

УДК 62.752, 621:534, 629.4.015

## ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

**ЕЛИСЕЕВ Андрей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математики  
Иркутский государственный университет путей сообщения  
г. Иркутск, Россия

*Исследование направлено на разработку методологии многокритериальной оптимизации вибрационных машин, совмещающей производительность, энергоэффективность и качество виброизоляции. Анализируются противоречия между критериями, вызванные фрагментацией исследований (самосинхронизация, энергосбережение, виброзащита). Предлагаются математические модели, адаптивные системы управления и экспериментальная проверка решений для согласования требований. Цель – обеспечить комплексный подход, устраняющий изоляцию научных направлений и повышающий эффективность машин.*

**Ключевые слова:** вибрационные технологические машины, структурное математическое моделирование, вибрационная механика, синхронизация, энергоэффективность, динамическое гашение колебаний.

**К**лючевые вопросы, связанные с вибрационными технологическими и испытательными машинами, охватывают теоретические основы вибрационной механики, вопросы применения теоретических основ к решению прикладных задач, вопросы динамику взаимодействия отдельных элементов технологических машин с учетом задач оценки реакций, вопросы защиты от вибрации и вопросы практической реализации вибрационных устройств и оборудования. Теоретические основы вибрационной механики представлены работами по математическому моделированию, динамике вибрационных систем, синхронизации и резонансным явлениям. Прикладные задачи направлены на применение вибрационных технологий в различных отраслях, таких как строительство, сельское хозяйство, машиностроение. Вопросы динамики взаимодействий и реакций посвящены исследованиям ударных процессов, виброударных систем и взаимодействию вибрационных машин с материалами. Особенности защиты от вибраций включает методы снижения вибрации и шума, а также разработку виброизоляционных систем. Вопросы, связанные с вибрацион-

ными устройствами и оборудованием, касаются конструкций вибрационных машин, грохотов, дробилок и других устройств.

Основные результаты исследований по вибрационным технологическим и испытательным машинам представлены работами по вибрационной механике [2], работами, посвященными вопросам проектирования вибрационных грохотов и дробилок [3], работами, связанными с исследованиями динамики вибрационных и ударных процессов с учетом эффектов самосинхронизации [4] и работами, посвященным линейной теории вибрационной защиты и виброизоляции [1].

Среди актуальных тем следует выделить такие направления, как самосинхронизация вибровозбудителей, развитие представлений об энергосберегающих режимах работы вибрационных машин, вопросы практического применения вибрации в технологических процессах (например, виброударное упрочнение, вибротранспортирование) и защита от вибраций и шума в промышленных условиях.

В свою очередь, каждое из перечисленных актуальных направлений получило успешное независимое развитие, не учитывая особенностей развития оставшихся. Даже неиску-

шенному взгляду бросается в глаза, что в рамках методологии вибрационной механики заявлено, что линейный подход позиционируется не как база для сравнения, а как метод, исчерпавший свою предсказательную ценность и возможности получения нового значения; в свою очередь, линейный подход, получивший в своё время широкое распространение, в частности, по причине продуктивности принципа динамических аналогий, позволявшего переносить полученные знания в одной области знаний на другие. С другой стороны, нелинейные методы, достигнув успеха в более качественном описании ряда динамических эффектов, взамен получили сужение области применения разработанных математических моделей, целиком или частично утерев возможности использования полученных знаний в других областях на основе использования принципа динамических аналогий. В качестве примера можно привести методы разработки математических моделей энергоэффективных вибрационных машин. Энергоэффективность машины предполагает ряд условий, обеспечивающих резонансный режим колебания. При этом возникает вопрос о согласованности резонансных условий с условиями, обеспечивающими эффективность технологического процесса, или условий бесшумности, или требований к виброизоляции машины, или какому-либо другому критерию.

Таким образом, по отношению к актуальным направлениям развития динамики машин и теоретической механики следует отметить отсутствие междисциплинарной интеграции, фрагментация научного знания, практические трудности внедрения и замедление инноваций. Отсутствие междисциплинарной интеграции проявляется в том, что каждое направление (самосинхронизация, энергосбережение, применение вибрации, защита от вибраций) развивается независимо, что приводит к дублированию исследований и упущенным возможностям синер-

гии; фрагментация научного знания связана с тем, что исследования ведутся в узких рамках, без единой теоретической или методологической базы, что затрудняет создание комплексных решений, например, совмещение эффективного виброударного упрочнения с минимизацией шума; практические трудности внедрения, выражаются в том, что технологические процессы (вибротранспортирование, упрочнение) требуют учета виброзащиты и энергоэффективности, но из-за изолированности направлений инженеры вынуждены «собирать» решения из разрозненных данных; в конечном итоге, возможно существенное замедление инноваций по причине отсутствия обмена идеями между направлениями, приводящее к замедлению развития новых технологий, например, эффекты самосинхронизации могли бы улучшить эффекты вибрационной изоляции, но этого не происходит из-за слабой координации методологических подходов.

Ключевая проблема может быть сформулирована в том виде, что разработка вибрационных машин, сочетающих высокую производительность, энергоэффективность и другие критерии, сталкивается с противоречиями между различными требованиями.

Разрешение проблемы может заключаться в разработке метода построения математических моделей вибрационных машин, сочетающих критерии производительности, энергоэффективности, качества виброизоляции и возможности реализации режимов вибрационного гашения колебаний отдельных узлов. В свою очередь, для разработки метода могут быть поставлен ряд задач: анализ и систематизация противоречий между ключевыми требованиями; разработка математических моделей и критериев оптимизации; исследование методов снижения амплитуд колебаний в контрольных точках без потери производительности; повышение энергоэффективности вибрационных машин; экспериментальная проверка предложенных решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белокобыльский С.В., Елисеев С.В., Каиуба В.Б. Прикладные задачи структурной теории виброзащитных систем. – СПб.: Политехника, 2013. – 363 с.
2. Блехман И.И. Вибрационная механика и вибрационная реология (теория и приложения). –

М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 752 с.

3. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. – СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 2004. – 306 с.

4. Пановко Г.Я., Шохин А.Е. Динамика резонансных вибромашин с самосинхронизирующимися дебалансными вибровозбудителями. – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2020. – 168 с.

## **DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF VIBRATION MACHINES TAKING INTO ACCOUNT PERFORMANCE, ENERGY EFFICIENCY AND QUALITY OF VIBRATION INSULATION**

**ELISEEV Andrey Vladimirovich**

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor

Associate Professor of the Department of Mathematics.

Irkutsk State Transport University

Irkutsk, Russia

---

*The research is aimed at developing a methodology for multi-criteria optimization of vibration machines, combining performance, energy efficiency and vibration isolation quality. Contradictions between criteria caused by research fragmentation (self-synchronization, energy saving, vibration protection) are analyzed. It offers mathematical models, adaptive control systems and experimental verification of solutions to match requirements. The goal is to provide an integrated approach that eliminates the isolation of scientific areas and increases the efficiency of machines.*

**Keywords:** vibration process machines, structural mathematical modeling, vibration mechanics, synchronization, energy efficiency, dynamic vibration damping.

---