

Унифицированные способы построения и оптимизации взаимосвязанных электромеханических систем многороторных вибрационных установок

ШЕСТАКОВ В.М., ЕПИШКИН А.Е., НАЦИН Г.В.

Обобщены концепции построения электромеханических систем многороторных вибрационных установок, определены рациональные способы модульного построения эквивалентных математических моделей взаимосвязанных систем, сформулированы принципы управления и унифицированные способы оптимизации динамики САУ. Разработанные рекомендации полезны на стадии системного проектирования и режимной настройки высокопроизводительных агрегатов рассматриваемого класса.

Ключевые слова: электропривод, вибрационные установки, концепции построения, принципы управления

Вибрационные установки (ВУ) с дебалансными роторами (ДР) нашли широкое применение в ряде отраслей промышленности (машиностроение, строительная, горная и др.). Совершенствуя их конструкции и наращивая количество ДР, можно увеличить спектр генерируемых колебаний и расширить сферу применения ВУ, в частности на испытательных стендах различного назначения. В процессе проектирования авторами были предложены кинематические структуры двух-, трёх-, четырёх- и шестироторных ВУ [2 – 5], а также разработаны управляющие электромеханические системы (ЭМС) для реализации требуемого множества режимов функционирования установок. Накопленный опыт позволяет обобщить концепции построения и оптимизации взаимосвязанных ЭМС агрегатов рассматриваемого класса.

Задачами статьи являются: разработка рациональных способов получения эквивалентных математических моделей ЭМС многороторных ВУ; определение общих принципов построения и унифицированных способов оптимизации динамики САУ установок.

Способы формирования математических моделей ЭМС ВУ. При описании динамических процессов в ЭМС ВУ используют уравнения Лагранжа 2-го рода и уравнения электродинамики, на основе которых получают соответствующие математические модели систем [1, 7]. Важным при этом является выделение типовых узлов механической (дебалансные роторы ДР, упругие валы ДР, рабочая платформа – РП) и электрической (САР скорости

The concepts of constructing the electromechanical systems of multirotor vibration installations are generalized, rational methods for developing equivalent mathematical models of interconnected systems in a modular manner are determined, and control principles and methods for optimizing the dynamics of automatic control systems are formulated. The developed recommendations can be used at the stage of system design and tuning the operating modes of the considered class of high-performance systems.

Key words: electric drive, vibration installations, construction concepts, control principles

ДР – САРС, САР положения ДР – САРП, система стабилизации колебаний РП) частей ВУ.

Для указанных узлов создают унифицированные математические модули (УММ), на основе которых komponуют необходимые эквивалентные модели ЭМС в виде динамических структурных схем (ДСС). Под эквивалентными понимаются модели, соответствующие условиям адекватности, т.е. содержащие существенные параметры и связи реальных систем.

Указанный подход модульного построения математических моделей сложных взаимосвязанных ЭМС представляется рациональным как в отношении создания подобных моделей, так и в смысле их анализа расчётно-аналитическими и компьютерными структурными методами (Matlab–Simulink и др.).

Поскольку динамика ЭМС описывается нелинейными уравнениями, то возникает проблема непосредственного применения линейных методов анализа и синтеза систем. Однако рассмотрение квазистационарных режимов работы установок позволяет с определенной степенью точности линеаризовать указанные уравнения и в первом приближении применить линейные методы (операторный анализ) для нахождения передаточных функций объектов управления и базовых параметров регулирующей части САУ. Полученные данные могут быть использованы при дальнейших исследованиях и уточнены в процессе имитационного моделирования эквивалентных нелинейных ЭМС во всей совокупности параметров и связей.

Принципы построения и способы оптимизации САУ виброустановок. Основными принципами построения взаимосвязанных ЭМС установок являются: иерархия управления локальными электроприводами (ЭП) многороторной механической системы ВУ; достаточность быстродействия многоконтурных САУ; необходимость подавления внешних и внутренних возмущений.

Первый принцип предполагает полную управляемость взаимосвязанной системы и основан на выборе одного из приводов дебалансов в качестве

ведущего, регулируемого по скорости (САРС), а других ЭП – в качестве ведомых, регулируемых по угловому положению (САРП) относительно ведущего привода. В многороторных, в частности шестироторных ВУ, организуется соподчинённое парное управление роторами ведомых ЭП.

Второй принцип определяет необходимость и достаточность быстродействия контуров САУ для обеспечения чёткого управления многороторной механической системой. Для устойчивого регулирования углового рассогласования q ДР значения

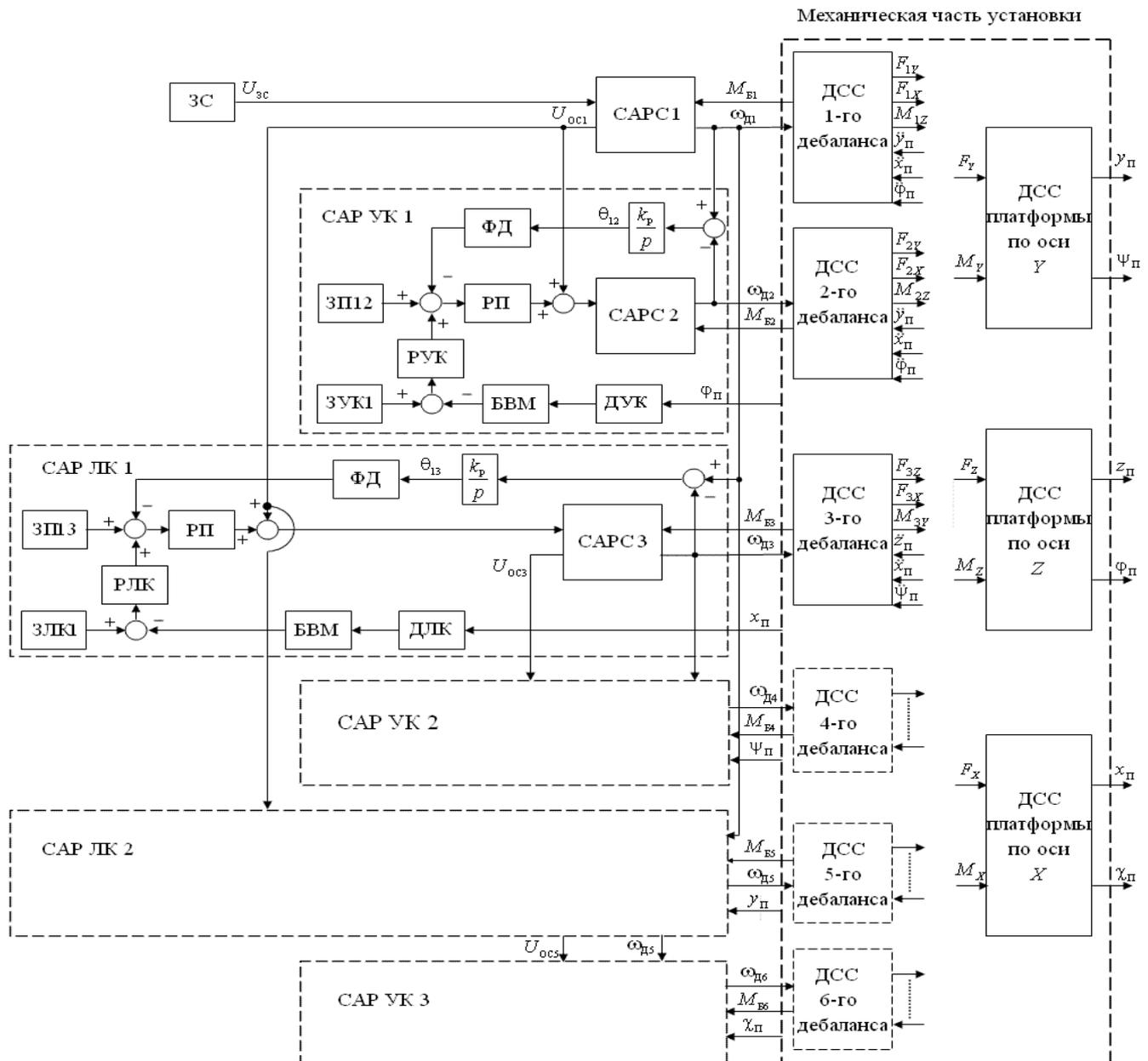


Рис. 1. Динамическая структурная схема (ДСС) системы стабилизации колебаний шестироторной вибрационной установки: ЗС – задатчик скорости роторов; ЗП – задатчики углового положения ДР; ЗЛК, ЗУК, ДЛК, ДУК – задатчики и датчики линейных и угловых колебаний платформы; БВМ – блоки выделения модуля; ФД – фазовые дискриминаторы; k_p – коэффициенты передачи редукторов локальных приводов; САУ ЛК, САУ УК – системы автоматического регулирования линейных и угловых колебаний платформы; $y_{п}, z_{п}, x_{п}$; $y_{п}, \dot{y}_{п}, c_{п}$ – линейные и угловые колебания платформы по осям Y, Z, X и относительно них

частоты среза контуров положения w_{c0} должны быть не ниже частоты свободных упругих колебаний платформы, т.е. $w_{c0} \geq w_{уп}$. Это обуславливает выбор соответствующего быстродействия подчинённых контуров регулирования.

Третий принцип определяет необходимость подавления внешних и внутренних возмущений, в частности вариации массы продукта (груза) на платформе, оборотных биений ДР, влияния упругости карданных валов приводов и др., что позволяет стабилизировать параметры колебаний платформы по заданным координатам.

При выборе структур и способов оптимизации САУ следует ориентироваться на унифицированные структуры подчинённого регулирования, хорошо зарекомендовавшие себя в различных системах ЭП (СЭП) постоянного и переменного тока. При иерархическом управлении СЭП достоинства указанных систем проявляются в наибольшей степени при относительно простых алгоритмах управления.

В соответствии с этим САРС имеют контуры скорости и тока двигателей, а САРП – контуры положения, скорости и тока. Контуры тока имеют наибольшее быстродействие и настраиваются на оптимум по модулю (ОМ) или компромиссный оптимум (КО) при частотах среза $w_{c2} = 200, 250 \text{ с}^{-1}$, контуры скорости – на симметричный (СО) или скорректированный оптимум (СКО) при частотах среза $w_{c1} = 100, 150 \text{ с}^{-1}$, что позволяет достаточно эффективно подавлять оборотные биения скорости ДР, а контуры положения – на ОМ при частотах среза $w_{c0} = 50, 60 \text{ с}^{-1}$, что чаще всего обеспечивает выполнение вышеприведённого условия $w_{c0} \geq w_{уп}$.

Для стабилизации параметров колебаний платформы вводят внешние контуры регулирования линейных и угловых колебаний платформы с регуляторами РЛК и РУК [7], воздействующими, соответственно, на ведущие и ведомые ЭП, корректируя положение рабочей точки на резонансной характеристике ВУ или угловое рассогласование роторов. Регуляторы РЛК и РУК настраивают на ОМ при частотах среза указанных контуров $w_{ск} = 25, 50 \text{ с}^{-1}$, что является достаточным для эффективной стабилизации режимов работы ВУ.

В ВУ, работающих в зарезонансной зоне, необходимо предусмотреть меры по преодолению электромеханического резонанса (эффекта Зоммерфельда) [8], а запуск ДР в установках средней и большой мощности следует выполнять методом односторонней или двусторонней раскочки роторов, для чего используют соответствующие алгоритмы управления [1]. При этом установленная мощность приводных двигателей может быть снижена в 1,5–2 раза.

Следует отметить, что наиболее рациональными являются околорезонансные режимы работы ВУ при скоростях ДР $w_{др} = (0,7, 0,9)w_{уп}$, обеспечивающие хорошую энергетичность и полную управляемость локальных ЭП, а также требуемые параметры плоскостных или пространственных колебаний платформы.

Приводными системами могут быть ЭП постоянного (для маломощных ВУ $P_H < 1 \text{ кВт}$) или переменного тока (для ВУ средней $P_H < 10 \text{ кВт}$ и большой мощности $P_H > 10 \text{ кВт}$) с вентильными или асинхронными двигателями с векторным управлением и системами подчинённого регулирования [6].

В качестве примера использования разработанной методологии рассмотрим ЭМС шестироторной ВУ, ДСС которой представлена на рис. 1 [7]. На схеме указаны УММ механической и электрической частей ВУ, на основе которых скомпонована эквивалентная взаимосвязанная модель агрегата.

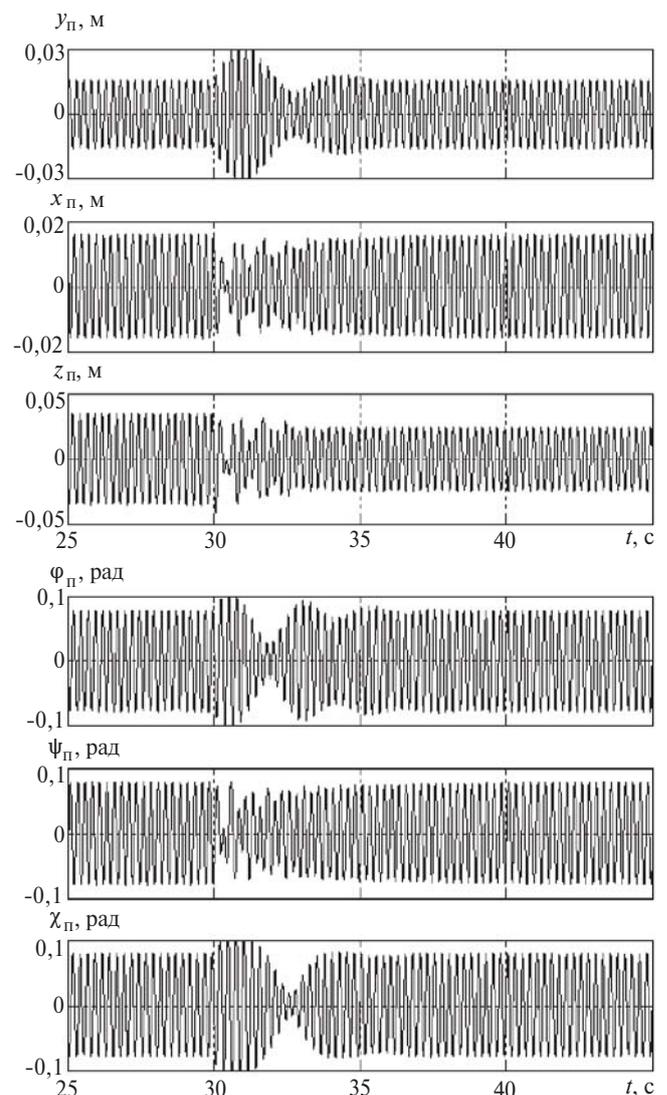


Рис. 2. Стабилизированные колебания виброплатформы при ступенчатой нагрузке

Системы САРС, САРП и стабилизации колебаний платформы с РЛК и РУК оптимизированы в соответствии с разработанными выше рекомендациями. На рис. 2 показаны колебания виброплатформы при ступенчатом нагружении массой 5 кг на 30-й секунде моделирования в среде Matlab-Simulink. Анализ результатов показывает, что при рациональном построении и выборе способов оптимизации взаимосвязанной ЭМС достигается надёжное управление по шести степеням свободы с получением стабилизированных плоскостных и пространственных колебаний платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Управление** мехатронными вибрационными установками/Под общ. ред. И.И. Блехмана, А.Л. Фрадкова. — СПб: Наука, 2001.
2. **Шестаков В.М., Алексеев Д.В., Епишкин А.Е.** Разработка и исследование управляемой электромеханической системы двухроторного вибростенда. — *Электричество*, 2006, № 7.
3. **Шестаков В.М., Епишкин А.Е.** Разработка и исследование регулируемой электромеханической системы трехроторного вибростенда. — *Электричество*, 2009, № 2.
4. **Шестаков В.М., Епишкин А.Е.** Построение взаимосвязанной электромеханической системы шестироторной вибрационной установки. — *Электричество*, 2009, № 9.
5. **Епишкин А.Е., Шестаков В.М.** Разработка и исследование взаимосвязанных электромеханических систем четырехроторных вибрационных установок. — *Электричество*, 2011, № 2.
6. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. — М.: Академия, 2006.

7. **Шестаков В.М., Епишкин А.Е., Шаряков В.А.** Динамика взаимосвязанных электромеханических систем многороторных вибрационных установок. — СПб: СПбГПУ, 2009.

8. **Епишкин А.Е., Шестаков В.М.** Способы подавления электромеханического резонанса при пуске вибрационных установок. — *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2011, № 6.

[26.04.11]

Авторы: Шестаков Вячеслав Михайлович окончил факультет электротехники и автоматизации Ленинградского электротехнического института им. В.И. Ульянова (Ленина) (ЛЭТИ) в 1962 г. Докторскую диссертацию «Исследование, разработка научных основ и способов совершенствования многодвигательных электроприводов высокопроизводительных агрегатов бумагоделательного производства» защитил в 1989 г. Заведующий кафедрой электротехники, вычислительной техники и автоматизации (ЭТ, ВТ и А) Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ–ВТУЗ).

Епишкин Александр Евгеньевич окончил Санкт-Петербургский институт машиностроения в 1998 г. Кандидатскую диссертацию «Исследование и оптимизация взаимосвязанных электромеханических систем автоматизированных вибрационных установок» защитил в 2002 г. Доцент кафедры ЭТ, ВТ и А Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ–ВТУЗ).

Нацин Георгий Вадимович окончил Санкт-Петербургский институт машиностроения в 2002 г. Аспирант кафедры ЭТ, ВТ и А Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ–ВТУЗ).

* * *

Вниманию предприятий, организаций, НИИ, вузов России и зарубежных фирм!

Журнал «Электричество» предоставляет свои страницы для

- РЕКЛАМЫ ИЗДЕЛИЙ отечественных предприятий и зарубежных фирм в области энергетики, электротехники, электроники, автоматики
- ПУБЛИКАЦИИ ОБЪЯВЛЕНИЙ о научных симпозиумах, конференциях, совещаниях, семинарах
- ДРУГОЙ ИНФОРМАЦИИ, соответствующей тематике журнала

Сообщаем, что журнал поступает к зарубежным подписчикам во многих странах мира. Напоминаем наш адрес: 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 648.

Тел./факс (7-495)362-7485