

Литература

1. Бернштейн, А. Справочник статистических решений [Текст] / А. Бернштейн – «Статистика», М, 1968. – 253 с.
2. Пустыльный Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений [Текст] / Е.И. Пустыльный – «Наука», М, 1968. – 288 с.
3. Смирнов, Н.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений [Текст] / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский – Физматгиз, М, 1959. – 436 с.
4. Шор, Я.Д. Таблицы для анализа и контроля надежности [Текст] / Я.Д. Шор, Ф.И. Кузьмин – «Советское радио», М, 1968. – 288 с.

**Abstract**

*The article presents materials of experimental and theoretical studies of the excited state parameters, as well as conditions of their applicability, permitting to evaluate the rocket engines capacity by a factor of high-frequency stability of processes occurring in the combustion chamber and the gas generator.*

*Recognizing the existence of a link between the engines capacity and values of a few parameters of the excited state, the researches of informativeness of characteristics of engines capacity, defined using the combinations of values of complexes of these parameters, were conducted. The conditions for the recognition of the link between the engines capacity and the values of parameters of the excited state that is conditions for recognition of informativeness of parameters on tests outcomes, were formulated. Two ways of evaluation of the informativeness of characteristics of the engines capacity according to the combination of the values of parameters of the excited state were formulated: direct, based on the comparison of frequencies of nonoccurrence of the engines failure, and indirect, based on the comparison of conditional characteristics of the measure of differences of parameters from marginal combinations*

**Keywords:** engines capacity, rocket engines, high-frequency stability, combustion chamber

У статті запропоновано шляхи покращення характеристик шестеренних насосів внутрішнього зацеплення з урахуванням впливу різних критеріїв для проектування гойдаючого вузла із заданими показниками якості. Необхідність розробки методик, які на стадії проектування забезпечили б високі вихідні характеристики, визнається багатьма дослідниками, що працюють в області створення шестеренних насосів

**Ключові слова:** шестеренний насос, гойдаючий вузол, показники якості, математична модель

В статье предложены пути улучшения характеристик шестеренных насосов внутреннего зацепления с учетом влияния различных критериев для проектирования качающего узла с заданными показателями качества. Необходимость разработки методик, которые на стадии проектирования обеспечили бы высокие выходные характеристики, признается многими исследователями, работающими в области создания шестеренных насосов

**Ключевые слова:** шестеренный насос, качающий узел, показатели качества, математическая модель

УДК 621.664-503.56

# ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

**З. Я. Лурье**

Доктор технических наук, профессор\*

**А. И. Гасюк**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (057) 707-66-46

E-mail: alexfom@gmail.com

\*Кафедра гидромашин

Национальный технический университет  
“Харьковский политехнический институт”  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

## 1. Введение

Современная тенденция по созданию высокоэффективных гидроприводов на базе шестеренных насо-

сов с внутренним зацеплением идет по пути улучшения эксплуатационных показателей, в частности дальнейшего повышения рабочего давления, снижения шума, энергосбережения и повышения надежности.

---

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

---

Целый ряд преимуществ насосов внутреннего зацепления (НШВ) перед насосами внешнего зацепления в части: улучшенной всасывающей способности (вакуум до 0,04 МПа); пульсаций мгновенной подачи менее 2-3%; низкого уровня шума (менее 68 дБ); рабочего давления (до 30 МПа) срока службы (до 18 млн. циклов) и др. определил их опережающее развитие и производство фирмами Bosch Rexroth, Parker, Voith Turbo, Sperry Vickers, Eckerle Hydraulic и др.

Достижение высоких энергетических показателей и других характеристик шестеренного насоса внутреннего зацепления требует рационального выбора многочисленных варьируемых, при проектировании, параметров. Существующий подход не гарантирует получение наилучшего варианта хотя бы потому, что экономически целесообразное время проектирования ограничивает число рассматриваемых вариантов.

Необходимость разработки методик, которые на стадии проектирования обеспечили бы высокие выходные характеристики, признается многими исследователями, работающими в области создания шестеренных насосов и других объемных машин. Опыт проектирования машин различного технического назначения с применением метода оптимизации показывает, что эти задачи многокритериальны, так как при выборе наилучшего варианта приходится учитывать много различных требований, зачастую противоречивых. В такой же степени это относится к объемным гидравлическим машинам, где имеются резервы для снижения объемных и гидромеханических потерь в основных узлах, уменьшение “вредного объема” и массогабаритных характеристик. При этом современные методы теории оптимизации систем и разработки программных комплексов персональных ЭВМ создают объективные условия для решения этих вопросов. Одним из важных вопросов при такой постановке является разработка математической модели. Анализ выполненных работ в области разработки моделей основных узлов НШВ показывает, что для улучшения адекватности моделей и эффективности использования современных методов оптимизации при их проектировании следует учитывать ряд важных факторов и конструктивных особенностей, влияющих на выходные характеристики.

---

## 3. Цель и задачи исследования

---

Анализ выполненных работ в области создания НШВ показывает, что при разработке математической модели качающего узла следует учитывать ряд важных факторов и конструктивных особенностей. К числу таких факторов относятся:

коэффициент перекрытия зубчатого зацепления, который следует выбирать в интервале 1,03 – 1,05, в отличие от изделий общемашиностроительного назначения, например, редуктора со значением  $>1,2$ , что снижает пульсацию подачи;

использовать зубчатую передачу с положительным смещением, при котором повышается контактная

прочность зубьев и снижается удельное скольжение колес;

стремиться к уменьшению радиального зазора во впадинах колес, что снижает вредный (мертвый) объем РЖ и повышает КПД насоса;

при вариации параметров ЗЗ, необходимо учитывать функциональные ограничения: к значениям диаметра окружности вершин колеса, к толщине головки зубьев шестерни и колеса, к недопустимости подрезанию зубьев и всех видов интерференций.

Таким образом, разработка качающего узла с заданными показателями качества представляет собой многокритериальную задачу.

При кажущейся простоте конструкции проектирование НШВ, направленное на дальнейшее улучшение его выходных характеристик и отвечающее современному техническому уровню, является сложной научно-технической проблемой. Большое число геометрических и кинематических параметров зубчатого зацепления (ЗЗ), влияющее на пульсацию мгновенной подачи НШВ, КПД и др., ставят перед конструктором-исследователем изделия необходимость в поиске наилучшего решения на основе многокритериальной оптимизации параметров ЗЗ качающего узла, согласно методу исследования пространства параметров.

Выполненный анализ по состоянию вопроса развития и перспективных исследований в области создания НШВ показал, что фирмы Западной Европы и США уделяют должное внимание разработке новых образцов и модернизации существующих ввиду целого ряда преимуществ в сравнении с НШ внешнего зацепления. Исследования с оптимизацией параметров зубчатого зацепления качающего узла в Китае совместно с американской фирмой Vickers, в НИИГидроприводе (г. Харькова) показали перспективность такого подхода при разработке новых и модернизации существующих НШВ. На наш взгляд, дальнейшее улучшение показателей качества (характеристик) зубчатого зацепления качающего узла, а также снижения значений одной из важнейших внешних характеристик НШВ – коэффициента пульсации подачи можно достичь в процессе проектирования с применением параметрической оптимизации.

Таким образом, эту цель можно достичь путем постановки и решения научно-практической проблемы – многокритериальной оптимизации параметров зубчатого зацепления качающего узла шестеренного насоса внутреннего зацепления с вводом в математическую модель критериев качества, связанных с обеспечением заданных интервалов коэффициента перекрытия, удельного скольжения зубьев шестерни, радиального зазора во впадинах шестерни и колеса, толщины зубьев по поверхности шестерни и колеса и др.

Разрабатываемые шестеренные насосы с внутренним зацеплением представляют собой сложную динамическую систему с большим числом параметров, математическое описание которой характеризуется совокупностью взаимосвязанных алгебраических, трансцендентных и дифференциальных уравнений. При этом следует учесть, что применение зубчатой передачи в качестве качающего узла насоса имеет существенные особенности по сравнению с зубчатыми передачами в общем машиностроении.

#### 4. Экспериментальные данные и их обработка

Как и в большинстве практических задач оптимального проектирования конструкций и систем управления при разработке шестеренных насосов возникает необходимость учета нескольких различных показателей качества (критериев). Такими критериями могут быть объемные и гидромеханические потери, коэффициент перекрытия, удельные скорости скольжения колес качающего узла и др. как правило, показатели качества взаимно противоречивы, т.е. улучшение одного свойства проектируемого объекта приводит к ухудшению ряда других. Поэтому целесообразно рассматривать самостоятельный класс задач многокритериальной оптимизации и решать их специальными методами.

К таким методам следует отнести метод многокритериальной оптимизации, основанный на зондировании части  $N$  – мерного пространства рассматриваемых параметров проектируемого объекта с помощью  $LP_t$  – последовательностей, обладающих высокой равномерностью распределения, как во всем пространстве, так и в проекции на любые подпространства.

В общем виде многокритериальная задача, подлежащая решению методом зондирования пространства параметров, формируется так.

Имеется  $n$  – мерное пространство параметров, состоящее из точек  $X$  с декартовыми координатами  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ . К этим параметрам относятся, например, числа зубьев шестерни и колеса, угол профиля исходного контура, коэффициенты смещения шестерни и колеса и др. Заданы или предложены пределы изменения параметров (параметрические ограничения) при  $j = 1, 2, \dots, n$ .

$$X_j^* \leq X_j \leq X_j^{**}, \quad (1)$$

где индексом “\*” обозначена левая граница неравенства, а индексом “\*\*” – правая.

Определены и заданы функциональные ограничения. Определяющие работоспособность качающего узла насоса, взаимные связи геометрических и кинематических параметров, отсутствие соударения головок зубьев шестерни и колеса, отсутствие интерференции в зацеплении зубчатой пары и др.

$$C_L^* \leq f_L(X) \leq C_L^{**}, L = 1, \dots, t. \quad (2)$$

Получены или сформулированы, на основе соответствующих исследований и опыта, критерии качества

$$F_v(X), v=1, 2, \dots, K. \quad (3)$$

Значения которых желательно уменьшить, например, коэффициент перекрытия, удельное скольжение, влияющее на интенсивность износа зубьев, и др. Вы-

ражения (1) – (3) составляют математическую модель многокритериальной задачи.

Формальным решением задачи является множество Парето, в котором на основе компромисса и следует искать оптимальное решение.

В каждой полученной точке последовательности проверяется, удовлетворены ли функциональные ограничения, т.е. определяется область допустимых значений параметров. Для точек, удовлетворяющих всем ограничениям, вычисляются значения критериев качества, и формируется, содержащие эти значения, таблица испытаний, подлежащая в дальнейшем исследованию. Этот метод является развитием метода случайного поиска и не требует привлечения сложного математического аппарата для практической реализации. Эффективность метода подтверждается его успешным применением в самых различных технических приложениях.

Указанный метод исследования пространства параметров (ИПП) положен в основу, разработанной во ВНИИГидроприводе, диалоговой системы многокритериальной оптимизации. В системе предусмотрено выполнение трех групп функций: функции обработки таблицы испытаний, предназначенные для анализа данных; функции непосредственного исследования модели; вспомогательные функции, связанные с вводом произвольных значений параметров, записью таблицы испытаний и др.

Язык реализации системы и описание исследуемой модели – ФОРТРАН.

Ряд результатов решения задач с помощью диалоговой системы по оптимизации параметров радиально- и аксиально-поршневых гидронасосов, оптимизации параметров пружин для гидрооборудования изложены в работах. Учитывая положительный опыт применения метода исследования параметров и диалоговой системы, построены на его основе, решение оптимизационной задачи по проектированию качающего узла и шестеренчатого насоса внутреннего зацепления в целом будет выполнено с помощью указанного метода и диалоговой системы.

#### 5. Выводы

1. Проектирование шестеренных насосов внутреннего зацепления, выходные характеристики которых должны обеспечивать соответствующие технические требования является сложной научно-технической проблемой, которая может быть решена с помощью математического моделирования путем многокритериальной оптимизации.

2. Многокритериальная постановка задачи позволяет при проектировании уменьшить механические потери, снизить объемные утечки насоса и пульсацию подачи, разработать качающий узел, обеспечивающий надежное функционирование насоса.

#### Литература

1. Статников, Р. Б. Многокритериальное проектирование машин [Текст] / Р. Б. Статников, И. В. Матусов. – М. : Знание, 1989. – 48 с.
2. Лурье, З.Я. Многокритериальная оптимизация основных параметров качающих узлов шестеренных насосов внутреннего эвольвентного зацепления [Текст] / З.Я. Лурье, А.И. Жерняк, В.П. Саенко // Вестник машиностроения. – 1995. – №8. – С. 3-8.

**Abstract**

The article suggests ways to improve the characteristics of internal gear pumps, taking into account the influence of different criteria on the design of pumping unit with the specified quality indicators. The need to develop techniques, which would provide high output characteristics at the design phase, is acknowledged by many researchers in the field of gear pumps. The work on the modeling of the basic units of the pump showed that to improve the adequacy of the models and efficiency of application of modern optimization methods while designing, one should take into account a number of important factors. The experience in the design of machines of various technical purposes using the optimization method shows that these problems are multicriterial, as when choosing the best variant, one has to take into account a lot of different requirements, which are often contradictory. Equally, it refers to the volume hydraulic machines, where there are reserves to reduce the volume and hydro-mechanical losses in the main units, and to reduce "bad volume" and weight and size characteristics. Herewith, the modern methods of optimization theory of systems and creation of software complexes of PCs create objective conditions for the solution of these issues

**Keywords:** gear pump, pumping unit, quality indicators, mathematical model

УДК 621.771.014

Наведені результати розрахунку геометричного об'єму осередку деформації за допомогою комп'ютерної програми. Встановлені закономірності зміни об'єму осередку деформації від кількості проходів при прокатуванні штаби у гладких валках

**Ключові слова:** поздовжня прокатка, штаба, осередок деформації, розширення, кліть

Приведены результаты расчета геометрического объема очага деформации с помощью компьютерной программы. Установлены зависимости изменения объема очага деформации от количества проходов при прокатке штабы в гладких валках

**Ключевые слова:** продольная прокатка, полоса, очаг деформации, уширение, клеть

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО ОБ'ЄМУ ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОКАТУВАННІ ШТАБИ У ГЛАДКИХ ВАЛКАХ

**К. В. Герасимова**

Кандидат технічних наук

Кафедра фізики\*\*

Контактний тел.: 096-245-67-52

E-mail: kate-geras@yandex.ru

**С. О. Мацішин**

Асистент\*

Контактний тел.: 067-190-52-31

E-mail: brend.1988@mail.ru

**А. О. Шепель**

Аспірант\*

Контактний тел.: 067-146-70-02

E-mail: anna.shepel@online.ua

\*Кафедра обробки металів тиском та металургійного обладнання\*\*

\*\*ДВНЗ «Криворізький національний університет»

вул. XXII – Партз'їзду, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027

### 1. Вступ

Найбільш розповсюдженим методом обробки металів є прокатка, при якій вихідна заготовка обтискується валками прокатного стану для зменшення поперечного перерізу заготовки і надання їй заданої форми.

З усіх відомих методів прокатки: поздовжньої, поперечної та поперечно-гвинтової нами розглядається тільки гаряча поздовжня безперервна прокатка, при якій метал знаходиться одночасно відразу в декількох клітях. З одного боку, це прискорює обробку та змен-

шує енерговитрати на повторний нагрів металу між циклами прокатки. З іншого - вимагає високої точності і злагодженості роботи всіх механізмів прокатного стану для забезпечення необхідних геометричних розмірів і фізичних властивостей одержуваних виробів.

Будь який процес обтиснення металу тиском характеризується геометричними розмірами та формою осередку деформації.

Як зазначено в роботі [1], осередок деформації для обробки металів тиском по важливості можна порівняти з корисним об'ємом доменної печі при виробництві