

М 490173

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени
государственный технический университет им.Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Скворцов Анатолий Иванович

УДК 621.01

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ
РЕЗОНАНСНЫХ АСИММЕТРИЧНЫХ ВИБРОПЛОЩАДОК

05.02.18 - Теория механизмов и машин

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1989

Работа выполнена на кафедре "Теория механизмов" в московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Крюков Б.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Светлицкий В.А.
кандидат технических наук,
доцент Бекасов А.А.

Ведущая организация: НИИЖБ

Защита диссертации состоится "25" декабря 1989 г.
в 18 часов на заседании специализированного совета К 053.15.11.
Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени государственного технического универ-
ситета им. Н.Э.Баумана .5.

Отзывы на ре-
вой печатью орг

С диссерт-
им. Н.Э.Баумана.

Авторефера

Ученый с
специализирова
к.т.н

М 480 173

Актуальность темы. Совершенствование каждой конкретной машины, механизма, технологического процесса и т.д. может быть осуществлено как за счет применения более эффективных технических решений (принципиально новых расчетных схем), так и путем улучшения характеристик ранее принятого образца (в рамках прежней расчетной схемы). В обоих случаях стремление к наиболее полному использованию возможностей данного технического решения связано с решением задачи выбора оптимальных параметров проектируемой системы. Поиск такого решения традиционно основывается на создании частных методик параметрического синтеза, которые, как правило, не приводят к оптимальным решениям.

В последние годы начало интенсивно развиваться научное направление, связанное с многокритериальной оптимизацией технических систем, позволяющее создать общие эффективные подходы параметрического синтеза машин и технологических процессов и полностью отказаться от разработки частных методик.

При проектировании машины проектировщику приходится учитывать целый комплекс самых разнообразных требований, которыми и определяется многообразие формулируемых качественных показателей. Если при этом имеется возможность установить их функциональную зависимость от независимых параметров системы (масса, жесткости, моменты инерции и т.п.), то варьируя этими параметрами, можно уже на стадии проектирования выделять и рассматривать в дальнейшем только те модели, которые обладают потенциально наилучшими значениями показателей качества. Это позволит значительно усовершенствовать сам процесс проектирования, а также перейти к изготовлению оптимизированных технических изделий. Реализация такого подхода связана с решением задачи многокритериальной оптимизации, основанной на применении математических методов поиска экстремума функционалов, сформированных на базе формализованного представления требований, предъявляемых к технической системе. Следует отметить, что в виду противоречивости последних (что чаще всего встречается на практике), противоречивыми оказываются и критерии оценки качества. В этих условиях в результате проведения оптимизационного поиска приходится рассматривать не одну оптимальную модель (как в случае непротиво-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1490173

Скворцов А.И. Многокритерия

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

чивости критериев), а множество моделей, каждая из которых не улучшаема одновременно по всем критериям, и в этом состоит сама идеология многокритериальной оптимизации. Выбор конкретной оптимальной модели в этом случае должен производиться с учетом важности каждого критерия, которая зависит с одной стороны от технико-экономических условий производства, с другой — от физических возможностей проектируемого объекта. Первая группа условий подвержена изменениям во времени, а потому для каждой точки полученного множества существует принципиальная возможность быть выбранной в качестве оптимальной, что дает основания считать это множество множеством потенциально оптимальных моделей. В то же время (при фиксированных условиях первой группы), располагая информацией о множестве потенциально оптимальных моделей, проектировщик получает возможность оценить потенциальные возможности проектируемой системы, с необходимой точностью определить какой ценой может быть достигнуто улучшение каждого качественного показателя и на этом основании сделать аргументированный выбор оптимальной модели.

Таким образом нахождение множества потенциально оптимальных моделей является одной из важнейших составных частей процесса проектирования, позволяющей уже на ранней стадии разработки технической системы ориентироваться на оптимальные значения показателей ее качества. В этой связи особый научный и практический интерес представляет разработка надежных и эффективных методов многокритериальной оптимизации. Широкое применение вычислительной техники и методов нелинейного программирования является одним из наиболее перспективных в этом отношении направлений решения данной проблемы. Разработка одного из таких подходов является целью данной работы.

Целью работы является разработка подхода, направленного на совершенствование процесса проектирования машин и механизмов за счет проведения на этом этапе многокритериальной параметрической оптимизации.

Научная новизна. Разработан метод многокритериальной параметрической оптимизации, основанный на зондировании лучами достижимого множества в пространстве критериев и на конкретном примере показаны особенности его практического использования для параметрического синтеза машин.

Практическая ценность работы. Создан универсальный пакет

программ, реализующий практическое нахождение точек паретовского множества путем зондирования лучами пространства критериев. Решена задача построения паретовского множества для резонансной виброплощадки. Полученные результаты позволяют оценить потенциальные возможности существующей модели виброплощадки, определить пути улучшения ее качественных показателей и выработать конкретные рекомендации по выбору оптимальных параметров.

Реализация результатов работы. Результаты проведенных исследований, разработанная методика параметрического синтеза машин и созданное программное обеспечение внедрены в практику проектирования:

- в научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте бетона и железобетона (НИИЖБ);
- в Днепропетровском горном институте им. Артема.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на научном семинаре Центра по вибрационным и ультразвуковым воздействиям при МИСиС (июнь 1986 г.), на научных семинарах каф. "Теория механизмов и машин" МВТУ им. Н.Э.Баумана (1983, 1984, 1985, 1986 гг.), на Всесоюзной конференции по вибрационной технике (Кобулет, 1987 г.), на научном семинаре в НИИЖБ (1989 г.).

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов, списка литературы и двух приложений. Работа изложена на 141 страницах, включая 13 рисунков и 24 таблицы. Библиография содержит 97 наименований. Приложения занимают 41 страницу.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, определяется цель работы, дается краткое описание основных результатов.

В первой главе дается описание и характеристика наиболее распространенных методов многокритериальной оптимизации, приводятся примеры их практического применения в проектировании машин, механизмов и технологических процессов.

В основе многих методов многокритериальной оптимизации лежит сведение исходной многокритериальной задачи к однокритериальной. До недавнего времени эта процедура часто сводилась к вы-

делением из всего множества сформулированных критериев одного, по мнению проектировщика наиболее важного, который и подвергался оптимизации. При этом остальные критерии переводились в разряд функциональных ограничений. Ограниченность подобного подхода очевидна, поскольку такая трансформация исходной многокритериальной задачи в значительной мере сужает область оптимизационного поиска. По этой причине чрезвычайно узкой оказывается и область применения основанных на ней оптимизационных методов.

Необходимость оптимизации всех сформулированных качественных показателей обусловила создание подходов также связанных с формированием единого критерия, но на основе использования различного рода функций полезности, куда критерии входят с коэффициентами, учитывающими их относительную важность (весовыми коэффициентами). Благодаря работам И.И.Артоболевского, Р.Габасова, Ю.Б.Гермейера, В.В.Подinovского, М.С.Салуквадзе и др., основанные на этом принципе методы (методы векторной оптимизации, метод идеальной точки и др.) получили широкое распространение в теории и практике многокритериальной оптимизации.

Такая методика решения многокритериальной задачи оптимизации в ряде случаев оказывается весьма эффективной. Однако необходимость ранжирования критериев и связанная с ним проблема априорного выбора, весовых коэффициентов часто являются существенным препятствием для исследования потенциальных возможностей проектируемой системы, а значит и для обоснованного выбора оптимальных параметров. При этом проектировщику остается неизвестным какой ценой может быть достигнуто улучшение каждого качественного показателя.

Такого рода затруднения исключены в методах оптимизации по последовательно применяемым критериям, подробно описанных в работах Д.И.Бабищева, В.М.Гаврилова, В.В.Подinovского. Однако сложность практической реализации при большой размерности (больше трех) пространства критериев значительно ограничивает область их применения.

Наиболее эффективным методом решения многокритериальной задачи оптимизации в настоящее время является разработанный в Институте Машиноведения АН СССР им. А.А.Благонравова метод ЛП - поиска. В последних работах Р.Б.Статникова этот метод был значительно усовершенствован и получил широкое распространение в теории и практике оптимизации. Метод ЛП-поиска основан на поэтап-

ном исследовании пространства параметров с помощью точек разработанной И.М.Соболев ЛП –последовательности (наиболее равномерной из известных в настоящее время) и предоставляет широкие возможности для реализации диалогового режима работы. На первом этапе из множества допустимых (удовлетворяющих ограничениям) точек выделяются эффективные. Все последующие расчеты связаны с поиском лучших решений в окрестностях находимых на предыдущих этапах эффективных точек. Очевидно, что с каждым последующим этапом последние приближаются к паретовскому множеству и в пределе должны с ним слиться. Однако на практике, когда число этапов и количество используемых пробных точек ЛП_ε-последовательности ограничено, приходится ориентироваться на так называемые квазипаретовские точки (несколько удаленные от паретовского множества), которые располагаются в пространстве критериев, как правило, неравномерно, что затрудняет определение конфигурации паретовского множества и его анализ.

С помощью методов многокритериальной оптимизации решены задачи оптимального параметрического синтеза для целого ряда сложных технических систем и технологических процессов. В число последних входят виброконвейер, волновые и планетарные редукторы, вибронасосы, технологический процесс очистки газов от CO_2 и др.

Вторая глава посвящена разработке метода многокритериальной оптимизации, основанного на зондировании лучами пространства критериев.

При параметрическом синтезе машин проектировщику приходится учитывать целый комплекс самых разнообразных и противоречивых требований. В этих условиях стремление к их наилучшему удовлетворению заставляет прибегать к использованию понятия оптимальности по Парето, смысл которого можно пояснить следующим образом. Предположим, что для некоторого объекта оптимизации определен ряд независимых параметров $x_1, x_2, \dots, x_n$, сформулированы критерии оценки качества $\Phi_1(\bar{x}), \Phi_2(\bar{x}), \dots, \Phi_m(\bar{x})$, где $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. При этом наложены ограничения как на величины независимых параметров и некоторые функции от них, так и на значения критериев. Обычно их называют соответственно параметрическими, функциональными и критериальными ограничениями. Классификация эта достаточно условна, поскольку критериальные ограничения по сути являются функциональными. Предположим также,

что все критерии сформулированы таким образом, что все их значения положительны и улучшение качества объекта связано с их уменьшением (очевидно, что эти условия всегда могут быть выполнены). Назовем n -мерное евклидово пространство E^n , каждой точке которого соответствует вектор $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - пространством параметров, а E^m , каждая точка которого определена вектором $\bar{\Phi} = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m\}$ - пространством критериев. Для простоты и наглядности последующих рассуждений рассмотрим случай, когда $n = m = 2$.

Сформулированные ограничения выделяют в пространстве параметров (рис. 1а) и пространстве критериев (рис. 1б) соответственно области G^* и G , в которых каждая точка представляет одну из возможных реализаций оптимизируемого объекта. Назовем G^* допустимой областью пространства параметров, а G - областью достижимых значений в пространстве критериев. Будем полагать, что область G определяется однозначным и непрерывным отображением области G^* в пространстве критериев, а это значит, что односвязной области G^* соответствует также односвязная область G . Такое допущение правомерно для широкого круга реальных физических объектов при условии, что критерии должны быть непрерывными функциями параметров системы и каждому конкретному набору параметров (точке $x \in G^*$) однозначно соответствуют определенные значения критериев (точка $\Phi \in G$). Будем также предполагать, что множество G^* и, следовательно множество G - замкнуты.

Проведем в пространстве критериев (рис. 1б) из начала координат через область G произвольно ориентированный луч L . Очевидно, что в каждой последующей его точке, расположенной ближе к началу координат, значения всех критериев меньше, чем в предыдущих. При этом наименьшие значения критерии имеют в точке M , находящейся на ближней к началу координат границе области достижимых значений G . Поскольку луч L проведен произвольно, то все сказанное справедливо и для любого другого луча, проведенного через область G из начала координат. Очевидно, что геометрическим местом полученных таким образом точек является ближняя к началу координат граница области достижимых значений в пространстве критериев G (на рисунке 1б она выделена более жирной линией и обозначена буквой P). Точки, принадлежащие границе P , называют паретовскими, а множество паретовских точек - паретовским множеством.

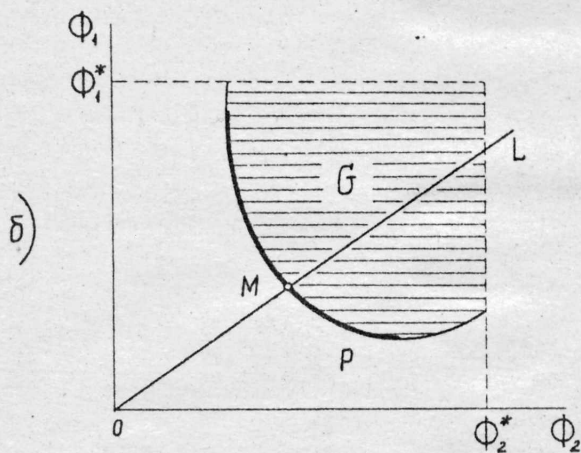
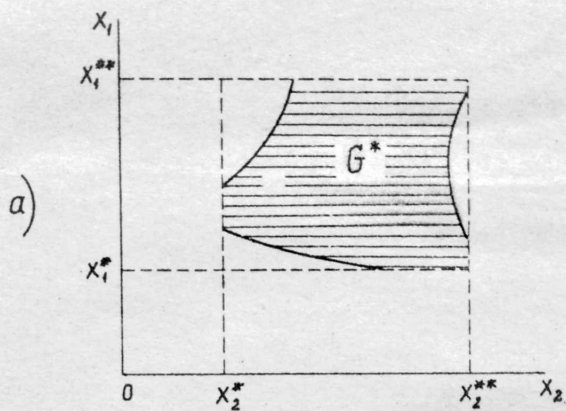


Рис. I

Очевидно, что паретовскому множеству принадлежат все потенциально лучшие (в указанном смысле) модели проектируемого объекта и выбор оптимальной модели может быть осуществлен только в его пределах.

Задача сводится к нахождению ближайшей к началу координат точки, одновременно принадлежащей и лучу L и области G . Поворачивая луч и каждый раз находя на нем паретовскую точку (зондируя пространство критериев), можно в конечном итоге с необходимой точностью построить паретовское множество. В m -мерном пространстве критериев каждой точке соответствует вектор $\bar{\Phi} = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m\}$, который может быть представлен как векторная сумма критериев

$$\bar{\Phi}_z = \bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2 + \dots + \bar{\Phi}_m. \quad (I)$$

Необходимо отметить, что все векторы $\bar{\Phi}_i$ при этом взаимно ортогональны. Для каждой из находящихся на одном и том же луче точек вектор $\bar{\Phi}_z$ отличается от других только значением модуля. Таким образом, задача нахождения паретовской точки на фиксированном луче может быть сведена к нахождению минимальной величины модуля вектора $\bar{\Phi}_z$ (при удовлетворении, естественно, всем сформулированным ограничениям: параметрическим, функциональным и критериальным). Модуль $\bar{\Phi}_z$ можно выразить соотношением:

$$\Phi_z = \Phi_k / \cos \gamma_k \quad (k=1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

где γ_k - угол наклона $\bar{\Phi}_z$ к оси, по которой откладываются значения критерия Φ_k . При этом должны выполняться соотношения

$$\frac{\Phi_k}{\cos \gamma_k} = \frac{\Phi_i}{\cos \gamma_i} \quad (i, k \in (1, 2, \dots, m)). \quad (3)$$

Нужно отметить, что фиксация зондирующего луча сводит исходную многокритериальную задачу оптимизации к однокритериальной. Таким образом, построение паретовского множества связано с многократным решением однокритериальных задач.

Нетрудно заметить, что (с точки зрения реализации данной методики на ЭВМ) рассматриваемая задача является типичной задачей нелинейного программирования и может быть сформулирована следующим образом: найти минимум целевой функции $\Phi(\bar{x})$, где $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, удовлетворив при этом ограничениям:

1) ограничениям-равенствам $h_i(\bar{x}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, \ell;$

2) ограничениям-неравенствам $g_j(\bar{x}) \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, r.$

Очевидно, что все сформулированные в оптимизационной задаче ограничения могут быть только равенствами и неравенствами. Целевой функцией здесь является модуль вектора Φ_x .

Практическое решение задачи нелинейного программирования на ЭВМ основано на применении модифицированной для этой цели программы FLEXIMPLEX, в которой для реализации поиска минимума целевой функции применяется метод Нелдера и Мида (метод деформируемого многогранника). Этот метод достаточно прост и удобен в эксплуатации, поскольку не предполагает вычисления производных целевой функции и ограничений. Кроме того он обладает меньшей (из известных процедур) чувствительностью к локальным экстремумам. На этой базе был создан универсальный программный модуль, реализующий поиск паретовских точек по методу зондирования лучами пространства критериев, к которому несложным образом может быть присоединена программа, описывающая конкретную оптимизируемую систему.

Третья глава посвящена многокритериальной параметрической оптимизации резонансной асимметричной виброплощадки, применяемой для формирования из железобетона элементов строительных конструкций. Поиски оптимальных параметров данной машины уже проводились ранее с помощью других методов многокритериальной оптимизации (например методом ДП-поиска). Поэтому представлялось интересным сравнить их результаты с вновь полученными и тем самым оценить эффективность нового подхода. Сложность проектирования данной машины обусловлена тем, что она является существенно нелинейной системой, работающей в резонансном режиме в условиях изменяющейся технологической нагрузки. При этом необходимо обеспечить высокую стабильность ее рабочих характеристик, уменьшить металлоемкость конструкции без значительного ущерба для прочностных показателей, по возможности снизить динамическую нагрузку на привод и на фундамент. Увеличение степени асимметрии цикла колебаний рабочего органа позволит улучшить качество ударно-вибрационного уплотнения бетонной смеси.

На рисунке 2 изображена расчетная схема виброплощадки ВРА-8 в варианте ее исполнения с двойным опиранием, где m_T - масса технологической нагрузки, m_0 - масса рабочего органа, m_2 - масса уравновешивающей рамы, k_1 - жесткость основных упругих связей, k_2 - жесткость подрамных амортизаторов, k_3 - жесткость амортизаторов под рабочим органом, k_0 - жесткость приводных

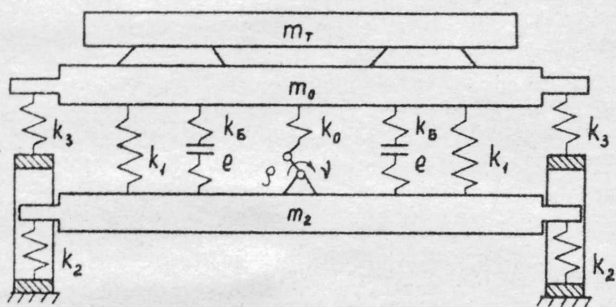


Рис.2

упругих связей, k_B - жесткость буферов, ρ - эксцентрисистет привода, e - зазор в буферах, ν - рабочая частота. Колебания виброплощадки описываются следующей системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + f(y) \dot{y}_1 + \mu k_B \dot{y}_1 + P(y) + k_3 y_1 &= k_0 \rho (\cos \nu t - \mu \nu \sin \nu t), \\ m_2 \ddot{y}_2 - f(y) \dot{y}_2 + \mu k_2 \dot{y}_2 - P(y) + k_2 y_2 &= -k_0 \rho (\cos \nu t - \mu \nu \sin \nu t), \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $m_1 = m_0 + \chi m_T$ - масса рабочего органа с технологической нагрузкой, χ - коэффициент присоединения массы технологической нагрузки, μ - коэффициент внутренних сопротивлений в резиновых упругих связях и $y = y_1 - y_2$. При этом характеристика основных упругих связей полагается билинейной:

$$P(y) = \begin{cases} (k_0 + k_1) y & \text{при } y \geq -e, \\ (k_0 + k_1 + k_B) y + k_B e & \text{при } y < -e, \end{cases}$$

$$f(y) = \begin{cases} \mu(k_0 + k_1) & \text{при } y \geq -e, \\ \mu(k_0 + k_1 + k_B) & \text{при } y < -e. \end{cases}$$

Для описания поведения системы удобно использовать улучшенное первое приближение резонансного решения (4), построенного на основе метода усреднения. Полученные при этом соотношения были использованы при формулировании критериев качества и ограничений в задаче оптимизации.

В качестве варьируемых были приняты следующие десять параметров системы:

$$x_1 = k_1 \left(\frac{\kappa H}{\text{мм}} \right), x_2 = k_2 \left(\frac{\kappa H}{\text{мм}} \right), x_3 = k_3 \left(\frac{\kappa H}{\text{мм}} \right), x_4 = k_0 \left(\frac{\kappa H}{\text{мм}} \right),$$

$$x_5 = k_B \left(\frac{\kappa H}{\text{мм}} \right), x_6 = \rho \text{ (мм)}, x_7 = m_0 \text{ (т)}, x_8 = m_2 \text{ (т)}, x_9 = e_H \text{ (мм)} - \text{начальный статический зазор в буферах}, x_{10} = \nu \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Качество виброплощадки оценивалось по следующим шести критериям:

$$1) \Phi_1 = m_0 + m_2 - \text{металлоемкость конструкции};$$

$$2) \Phi_2 = \max(\ddot{y}_{1B}/\ddot{y}_{1H}) - \text{асимметрия цикла колебаний, где } \ddot{y}_{1B} \text{ и } \ddot{y}_{1H} - \text{соответственно верхнее и нижнее ускорения рабочего органа};$$

$$3) \Phi_3 = \max k_0 a_0 - \text{амплитудное значение динамических усилий в приводе, где } a_0 - \text{амплитуда деформации приводных упругих связей};$$

4) $\Phi_4 = \max \|k_2 a_2 - k_3 a_1\|$ - амплитудное значение динамической нагрузки на фундамент, где a_1 и a_2 амплитуды колебаний соответственно рабочего органа и уравнивающей рамы.

$$5) \Phi_5 = \frac{\max \ddot{y}_{1B}}{\min \ddot{y}_{1B}} - 1, \quad 6) \Phi_6 = \frac{\max \ddot{y}_{1H}}{\min \ddot{y}_{1H}} - 1$$

показатели стабильности соответственно верхнего и нижнего ускорений рабочего органа.

При формулировании 2+6-го критериев учитывалось изменение массы технологической нагрузки m_T (для данной виброплощадки диапазон ее изменения практически не превышает 8т). В расчетах фиксировались значения $m_T = 2, 4, 6, 8$ т. Поэтому символы $\max$ и $\min$ в приведенных выражениях означают, что имеется в виду соответственно наибольшие и наименьшие значения соотношений, полученных при этих расчетах.

В результате анализа математической модели виброплощадки, изучения предъявляемых к ней требований и опубликованных данных, были сформулированы ограничения для рассматриваемой оптимизационной задачи.

Параметрические ограничения:

$$3 \leq x_1 \leq 15, \quad 2 \leq x_4 \leq 10, \quad 3 \leq x_7 \leq 7, \quad 50 \leq x_{10} \leq 100.$$

$$2 \leq x_2 \leq 6, \quad 40 \leq x_5 \leq 300, \quad 3 \leq x_8 \leq 7,$$

$$2 \leq x_3 \leq 6, \quad 5 \leq x_6 \leq 20, \quad -3 \leq x_9 \leq 15,$$

Функциональные ограничения:

$$0,9g \leq f_1(\bar{x}) \leq 2g, \quad 4g \leq f_2(\bar{x}) \leq 10g, \quad f_3(\bar{x}) \leq 120,$$

$$f_4(\bar{x}) \leq 0, \quad f_5(\bar{x}) \leq 0, \quad f_6(\bar{x}) \leq 0, \quad f_7(\bar{x}) \leq 0,$$

где $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $f_1(\bar{x}) = \ddot{y}_{1B}$, $f_2(\bar{x}) = \ddot{y}_{1H}$, $f_3(\bar{x}) = k_0 \rho$,

$$f_4(\bar{x}) = m_0 + m_{Tmax} - (k_1 + k_3)N/gk^*,$$

$$f_5(\bar{x}) = m_0 + m_{Tmax} + m_2 - (k_2 + k_3)N/gk^*,$$

$$f_6(\bar{x}) = \sqrt{1 - \omega_e(a)}, \quad f_7(\bar{x}) = \frac{k_2 m_{Tmax} g - k_0 \rho (k_2 + k_3)}{(k_0 + k_1)(k_2 + k_3) + k_2 k_3} - e_H.$$

В этих соотношениях, кроме указанных ранее, использовались следующие обозначения:

k^* - жесткость одного резинового амортизатора,

m_{Tmax} - максимальная величина технологической нагрузки,

N - предельная нагрузка на один амортизатор,

$\omega_e(a)$ - собственная частота колебаний линеаризованной системы.

Нетрудно видеть, что первые два неравенства ограничивают макси-

мальные значения верхнего и нижнего ускорений рабочего органа. Третье неравенство связано с ограничениями на величину динамических усилий, развиваемых в приводе. Четвертое и пятое неравенства являются ограничениями на характер нагружения резиновых амортизаторов и введены из соображений ограничения их нагрева, влияющего на их работоспособность. Шестое неравенство гарантирует нахождение рабочих режимов на восходящей ветви амплитудно-частотной характеристики в области второго резонанса. Седьмое неравенство обуславливает превышение амплитуды деформации основных амортизаторов величины зазора в буферах, что гарантирует выход системы на нелинейную характеристику.

Критериальные ограничения:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &\leq 9,04, & \Phi_2 &\leq 0,313, & \Phi_3 &\leq 70,62, \\ \Phi_4 &\leq 12,51, & \Phi_5 &\leq 1,143, & \Phi_6 &\leq 1,222. \end{aligned}$$

Обратим внимание, что размерность пространства параметров $n = 10$, а размерность пространства критериев $m = 6$.

Для сформулированной задачи был выполнен с помощью ЭВМ поиск паретовских точек. С целью упорядочения поиска и облегчения дальнейших графических представлений значения трех критериев (близкие к критическим) фиксировались, а для одного из оставшихся принимался некоторый ряд дискретных значений. При этом поиск паретовских точек производился в двумерной срезке (плоскости) в пространстве критериев. Фиксация значений отдельных критериев позволяла переводить их в систему ограничений. Отметим, что данный подход оказался достаточно эффективным, поскольку результаты становились наглядными. Приведенный ниже график (рис. 3) соответствует случаю, когда фиксировались значения критериев Φ_2 , Φ_5 и

Φ_6 и дискретно изменялись значения критерия Φ_1 . Таким образом, при данном подходе к построению паретовского множества условия фиксации зондирующего луча в пространстве (плоскости) критериев имели вид:

$$\frac{\Phi_4}{\cos \gamma_4} - \frac{\Phi_3}{\cos \gamma_3} = 0.$$

Оптимизационные расчеты в данном случае проводились с целью определить возможности снижения массы конструкции, а также уровня динамической нагрузки на привод - Φ_3 и на фундамент - Φ_4 при значительном улучшении показателей стабильности - Φ_5 и Φ_6 и

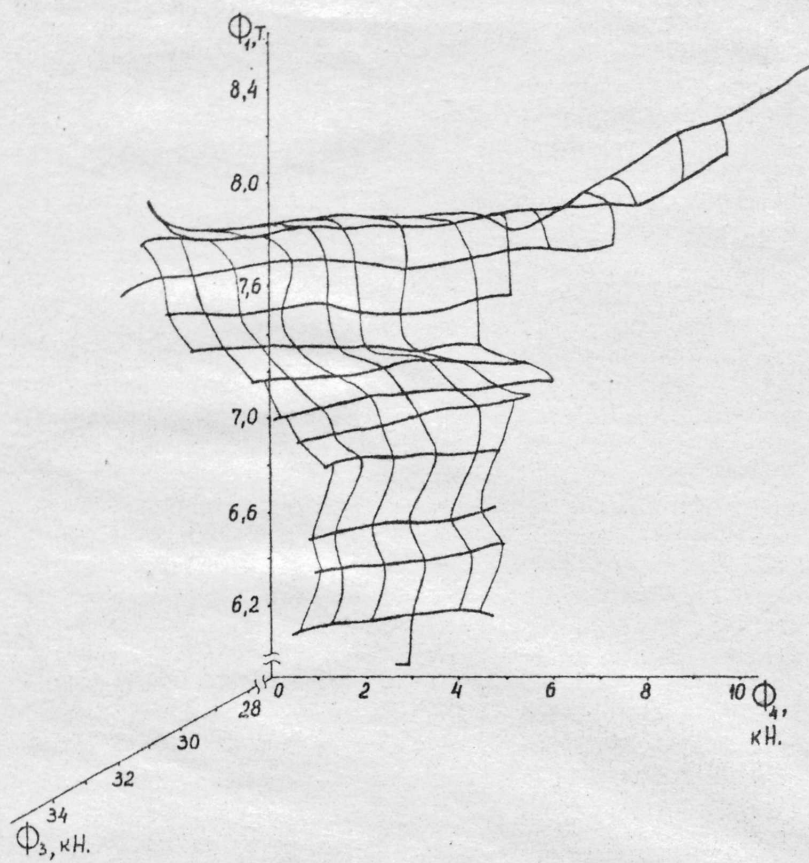


Рис.3

степени асимметрии цикла колебаний рабочего органа - Φ_2 . Величины критериев Φ_2 , Φ_5 и Φ_6 фиксировались при значениях, близких к минимально возможным: $\Phi_2 = 0,230$; $\Phi_5 = 0,193$; $\Phi_6 = 0,195$. Полученное паретовское множество описывается поверхностью достаточно сложной формы. Проведенный анализ показал, что в этих условиях несколько возрастает динамическая нагрузка на привод и на фундамент, но появляется возможность снизить массу конструкции почти до минимально возможного уровня $\Phi_4 = 6,2$ т. Снижение последней не приводит к значительному ухудшению критериев Φ_3 и Φ_4 до тех пор, пока оно происходит за счет уменьшения массы рабочего органа (вплоть до минимально допустимой величины 3 т). Уменьшение же массы, уравнивающей рамы, сопровождается ростом (в допустимых пределах) динамической нагрузки на привод и на фундамент.

Проведенные исследования показали, что характеристики существующей модели виброплощадки близки к оптимальным. В то же время реализация рабочих режимов на частоте 15 Тц (что вызвано технологическими требованиями) обуславливает высокий уровень динамической нагрузки на привод и это в значительной мере снижает ресурс его работы. По этой причине проведение дальнейших оптимизационных расчетов имело цель улучшить в основном этот качественный показатель, по возможности не ухудшая остальных. В результате этих расчетов уровень динамической нагрузки на привод удалось снизить на 38 %. При этом был найден ряд паретовских моделей, по всем показателям превосходящих существующую модель ВРА-8д, часть которых по данному показателю превосходит ее в среднем на 25 %, а по динамической нагрузке на фундамент - в два раза.

Основные выводы

1. Предложен метод многокритериальной параметрической оптимизации машин, реализующий прямое нахождение точек паретовского множества с помощью зондирования лучами достижимого множества в пространстве критериев, позволяющий оценивать принципиально достижимые показатели рассматриваемой расчетной схемы, что создает возможности выбора оптимальных решений уже на стадии проектирования.

2. Создан универсальный программный модуль, реализующий на

ЭВМ предлагаемый подход к многокритериальной оптимизации, который может быть состыкован с блоком описания модели машины, включающем динамическую модель, систему критериев и ограничений.

3. Предлагаемый подход к многокритериальной оптимизации использован для решения задачи параметрической оптимизации резонансной асимметричной виброплощадки, применяемой для формования изделий из железобетона.

4. В результате проведенных оптимизационных расчетов определен ряд конкретных сочетаний параметров, переход к которым позволяет существенно улучшить как отдельные, так и одновременно все сформулированные качественные показатели резонансной асимметричной виброплощадки ВРА-3д.

5. Показано, что в рамках отдельно взятого ряда равномассных паретовских моделей виброплощадки, как правило, наблюдается тенденция к уменьшению динамических усилий в приводе при одновременном увеличении динамической нагрузки на фундамент.

6. Показано, что улучшение качественных показателей виброплощадки при фиксированном значении ее суммарной массы связано с уменьшением массы рабочего органа и суммарной жесткости амортизаторов под уравнивающей рамой.

Содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Крюков Б.И., Скворцов А.И. Многокритериальная оптимизация параметров машин, основанная на зондировании лучами пространства критериев // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1986. - № 6. - С. 35-38.
2. Крюков Б.И., Скворцов А.И. Многокритериальная оптимизация резонансной асимметричной виброплощадки / МВТУ им. Н.Э.Баумана. - М., 1989. - 18 с. - Деп. в ЦНИИТЭстроймаш 10.03.89, № 150489.
3. Крюков Б.И., Скворцов А.И. Многокритериальная оптимизация вибромашин технологического назначения // Тезисы Всесоюзной конференции по вибрационной технике. - Кобулет, 1987. - С. 173.
4. Крюков Б.И., Скворцов А.И. Многокритериальная оптимизация резонансной асимметричной виброплощадки // Вибротехника: Сб. статей. - Вильнюс, 1989. (в печати).

Заказ 1239 Объем I п.л. Тираж 100 экз. Л - 49504

Типография МТУ им. Н.Э.Баумана Подписано к печати 21.II.89г.