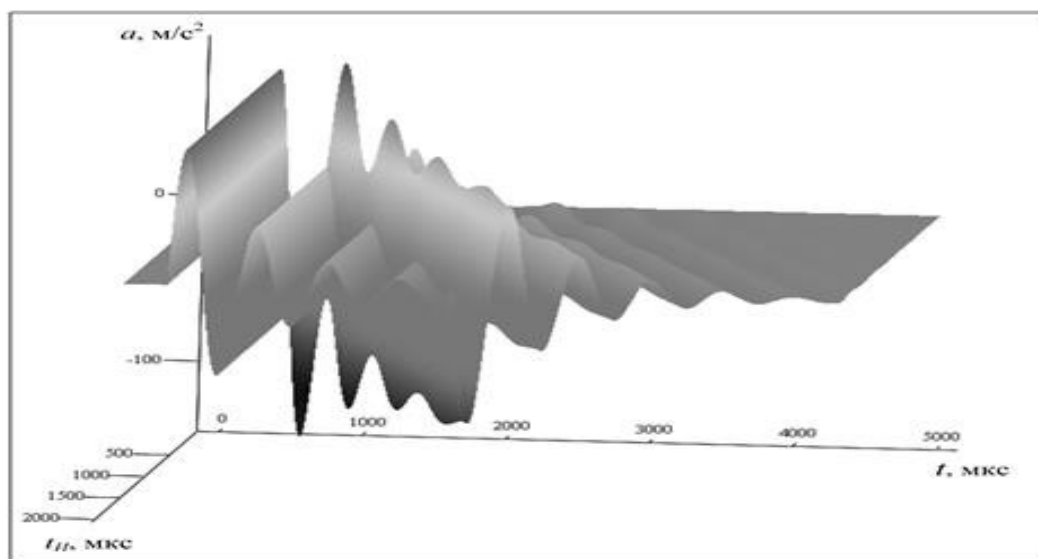


Рисунок 4 – Зависимости результата сложения вибрационных сигналов, формируемых под действием переднего и заднего фронтов импульса тока от длительности импульс

Действие электрических импульсов обеспечивает сравнительно малые деформации материала проводника, но такое воздействие может оказывать значительное влияние на зависимость процесса разрушения проводника от величины статического разрушения. Это можно. Это иллюстрируется зависимость напряжения от деформации, которая получена для испытаний проводящего образца на статической машине нагружения с дополнительным электроимпульсным воздействием, как показано на рисунке 5.

Статическое или низкочастотное деформирование проводниковых элементов оборудования в условиях электроимпульсного высокочастотного воздействия сопровождается сложными вибрационными процессами, которые влияют на усталость электропроводящих элементов. Эти эффекты необходимо учитывать при построении систем вибрационной противоаварийной защиты. Структура организации многоуровневой системы противоаварийной защиты (рисунок 6) с коррекцией уровней срабатывания по данным о наличие дефектов (из системы диагностики) и об износе (из системы прогнозирования).

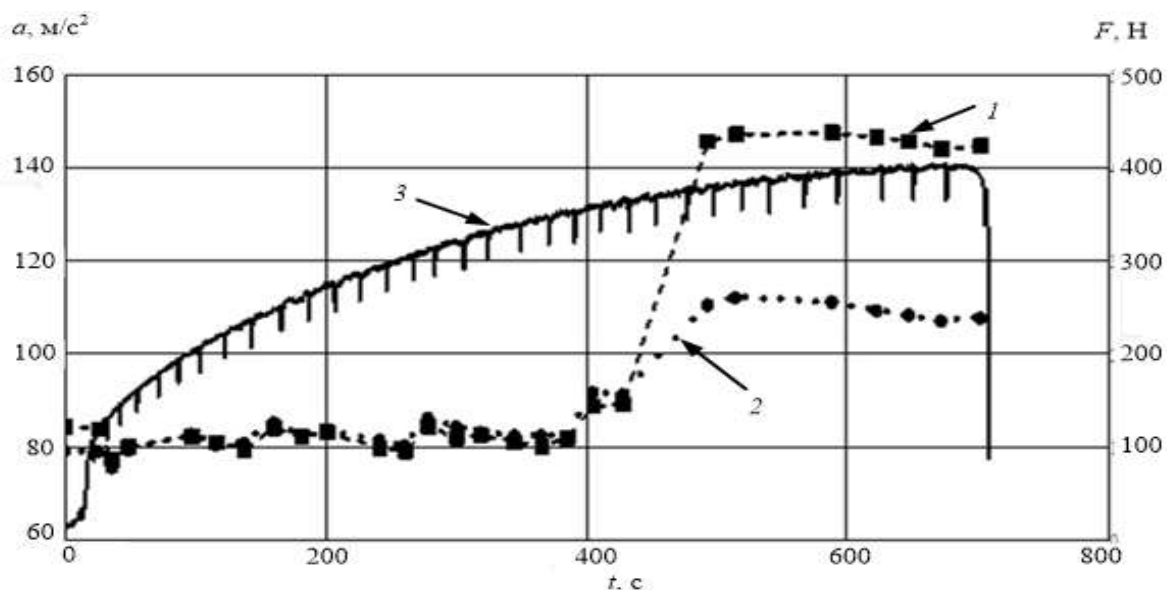


Рисунок 5 – Зависимость от деформации (времени) для максимального осевого ускорения кривая–1, перпендикулярного ускорения кривая –2, а также величины приложенной статической силы  $F$  кривая –3 (шкала справа)



Рисунок 6 – Структура системы вибрационной противоаварийной защиты электромеханического оборудования

Литература:

1. *Скворцов О.Б.* Вибрационный мониторинг и прочность конструкционных элементов с учетом инерционных свойств материалов при воздействии широкополосной вибрации // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2020. – № 6. – С. 1-17. – URL: <http://engjournal.ru/articles/1986/1986.pdf> (дата обращения 20.10.2022).

2. *Троцкий О.А., Сташенко В.И., Савенко В.С., Скворцов О.Б., Самуйлов С.Д., Правоторова Е.А., Терещук В.С.* Воздействия импульсами тока и СВЧ-изучением на конструкционные материалы. Электродинамические и электрохимические эффекты в проводниках. – М.: Издательство «Ким Л.А.», 2019. – 278 с.

3. *Троцкий О.А., Сташенко В.И., Скворцов О.Б., Савенко В.С., Самуйлов С.Д., Терещук В.С., Зайцев С.В., Иванов А.М.* Интенсивная пластическая деформация металла при токовых и СВЧ-воздействиях. Новые данные и закономерности. – М.: Издательство «Ким Л.А.», 2020. – 342 с.

4. *Сташенко В.И., Скворцов О.Б., Троцкий О.А.* Электродинамические процессы в проводниках при воздействии электрическими импульсами // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2021. – №1. – С. 39-47.

5. *Guan L., Tang G., Chu P.K.* Recent advances and challenges in electroplastic manufacturing processing of metals // Journal of Materials Research. – 2010. – Vol. 25. №. 7. – P. 1216-1224.

6. *Скворцов О.Б., Сташенко В.И., Троцкий О.А.* Влияние термического нагрева на вибрационный отклик проводников от электрического импульса / Материалы VI Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ» (27-28 мая 2021 г.). – СПб.: Университет ИТМО, 2021. – С. 76-77.

7. *Скворцов О.Б., Сташенко В.И., Троцкий О.А.* Динамические эффекты в проводниках при воздействии импульсных токов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2020. – № 1 (31). – С. 27-34.