

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМ ЛОПАСТЕЙ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РЕШЕТОК И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ.  
ПРОЕКТ № 27**

**Координаторы:** д-р физ.-мат. наук Курзин В. Б., д-р техн. наук Петров Н. Н.,  
канд. физ.-мат. наук Черный С. Г.  
**Исполнители:** ИГиЛ, ИГД, ИВТ, ИМ, ИТПМ СО РАН

Гидродинамическая решетка является моделью рабочих колес турбомашин (гидротурбин, лопаточных компрессоров и насосов, вентиляторов), имеющих весьма широкое применение в технике, а турбостроение — достаточно весомой и наукоемкой отраслью промышленности России. В настоящее время повышение качества турбомашин стало весьма актуальной проблемой, необходимость решения которой обусловлена острой конкуренцией среди их производителей на мировом рынке, а также тенденцией роста требований к энергобережению турбомашин при их эксплуатации.

На современном уровне развития науки выбор оптимального варианта конструкции может быть осуществлен путем решения так называемых экстремальных математических задач, постановка которых связана с необходимостью проведения фундаментальных исследований ряда вопросов в различных областях механики и математики.

Получены следующие основные результаты:

1. Для выбора оптимальных геометрических параметров решетки лопастей была проведена ее параметризация, основанная на описании ее срединной поверхности с помощью полиномов Бернштейна. Разработан способ вариации геометрии лопастей, при котором форма их срединных поверхностей зависит от 32 параметров, а функции распределения толщин — от шести параметров.

2. Для определения связей аэродинамических характеристик решеток и геометрических их параметров проведено численное моделирование трехмерных течений около решеток. В рамках модели течения, описываемой уравне-

ниями Эйлера, разработан алгоритм и создана программа расчета стационарного движения жидкости в рабочем колесе гидротурбин, необходимые для построения целевого функционала по улучшению КПД гидротурбин. В трехмерной постановке задачи разработан алгоритм и составлена программа расчета нестационарных аэродинамических характеристик решеток для построения целевого функционала по уменьшению уровня вибраций лопастей. На основе уравнений Рейнольдса проведено моделирование трехмерных процессов вентиляции подземных рудников, которое необходимо при выборе геометрических параметров решеток вентилятора.

3. С целью повышения КПД гидротурбин построены целевые функционалы, основанные на решении трехмерной задачи течения жидкости в гидротурбине, направленные на минимизацию:

3.1) силового воздействия потока на передние кромки лопастей;

3.2) интенсивности возвратных течений;

3.3) кинетической энергии потока на выходе из рабочего колеса;

3.4) площади зоны кавитации при заданном ограничении на ее размер.

Для повышения КПД тоннельных вентиляторов построен целевой функционал на минимизацию потерь полного давления при обтекании решеток. С этой целью в рамках гипотезы цилиндрических сечений рассмотрена задача об отрывном обтекании решетки тонких лопастей, решение которой позволяет приближенно определить потери полного давления, обусловленные отрывом потока с передних

кромки лопастей, а также проведена оценка потерь полного давления, обусловленных нестационарным обтеканием решеток.

4. Для оптимизации геометрии решеток лопастей гидротурбин, основанной на созданных в проекте целевых функционалах, применены методы решения экстремальных задач, разработанные ранее исполнителями проекта, а также варианты так называемого генетического алгоритма, получившего в настоящее время широкое развитие за рубежом. Тестовые расчеты были проведены по оптимизации решеток реально действующих гидротурбин. В результате этих расчетов показана эффективность созданного инструмента. Оптимизация решеток вентилятора проводилась на основе решения соответствующих экстремальных задач методом линеаризации — модифицированным методом проекции градиента. Разработанный алгоритм использован при проектировании тоннельных вентиляторов, один из которых установлен на станции Новосибирского метрополитена «Березовая роща».

Одна из трудностей решения проблемы оптимизации конструкций с большим числом

параметров состоит в необходимости больших затрат времени расчета на ЭВМ. Для ускорения сходимости итерационного процесса при решении оптимизационных задач аэрогидродинамики разработан вариационно-градиентный метод, являющийся некоторой модификацией традиционного метода наискорейшего спуска.

5. Для экспериментальной проверки соответствия расчетных характеристик вентиляторов, полученных с использованием методов, созданных в рамках данного проекта, аэродинамическим характеристикам вентиляторов в условиях их эксплуатации разработана методика аэродинамических испытаний и создана экспериментальная база, оснащенная соответствующими приборами и аппаратурой. На основе разработанной методики проведены контрольные испытания тоннельного вентилятора в заводских условиях, которые подтвердили достоверность расчетных значений его аэродинамических характеристик. В настоящее время проводятся систематические испытания вентилятора в широком диапазоне изменения режимов его работы.

### Основные публикации

1. Волков Ю. С. Безусловная сходимость еще одной средней производной для интерполяционных сплайнов нечетной степени// Докл. РАН. 2005. Т. 401, № 5. С. 593—594.
2. Курзин В. Б., Толстуха А. С. К расчету нестационарных аэродинамических характеристик вращающейся решетки колеблющихся лопастей в потоке несжимаемой жидкости// Изв. РАН. МЖГ. 2005. № 1. С. 40—52.
3. Skorospelov V. A., Chirkov D. V., Cherny S. G. et al. Using 3D CFD and optimisation methods for the design of Francis hydraulic turbine runner// Proceedings of 6th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics, Lille, France, 7—11 March, 2005. P. 1—11.
4. Лобарева И. Ф., Скорospelов В. А., Турук П. А. и др. Об одном подходе к оптимизации формы лопасти гидротурбины// Вычисл. технологии. 2005. Т. 10, № 6. С. 52—73.
5. Комар И. Ф., Латин В. Н., Скорospelов В. А. и др. Проблемы моделирования течений в турбомашинах// Вестник КазНУ. Сер. математика, механика, информатика. 2005. № 2. С. 27—52.
6. Попов Н. А., Петров Н. Н. Оценка потерь давления в лопаточных венцах и обоснование рациональных расчетных параметров шахтных осевых вентиляторов// ФТПРПИ. 2005. № 4. С. 77—83.
7. Аульченко С. М. Оптимизация решеток профилей вариационно-градиентным методом// Теплофизика и аэромеханика. 2005. Т. 12, № 3. С. 357—363.