

УДК 62.93

Д. В. Лобанов д-р техн. наук, проф., В. С. Григорьев доц., Н. В. Мулюхин асс.,  
В. А. Гартфельдер канд. техн. наук, проф.,  
Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, Россия  
Тел.: 8(927)857-43-74; e-mail: muliukhin@mail.ru

## ОСНОВЫ МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕЗРЕЗОНАНСНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*В работе рассмотрены вопросы проектирования безрезонансных вибрационных систем. Предложены пути решения поставленных проблем применение современных программных комплексов для моделирования и проведения различных расчетов. Предложена методика автоматизированного проектирования вибрационных систем, которая рассмотрена на примере прототипа вибропогружателя для свайных элементов.*

**Ключевые слова:** моделирование, вибрация, безрезонансные вибрационные системы, автоматизированное проектирование, вибропогружатель.

D. V. Lobanov, V. S. Grigoryev, N. V. Muliukhin, V. A. Gartfelder

## BASICS OF THE METHOD OF AUTOMATED DESIGN OF NON-RESONANT VIBRATION SYSTEMS

*In this paper, the design of bezoresonated vibration systems is considered. The ways of solving the set problems are proposed. The use of modern software systems for modeling and performing various calculations. The technique of computer-aided design of vibrating systems is proposed, which is considered on the example of a prototype of a vibrator for pile elements.*

**Keywords:** simulation, vibration, resonance-free vibration systems, computer-aided design, vibrator

### 1. Введение

На сегодняшний день автоматизации сложных процессов уделяется большое внимание в различных отраслях экономики [1-3]. В технике к этим процессам относят подготовку производства, расчет и конструирование изделий с заданными технологическими параметрами, а так же управление технологическими процессами [4-8]. В основу автоматизации, как правило, заложено моделирование сложных технологических систем с учетом большого числа варьируемых показателей. Это сложный с технологической точки зрения и трудоемкий процесс, эффективность которого во многом зависит от правильно использованных теоретических и методологических основ [9-11].

Одними из сложных систем, используемых в различных отраслях промышленности, являются вибрационные системы различного направления и уровня сложности. В современном мире вибрационные системы используют в различных устройствах, машинах и агрегатах: в дорожно-строительной технике, в горной промышленности, химии, строительстве, металлургии, медицине и машиностроении и др.

Вибрационные системы, используемые в промышленности, работая, способствуют широкому распространению колебаний по площади, по характеристикам превышающих допустимые нормы. В соседних областях, попавших в вибрационное поле, возникает эффект резонанса, что отрицательно сказывается на работоспособности, долговечности объектов и здоровье работников, а в некоторых случаях приводит к авариям.

В работах [12-18] авторы освещали вопросы моделирования работы виброис-тем, выбора их рациональных характеристик, разработки конструкции, но исследова-тели не всегда уделяют должное внимание явлению резонанса и минимизации его нега-тивного влияния на другие объекты, находящиеся в зоне воздействия колебаний. Реше-нием данной проблемы является использование безрезонансных вибрационных систем. Их применение значительно минимизирует влияние негативных процессов в рабочей зоне на технику, окружающую среду и человека.

Разработка техники на основе безрезонансных вибрационных систем без приме-нения рекомендаций и методик по автоматизированному проектированию процесс дос-таточно длительный, трудоемкий и затратный. Это приводит к удорожанию устройств, механизмов и агрегатов, что в свою очередь сказывается на конкурентоспособности продукции.

Поэтому на сегодняшний день актуальными вопросами являются не только мо-делирование и автоматизация проектирования, конструирования и выбора рациональ-ных параметров безрезонансных вибрационных систем, но и создание эффективных методик применения современных вычислительных комплексов для реализации этих процессов. Их применение позволит избежать ошибок при проектировании, снизить трудоемкость, себестоимость работ, время принятия проектных решений и увеличить эффективность работы инженера и точность расчетов [19,20].

### 1. Основное содержание и результаты работы

В качестве примера реализации системного и методологического подхода в про-ектировании безрезонансных вибрационных систем рассмотрим моделирование вибро-погружателя, который используется в строительстве, для укрепления фундаментов для погружения свайных элементов в песчаные или глинистые грунты.

Для моделирования конструкции необходимо знать технические характери-стики создаваемого устройства. В качестве таковых выбраны сила погружения (извлече-ния) погружаемого элемента, амплитуда колебаний и другие технические характери-стики аналогичных систем. Далее на основе исходных данных выбираются входные параметры модели: частота вращения вала и масса дисбалансов.

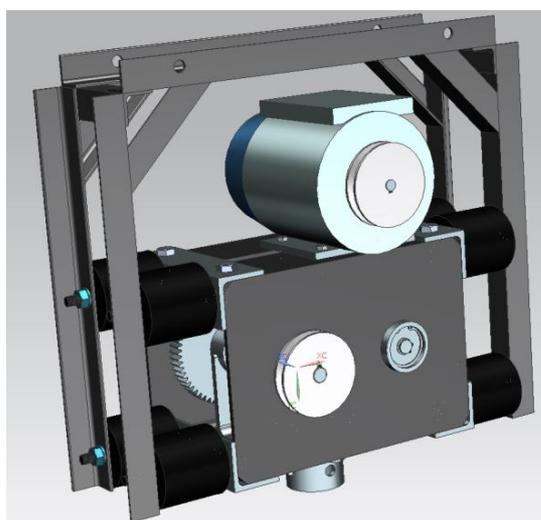


Рисунок 1. 3D модель макета вибропогружателя

Создание и функционирование модели вибрационной системы основывается на главных законах динамики и теории колебаний систем. Первоначально зная нагрузку на валы механизма, подбираются подшипники скольжения, удовлетворяющие требованиям и условиям работы. Далее с использованием графического CAD редактора NX 11 строим 3D модель устройства (рис. 1).

На основе 3D модели определяются массово-центровочные данные макета вибропогружателя. Далее опираясь на имеющиеся данные, строим динамическую модель в программной среде Euler 10.11 Pro (рис. 2).

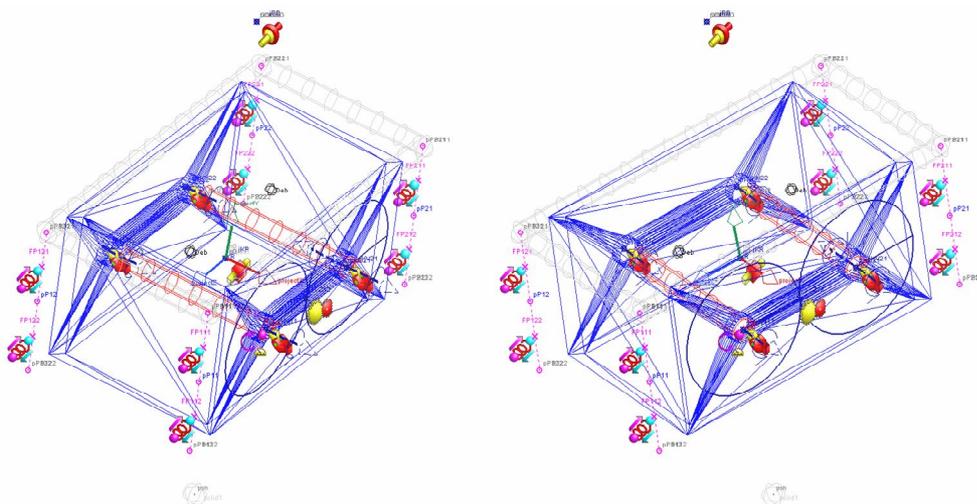
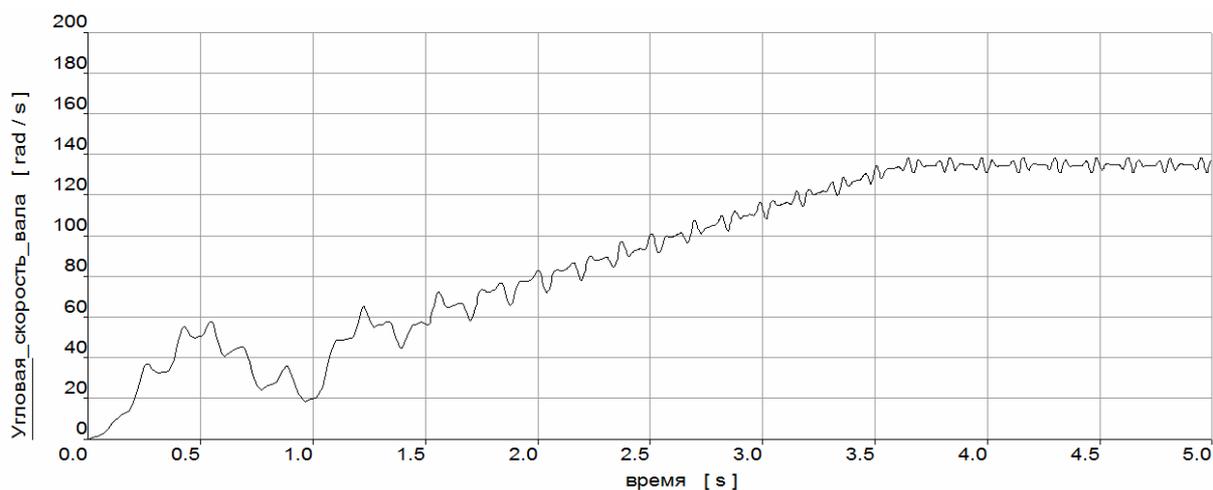
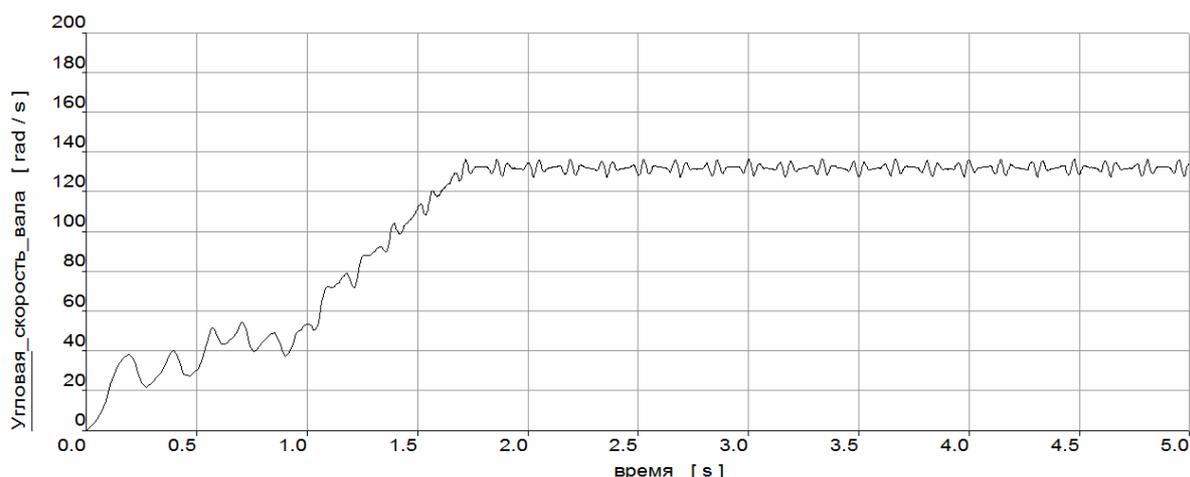


Рисунок 2. Динамическая модель макета вибропогружателя

Заложив в динамическую модель необходимые входные параметры и массово-центровочные характеристики, имеем возможность, изменяя свободные параметры, получить заданные скорости, ускорения, усилия и т.д. деталей устройства. В качестве примера на рис. 3 показаны зависимость угловой скорости ведущего вала от времени работы разных масс дисбалансов.



a)



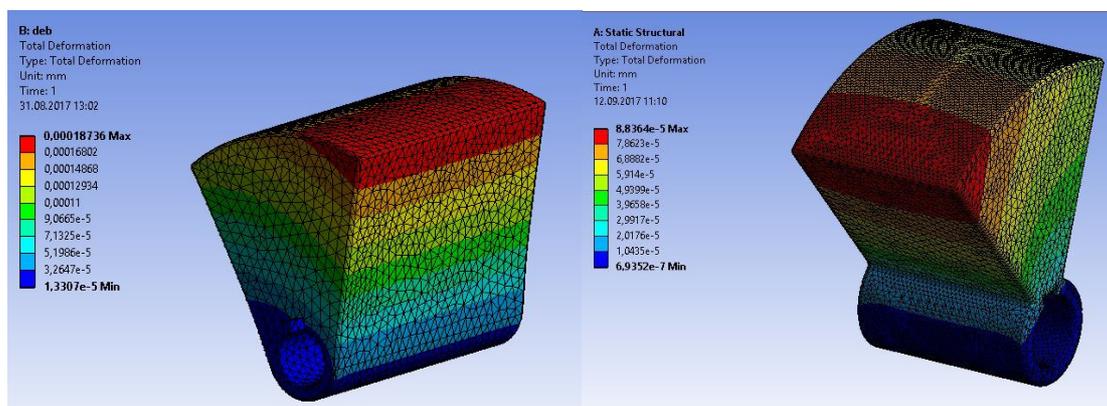
б)

Рисунок 3. Графики зависимости разгона ведущего вала прототипа вибропогрузателя при разных крутящих моментах: а) 1Н·м; б) 3Н·м;

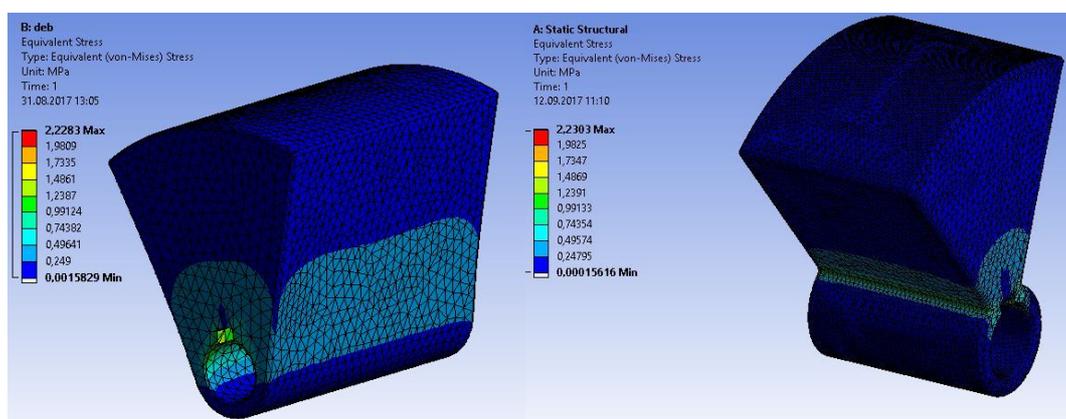
Выбрав оптимальные характеристики проектируемого устройства, основываясь на полученных результатов из динамической модели, например, ускорение корпуса, усилие пружины в программном комплексе AnsysR18 определяем конструктивные особенности и работоспособность деталей макета вибропогрузателя. В качестве примера на рис. 4 приведены результаты расчета на прочность разных конструктивных решений дебаланса вибропогрузателя.

## 2. Заключение

Применение предлагаемой методики автоматизированного проектирования и моделирования дает возможность снизить трудоемкость создания безрезонансных вибрационных систем с варьированием входных параметров и конструктивных решений, снизить ошибку проектных расчетов, оптимизировать работу инженера, существенно упростить процесс создания новых систем и модернизирования ранее существующих конструкций с учетом результатов расчета полученных при моделировании.



а)



б)

Рисунок 4. Расчетные модели конструктивных решений дисбаланса в программном комплексе Ansys R 18: а) деформаций; б) эквивалентных напряжений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов, Д. В. Автоматизированная система создания баз данных и многокритериального сравнительного анализа конструкций сборного фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов /Д. В. Лобанов, А. С. Янюшкин, Д. А. Рычков // САПР и графика. – 2011. – № 3 (173). – С. 71-73.
2. Борисов, М. А. Разработка конструкции и алгоритма функционирования программируемого устройства для автоматического управления процессом выборочной доставки жидкости /М. А. Борисов, В. С. Григорьев, В. А. Мишин // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы II-ой международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 243-246.
3. Деформации в технологической системе при шлифовании / П. М. Салов, В. Н. Цай, С. С. Сайкин, Д. А. Юрпалов, Т. Г. Виноградова, Н. В. Мулюхин, Е. А. Андреева, Е. В. Антонова, Д. П. Салова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 3. – С. 44-46.
4. Расчет деформаций при шлифовании чашечными кругами / П. М. Салов, Т. Г. Виноградова, С. С. Сайкин, Н. В. Мулюхин, Р. В. Журавлев, А. В. Лукьянова, М. Е. Назаров // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы II-ой международной науч.-практ. конференции. – 2016. – С. 265-268.
5. Рычков, Д. А. Критериальная оценка конструкции режущего инструмента на примере сборной фрезы для обработки композиционных материалов /Д. А. Рычков, А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов // .Главный механик. – 2011. – № 5. – С. 48-54.
6. Лобанов, Д. В. Анализ конструктивных решений фрезерного сборного инструмента для обработки композиционных материалов / Д. В. Лобанов, А. С. Янюшкин / Технология машиностроения. – 2011 – № 5. – С. 20-25.
7. Объемно-напряженное состояние частицы порошка при центробежном формировании с вертикальным положением матрицы / Н. П. Петров, А. С. Янюшкин, В. С. Григорьев, Ю. Г. Мразов // Механики XXI в. – 2012. – № 11. – С. 212-216.
8. Упруго-механическая модель круга при внутреннем шлифовании с продольной подачей / П. М. Салов, Т. Г. Виноградова, В. Н. Цай, В. С. Григорьев, С. А. Андреев, Т. Н. Викторова // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы II-ой международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 261-264.
9. Варякин, В. А. Применение элементов smed при технологическом

обеспечении производства в ОАО «НПК "ЭЛАРА"» / В. А. Варякин, Н. А. Иванова, В. А. Гартфельдер / Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы II-ой Республиканской научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; ФГБОУ ВПО "Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова". – 2016. – С. 146-150.

10. Применение fmea-технологии для определения и исправления дефектов отливок в машиностроении / В. А. Гартфельдер, И. Е. Илларионов, О. В. Китова, Л. С. Секлетина, И. А. Стрельников // Литейщик России. – 2017. – № 6. – С. 18-22.

11. Исследование регенеративных колебаний при токарной обработке нежестких валов / В. М. Свинин, Е. А. Пешкова, Д. В. Лобанов, В. Ю. Скиба // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – №3(31). – С. 47-52.

12. Влияние вибраций на приработку шлифовального круга / В. Н. Цай [и др.] // Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии: материалы II-ой Республиканской научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; ФГБОУ ВПО "Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова". – 2016. – С. 132-135.

13. Томчина, О. П. Влияние эксцентриситетов роторов на вибрационное поле виброустановок для транспортирования сыпучих строительных материалов / О. П. Томчина, Д. В. Горлатов // Архитектура – Строительство – Транспорт: материалы 71-й научной конференции профессоров, преподавателей научных работников, инженеров и аспирантов университета. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – 2015. – С. 215-218.

14. Методика уравнивания роторов технологических машин / Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова, В. Ю. Скиба, Д. В. Лобанов, А. А. Жирова, А. Н. Бредихина, А. С. Косилов, Н. С. Печоркина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – №2(71). – С. 41-50.

15. Томчина О. П. Комплекс моделей многороторных вибрационных установок: от модели к эксперименту / О. П. Томчина, Д. В. Горлатов, Ф. А. Белов // Информатика и системы управления. – 2017. – №2(52). – С. 25-36.

16. Томчин, Д. А. Управление прохождением через область резонанса при пуске двухроторных вибрационных установок / Д. А. Томчин, А. Л. Фрадков // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2007. – № 4. – С. 91.

17. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. / под ред. Э. Э. Лавендела. – 1981. – Т.4. – 509 с.

18. Григорьев, В. С. Использование компьютерного моделирования в преподавании теоретической механики на машиностроительном факультете ЧГУ / С. С. Григорьев, В. А. Гусев, Н. П. Петров / Механика: современное состояние, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 95-летию первого ректора Чувашского госуниверситета Семёна Фёдоровича Сайкина. – 2009. – С. 52-56.

19. Мулюхин, Н. В. Проверка адекватности модели по расчету температуры при шлифовании / Н. В. Мулюхин, П. М. Салов, В. С. Григорьев // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы II-ой международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 277-280.

Поступила в редколлегию 31.01.18 г.