

МЕТОДИКА УПРАВЛЯЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ПОИСКЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

TECHNIQUE OF CONTROLLED EXPERIMENT BY SEARCH OF THE OPTIMUM TECHNICAL DECISION

ВАЛЮХОВ Сергей Георгиевич, д.т.н., профессор,
первый зам. генерального директора ФГУП КБХА,
директор ДП «Турбонасос» ФГУП КБХА, г. Воронеж, Россия,

БУЛЫГИН Юрий Александрович, к.т.н., доцент,
КРЕТИНИН Александр Валентинович, к.т.н., доцент,
Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия.

Abstract. The optimization of the basic geometrical sizes and modes of operation of highspeed turbopumps is a necessary condition of increase of their efficiency. The report shines some tendencies and prospects of integration of the theory of optimization and computer designing, contains fragments of modern methodology of nonlinear optimization of complex technical systems.

Актуальность использования методов оптимизации при проектировании в значительной мере определяется их возможностями по обработке экспериментальных данных, так как, несмотря на бурное развитие математического моделирования, основанного на применении все более сложных численных алгоритмов и имеющего естественный предел, связанный с вычислительной мощностью используемых ЭВМ, экспериментальные имитационные модели до сих пор являются самым надежным средством исследований, анализа и принятия конструкторских решений.

Основной проблемой, которая возникает при проектировании рабочего колеса центробежного насоса, является выбор параметров, определяющих форму меридионального сечения проточной полости и параметров, характеризующих форму лопасти в плане. Экспериментальное исследование имеет целью проектирование на основе анализа найденных зави-

симостей рабочего колеса с пространственными лопастями, обладающего высокими энергетическими и антикавитационными свойствами.

Эффективность экспериментальных факторных моделей существенно зависит от точности построения функции аппроксимации. В настоящее время для отыскания нелинейных связей исследуемых показателей эффективности от геометрических проектных параметров преобладает регрессионный анализ. Один из наиболее продвинутых алгоритмов предполагает следующую последовательность действий [1]: 1. Генерация плана эксперимента (с равномерным или нормальным распределением); 2. Формирование поверочного и обучающего множеств; 3. Генерация частных описаний, аппроксимирующих целевую функцию на обучающем множестве; 4. Формирование множества внешних критериев частных описаний на поверочном множестве; 5. Выбор наилучших частных описаний в селекции.

При исследовательских испытаниях новых изделий часто сложно задать начальный диапазон поиска в пределах технической реализуемости значений варьируемых параметров. Решить эту проблему может помочь метод исследования пространства параметров [2], основанный на зондировании области поиска точками равномерно распределенной последовательности. Если при соответствующих векторах параметров удовлетворяются функциональные ограничения, то очередная точка включается в таблицу испытаний.

Описанные методы анализа экспериментальных данных не всегда позволяют решить задачу получения «лучшей» имитационной математической модели. Во-первых, значительное количество варьируемых переменных приводит к большим объемам эксперимента для получения многофакторной статистической модели. Во-вторых, выбор функции регрессии в диалоговом режиме «человек-компьютер» не соответствует концепции автоматизации всех этапов оптимального проектирования.

В последнее время в теории и практических приложениях математического моделирования заметно растет интерес к новым направлениям, связанным с построением информационных моделей физических процессов. Основная отличительная черта этих систем в том, что они, подобно естественным нервным системам, автоматически выстраивают в своей памяти имитационные модели, используя некоторые универсальные для всех нервных систем механизмы. Построение нейросетевых моделей сложных физических процессов требует ограниченного числа расчетов с использованием точного инструмента анализа, будь то численный код или совокупность экспериментальных данных.

Одним из наиболее распространенных типов искусственных нейронных сетей является многослойный персептрон (MLP). При моделировании его работы искусственный нейрон через несколько входных каналов (синапсов) получает исходные сигналы. Каждый сигнал имеет определенную

интенсивность или вес (электрическая проводимость у биологического нейрона). Далее вычисляется взвешенная сумма входов:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i \cdot w_i ,$$

где N – число сигналов;

S_i – входной сигнал;

w_i – интенсивность сигнала;

S – сигнал, поступающий в ядро нейрона (дендрит).

Сигнал, поступающий в дендрит, активируется при помощи сигмоидной функции:

$$Y(S) = \frac{1}{1 + e^{-(S-b)}} ,$$

где b – пороговое значение, и подается на выход нейрона (аксон).

Моделировать различные функции можно подбором весов и пороговых значений, причем число слоев персептрона и число нейронов в слое определяется сложностью топологии целевой функции.

Построенная таким образом математическая модель, основанная всего на двух приведенных выше формулах, способна аппроксимировать сложные поверхности отклика с приемлемыми временными затратами, что особенно важно при оптимизационных исследованиях, требующих многочисленных прогонов расчетного алгоритма.

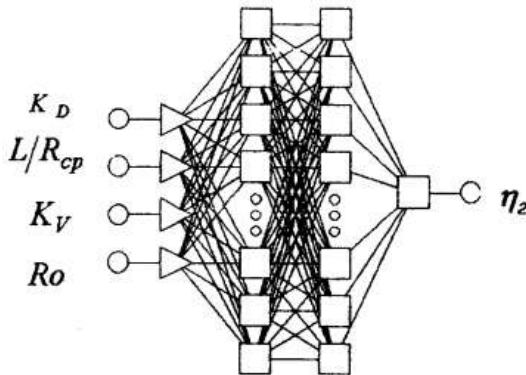


Рисунок 1 - Многослойный персептрон $\eta_2 = f(K_D, L/R_{cp}, K_V, Ro)$

Возможности аппроксимационных свойств многослойного персептрона могут быть продемонстрированы на примере обработки результатов балансовых испытаний для центробежных насосов с различными вариантами рабочих колес, проведенных в рамках идеологии [1] для минимизации потерь энергии в межлопастных каналах. На рис. 1 приведена структу-

ра MLP, содержащая четыре входа, соответствующие определяющим критериям работы колеса (K_D - коэффициент входа потока в колесо, L/R_{cp} - относительная кривизна лопасти, K_V - коэффициент расхода, Ro - критерий Россби), два скрытых слоя, содержащие 15 и 13 нейронов соответственно, и один выход, соответствующий гидравлическому КПД колеса.

На рис. 2 изображены графики $\eta_z = f(K_V)$ для различных значений K_D , полученные на выходе MLP, где маркерами обозначены точки обучающей выборки. Можно констатировать, что многослойный персептрон довольно простой структуры вполне удовлетворительно описывает экспериментальные данные.

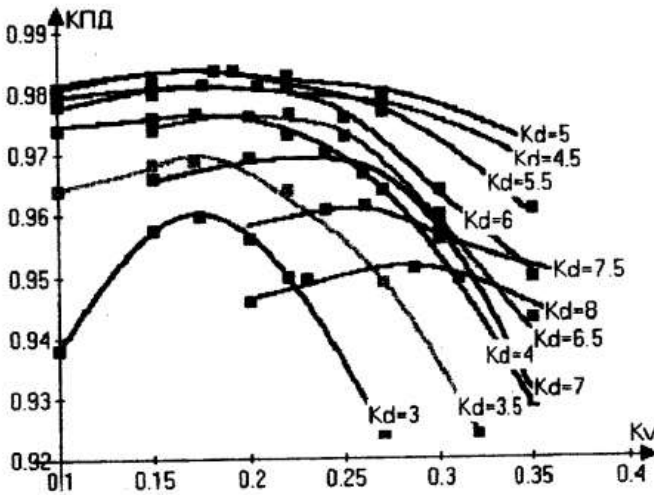


Рисунок 2 - Моделирование с помощью нейронной сети

В настоящее время сложились все предпосылки для развития, наряду с классическими, нейросетевых математических моделей для исследования рабочих процессов в насосных агрегатах, где все равно необходима идентификация расчетных результатов с использованием экспериментальных данных. Кроме того, для изделий, разделенных на параметрическую и функциональную подсистемы, на этапе исследовательских и параметрических испытаний нейросетевые методы моделирования могут оказаться предпочтительнее регрессионного анализа, так как, помимо повышенной точности, они способны также экстраполировать статистические данные и с большой точностью предсказывать параметрические и функциональные отказы, что очень важно при отработке и использовании наземной системы технической диагностики и системы аварийной защиты.

На этапе оптимизации полученной экспериментальной информационной модели в общем случае целесообразно использовать методы нелинейного программирования, способные работать с моделями типа «черный ящик». Это объясняется тем, что функции аппроксимации, построенные с помощью метода группового учета аргументов, или нейронные сети имеют достаточно сложную, трудно поддающуюся анализу, структуру. Для этих целей целесообразно использование структурно-параметрических методов оптимизации, которые инвариантны к топологии оптимизируемой функции, позволяют распознавать ситуацию в процессе поиска экстремума, изменять параметры алгоритма и стратегию поиска [3].

Полученные в процессе оптимизации точки могут рассматриваться как возможно оптимальные. Они включаются в план эксперимента, обрабатываются на стенде для уточнения целевой функции и в случае повышения показателей эффективности включаются в банк альтернативных оптимальных технических решений для дальнейшего анализа и выбора окончательного варианта проекта.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Овсянников Б.В., Яловой Н.С. Моделирование и оптимизация характеристик высокооборотных насосных агрегатов. – М.: Машиностроение, 1992.
2. Статников Р.Б., Матусов И.Б. Многокритериальное проектирование машин. – М.: Знание, 1989.
3. Егоров И.Н., Фомин В.Н. Оптимизация параметров многоступенчатых компрессоров/ Известия ВУЗов. Авиационная техника, №3. – М., 1988.