

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
ТУРБОУСТАНОВОК
МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО
И ФИЗИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

Харьков, 29 сентября – 2 октября 1997 г.

А.А.Евтушенко, С.В.Сапожников
(СГУ, г. Сумы, Украина)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОТУРБИННОГО ПРИВОДА В НАСОСАХ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ

Для перекачивания больших концентраций газа (до 0.3-0.4) создаются специальные конструкции проточных частей, позволяющие разделить газообразную и жидкую фазы, газ при этом удаляется или, при необходимости, возвращается в напорный трубопровод. Повышение способности центробежных насосов перекачивать газожидкостные смеси возможно двумя способами [1]:

- дегазацией потока перед входом в рабочее колесо или в рабочем колесе с последующим удалением газовой фазы из насоса;
- диспергацией газовой фазы в потоке перед входом в рабочее колесо насоса.

Для достижения первого способа используется эффект сепарации газожидкостной смеси закруткой в специальном предвключенном устройстве или в самом рабочем колесе. Для осуществления второго способа применяются предвключенные диспергаторы различных конструкций, или функцию диспергатора выполняет специально спроектированное рабочее колесо насоса. Насосы, выполненные по этому принципу, ограничены диапазоном газосодержания, примерно, до 0,2. При высокой концентрации газа эффективны также отверстия в основном диске рабочего колеса [2].

Перспективным направлением решения проблемы перекачивания газожидкостных смесей, на наш взгляд, является использование гидротурбинного привода, в частности, как привода скважинного насоса [3]. В настоящее время электроприводные агрегаты, имеющие частоту вращения до 3000 об/мин, и в случае применения газосепаратора, дегазирующего поток на входе в насос, способны перекачивать газосодержащие смеси до величины объемного газосодержания $\beta=0.3-0.4$. Применение газосепаратора и способность гидротурбинного привода вращать насос с $n > 3000$ об/мин (что улучшает гомонизацию потока) обеспечивают работу насоса при газосодержании β большем, чем указано выше.

Наличие свободных пузырьков газа в перекачиваемом продукте снижает напорную характеристику насоса, и при снижении ее до величины приведенного динамического напора H_d^{np} насос не способен передать энергию жидкости, достаточную для подъема ее из скважины от приведенного динамического уровня до устья скважины и обеспечения необходимого давления в устье P_y (рис. 1).

В отличие от однофазной среды H_d^{np} вычислен для средней плотности жидкости. В связи с понижением давления к выходу из скважины жидкость сильно разгазывается и поэтому определить истинное значение плотности пластовой жидкости весьма трудно. Конечно, фактический уровень в скважине в этом случае находится значительно выше приведенного динамического. На рис.1 следующие обозначения:

$H_{ст}$ - статический уровень при $Q=0$;

H_d^{np} - приведенный уровень при $\rho_{ср}$, $H_d^{np}=f(P_{зг}, \rho_{ср})$;

$H_{уст}$ - уровень установки агрегата, $H_{уст}=f(\beta)$; $H_{скв}$ - высота скважины.

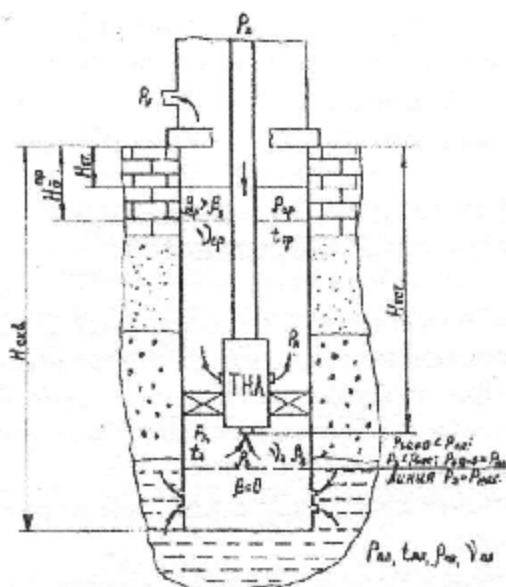


Рис. 1. Схема подземной части

Обозначение индексов: *пл* - пласт, *з* - забой, *ср* - средний, *у* - устье, *п* - питание, *н* - насос, *нас* - насыщение.

Рассмотрим, что происходит с электроприводным и турбоприводным насосными агрегатами при попадании свободного газа в проточную насосную часть. Все рассуждения касаются только качественной картины процесса. В этом случае напорная характеристика электроприводного центробежного агрегата при увеличении газосодержания на входе начинает снижаться и при достижении критического газосодержания насос не способен поднять продукт из скважины. Для уменьшения газосодержания насос опускают ниже в скважину.

Рассмотрим, как работает гидроприводной агрегат в таких условиях. Для этого запишем условия совместной работы питающего насоса, сети питания, турбины, находящейся на одном валу с насосом и сети подачи продукта. При перекачивании однофазной жидкости:

- мощность, запрашиваемая насосом у турбины на общем валу

$$N_H = \frac{Q_H H_H \rho g}{\eta_H}; \quad (1)$$

- мощность, передаваемая турбиной насосу на общем валу

$$N_T = Q_T H_T \rho g \eta_T; \quad (2)$$

- мощности всегда равны

$$N_T = N_H; \quad (3)$$

- так как свойства питающей жидкости не меняются, то они не влияют на характеристику сети питания.

Рассмотрим характеристику совместной работы системы (рис. 2). Характеристика сети питания - это сумма сопротивлений от питающего насоса до турбины (включая срабатываемый напор на турбине) при $Q_п = Q_т$, сопротивлений от устья скважины к баку при $Q_т + Q_н$ и сопротивлений от бака к питающему насосу при $Q_п$. Давление питающего насоса выражается:

$$P_п = f(H_T, h_{пот}^п, P_c). \quad (4)$$

Точка пересечения характеристики питающего насоса $P_{нн}$ и характеристики системы питания $P_п$ (включающей срабатываемый напор на турбине H_T) дает нам давление питающего насоса и расход, передаваемый на турбину $Q_т$. Этому соответствует точка *D* на характеристике мощности, развиваемой турбиной $N_т$. На пересечении линии равной мощности и мощностной характеристики насоса находим т.В. Ей соответствует т.А пересечения характеристики насоса $P_H = f(n_H, Q_H, \beta)$ и характеристики сети. Эта точка характеризует развиваемое насосом давление P_H и подачу продукта из скважины Q_H .

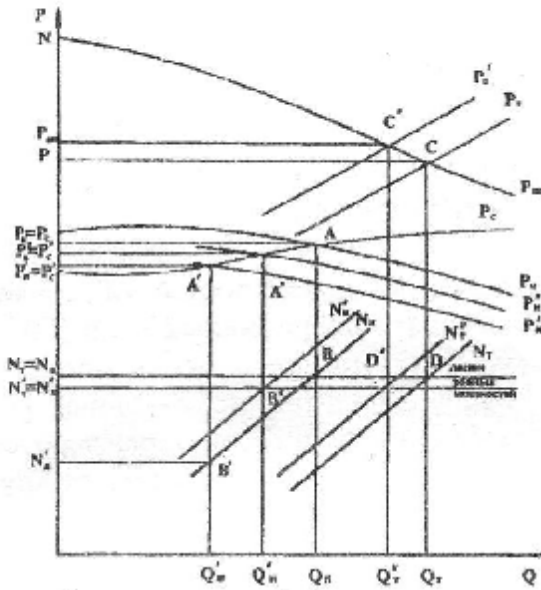


Рис. 2. Характеристика совместной работы системы

При попадании свободного газа в проточную часть насоса турбонасосного агрегата напорная характеристика начинает снижаться. То же самое будет происходить при увеличении вязкости продукта, попадании твердых частиц, уменьшении проходных каналов насоса, увеличении зазоров межступенчатых уплотнений и т.п. Насос начнет работать в точке A' , соответствующей давлению P_H' и подаче Q_H' .

Так как рассматривается только качественная картина, то не учитывается изменение потерь сети P_C , связанное с повышением трения газожидкостной смеси по сравнению с однофазной жидкостью и влияние энергии газа, выделившегося при снижении давления от P_H до P_Y .

Наличие свободного газа в проточной части насоса снижает плотность перекачиваемой среды. При этом η , H_H , Q_H уменьшаются. С падением нагрузки на турбину (учитывая, что к ней подводится постоянная мощность от питающего насоса), турбинный привод начинает увеличивать частоту вращения, стараясь повысить подачу насоса. Так как насос и турбина находятся на одном валу, мощность насоса растет, увеличивается Q_H и H_H . Когда достигается равенство $N_H = N_T$, изменения прекращаются, и устанавливается другая частота вращения. При этом мощность турбины уменьшается (точки B'' и D''). Насос работает с параметрами Q_H'' и H_H'' (т. A''):

$$Q_H' < Q_H'' < Q_H; P_H' < P_H'' < P_H. \quad (5)$$

Меняется характеристика питающей системы, и питающий насос уменьшает подачу на турбину $Q_T' < Q_T$. Таким образом, турбинный агрегат при ухудшении выходных характеристик насосной части, изменяя частоту вращения, стремится их восстановить. Пределом такого регулирования для турбонасосного агрегата является снижение подачи до 10% или 35% оборотов, а увеличение частоты вращения ограничивается прочностными параметрами.

Это является отличительной особенностью такой схемы. При таких меняющихся условиях работы электронасосный агрегат в скважине воспринимает все изменения без автоматической регулировки.

1. Копелянский В.Б., Самойлович Д.С. Центробежные насосы для газосодержащих сред типа ГС // Труды 8-й Междун. научн.-техн. конф. "Насосы-96". т.1. -Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996. -С. 370-373

2. Конструкции центробежных насосов для подачи жидкостей с высоким газосодержанием / ВЦП.- № М-16078. -Пер. ст. Kosmowski I. из журн. British Pump Manufacturers' Association. Technical Conference. -1983. -№8 Cambridgs -P. 159-169.

3. Евтушенко А.А., Кравцов М.И., Твердохлеб И.Б. Скважинная гидродинамическая установка для пластовых вод // Труды 8-й Междун. научн.-техн. конф. "Насосы-96". т.1. -Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996. -С. 77-86

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Косяк Ю.Ф., Палагин А.А., Переверзев Д.А., Тарелин А.А., Шубенко А.Л.</i> Об инженерно-конструкторской и научной школе академика НАН Украины Л.А.Шубенко-Шубина	5
<i>Левченко Е.В., Сухинин В.П.</i> Турбины ОАО "Турбоатом" для замены отработавшего ресурс оборудо- вания на электростанциях Украины	13
<i>Трошин В.П.</i> Создание газотурбинных двигателей и установок для энергетики в НПП "Машпроект"	18
Совершенствование термодинамических и экологических показателей тепловых турбоустановок	
<i>Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д., Палагин А.А., Усык Ю.Н.</i> Автоматизированный комплекс программ для анализа параметров со- стояния и диагностики теплоэнергетического оборудования электро- станций	22
<i>Тарелин А.А.</i> Электрические явления в паровых турбинах и перспективы их рацио- нального использования в ПТУ	28
<i>Бажанов В.В., Ляпунов В.М., Кругликов П.А., Шустер А.Р.</i> Концепция многоцелевого программного комплекса моделирования режимов работы теплогидравлических систем и энергоблоков	31
<i>Ляпунов В.М., Рубинов А.М.</i> Графический редактор для подготовки данных в программах расчета технологических схем	34
<i>Ваверив Д.М., Рябов В.Б., Канило П.М., Шубенко А.Л., Суслов Н.Н., Левин М.М., Караченцев В.С., Расюк Н.И.</i> Перспективы СВЧ-плазменных технологий для повышения эффектив- ности сжигания низкосортных углей в котлах паротурбинных установок ..	36
<i>Фролов С.Д., Костенко П.П., Мартыненко Л.И., Степанов И.Ю., Жеманюк П.Д., Хомутов П.А., Парафейник В.П.</i> Анализ влияния различных факторов на показатели эффективности па- рогазотурбинной установки с системой ввода и регенерации воды (ПТУ-СВРВ)	42
<i>Сиявин А.В., Фролов С.Д., Смаццер В.В.</i> Выбор оптимальных режимных параметров вихревого конденсатора- сепаратора в составе парогазотурбинной установки с системой ввода и регенерации воды	50
<i>Гнесин Ю.В.</i> Использование угля, природного газа и биомасс для производства тепла и электроэнергии в многотопливной установке	54

<i>Соболев Л.М., Шубенко А.Л., Голощапов В.Н., Черкашин Ю.В., Стрельников И.С.</i> Повышение эффективности использования энергоресурсов в автономных котельных на основе внедрения на них турбогенераторных установок малой мощности	57
<i>Канило П.М., Костенко К.В., Тымчик А.В., Демьяненко Е.Н.</i> Моделирование процессов в гибридных камерах сгорания ГТУ	62
<i>Канило П.М., Костенко К.В., Тымчик А.В.</i> Топливо-экологические показатели энергетических установок и пути их совершенствования	66
<i>Канило П.М., Демьяненко Е.Н.</i> Эколого-экономический анализ применения композитных топлив в тепловых двигателях и энергоустановках	71
<i>Шубенко А.Л., Ковальский А.Э., Лыхвар Н.В., Шевякова И.Н.</i> Исследование, разработка и обоснование на базе математических моделей методов обеспечения режимов эксплуатации турбоустановок ТЭС и АЭС, позволяющих повысить показатели экономичности и эрозионной износостойкости рабочих лопаток ЦНД	74
<i>Фролов Б.И., Федотов А.С., Андреев А.Ф., Роговой М.И.</i> Программная реализация комплекса задач по расчету и проектированию детандерно-компрессорного агрегата на природном газе	77
<i>Скибин В.А., Скородумов В.А., Андрус А.О., Кунаков Ю.Ю.</i> Экспериментальная база для исследования и совершенствования термодинамических и экологических показателей тепловых турбоустановок ..	81
<i>Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Ниренштейн М.А., Петров В.Е.</i> Система диагностики теплообменного оборудования турбоустановок ..	87
<i>Жирицкий О.Г., Равич А.В., Коротич Е.Н., Ванцовский В.Г., Матвеев Н.А.</i> Совершенствование экологических характеристик ГТД НПП "Машпроект"	91
<i>Бродов Ю.М., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э., Бухман Г.Д.</i> Современные разработки по повышению эффективности теплообменных аппаратов турбоустановок	99
<i>Ильченко О.Т., Черноусенко О.Ю., Нынь А.С., Борисенко А.В.</i> К вопросу автоколебательности уровня конденсатора в аппаратах системы регенерации	102
<i>Ильченко О.Т., Черноусенко О.Ю., Нынь А.С.</i> Математическая модель струйного отсека смешивающего подогревателя системы регенерации ПТУ	105
<i>Ильченко О.Т., Борисенко А.В., Черноусенко О.Ю., Нынь А.С.</i> Экспериментальное исследование нестационарных процессов в турбоустановках ТЭС и АЭС	107
<i>Билан В.Н., Лесун И.Г., Тугушев Н.У.</i> САПР рабочих и направляющих лопаток паровых турбин	108
<i>Билан В.Н., Дьячкова В.В.</i> Информационное обеспечение проектирования и производства паровых турбин	111

<i>Стоянов Ф.А., Стоянов Л.Ф., И. Масаев</i> Оптимальное качественное регулирование теплоснабжения на источнике тепла	114
<i>Костенко П.П., Мушинуков Д.А.</i> О возможности повышения эффективности ГТУ термохимической регенерацией теплоты путем конверсии топлива	117
<i>Усик В.В.</i> Совершенствование подшипников турбоустановок для работы на водосодержащих, экологически чистых жидкостях	121
<i>Усик В.В.</i> Исследование работоспособности опорных подшипников паровых турбин при работе на водосодержащих жидкостях	124
<i>Лось В.Ю.</i> Расчет жидкостно-газового эжектора-конденсатора в составе контактной парогазотурбинной установки	127
<i>Братута Э.Г., Трубина Н.А.</i> Метод повышения эффективности безнасадочных низконапорных скрубберов	130
<i>Маляренко В.А., Егоров А.В.</i> Расчет тепловой характеристики брызгальных охладителей ТЭС и АЭС на основе турбулентной модели распада закрученных струй	133

Совершенствование газодинамических процессов и проточных частей турбомашин

<i>Поваров О.А., Семенов В.Н., Троицкий А.Н.</i> Образование жидких пленок на поверхности сопловых лопаток при расширении пара в двухфазной области	136
<i>Подвидз Г.Л., Курманов Б.И.</i> Расчет внешней теплоотдачи в решетках турбомашин с использованием различных моделей турбулентности	145
<i>Арсирый В.А.</i> Влияние структуры потоков рабочих тел на характеристики энергетического оборудования	147
<i>Русанов А.В., Ершов С.В.</i> Численный метод расчета трехмерного вязкого течения в турбомашине с учетом нестационарного взаимодействия неподвижных и вращающихся решеток	152
<i>Ершов С.В., Русанов А.В.</i> Комплекс программ <i>FLowER</i> [®] для расчета трехмерных вязких течений в многоступенчатых турбинах и компрессорах	158
<i>Кудринский А.В., Русанов А.В., Ершов С.В.</i> Численный метод расчета двухмерного многокомпонентного течения газа в составных областях сложной формы	165
<i>Гардзиевич А., Ершов С.В., Русанов А.В., Лампарт П.</i> Повышение эффективности ступени турбины высокого давления с помощью сложного навала лопаток статора	170

<i>Петельниц В.В., Шаровский М.А., Ершов С.В., Русанов А.В.</i> Расчетно-экспериментальное исследование ступени осевого компрессора ГПА-25000, спроектированной по закону переменного напора по высоте	175
<i>Терещенко Ю.М., Северин С.Д., Дыхановский В.Н., Тапол М.В.</i> Численная оптимизация лопаточных аппаратов осевого компрессора с учетом пространственного характера их обтекания вязким сжимаемым газом	183
<i>Гнесин В.И., Быков А.А., Ковалев А.С., Жандковски Р.</i> Программный комплекс для исследования флаттера плоских решеток профилей в невязком потоке газа	189
<i>Гнесин В.И., Колодяжная Л.В.</i> Численное моделирование нестационарного трехмерного потока идеального газа через колеблющийся венец турбомашин	197
<i>Андреев А.Ф., Федотов А.С., Rogовой М.И.</i> Комплекс программ по автоматизированному проектированию лопаточных аппаратов и проточных частей турбин и компрессоров	200
<i>Эпик Э.Я., Супрун Т.Т., Юшина Л.Е.</i> Моделирование потоков, характерных для проточной части турбомашин	203
<i>Эпик Э.Я., Супрун Т.Т., Юшина Л.Е.</i> Исследование профильных потерь ламинаризованных профилей при турбулизации внешнего потока	206
<i>Эпик Э.Я., Супрун Т.Т., Юшина Л.Е., Григоренко В.А.</i> Прогнозирование ламинарно-турбулентного перехода в усложненных условиях	209
<i>Макарова Н.В., Костенко П.П.</i> Расчетное исследование течения воздуха в проточной части компрессора на переходных режимах его работы	211
<i>Меняйлов А.В., Письменный В.И., Узрюмов М.Л.</i> Совершенствование диффузорных каналов энергетических установок на базе профилей с откорректированной диффузорностью	215
<i>Коткин В.В.</i> Методика расчета течения, возникающего при работе выходного устройства авиационного ГТД в условиях дозвукового полета	220
<i>Калкаманов С.А., Миргород Ю.И., Украинец Е.А.</i> Математическая модель обтекания винтовентиляторов дозвуковым потоком сжимаемого газа	223
<i>Ванин В.А.</i> Монотонизация разностных схем уравнений газовой динамики	228
<i>Бойко Л.Г., Ковалев М.А.</i> Метод расчета до- и трансзвукового течения в осевых компрессорах и результаты его апробации	231
<i>Логинов В.В., Кислов О.В.</i> Расчет поля течения газа в камере смешения ГРДД	235

<i>Чернышев, Ю.К.</i> Прямое моделирование течения газа в каналах сложной формы при малых числах Кнудсена	238
<i>Тарелин А.А., Антипцев Ю.П., Антопольская И.Е., Яковлев В.А., Мартыненко Е.А.</i> Универсальный программный комплекс многоцелевой и многоуровневой оптимизации характеристик энергетических турбомашин различного назначения	241
<i>Антопольская И.Е., Воробьев Ю.С., Мартыненко Е.А.</i> Учет ограничений по статической и динамической прочности на стадии поиска оптимальных термогазодинамических параметров последней ступени паровых турбин	245
<i>Шубенко А.Л., Ковальский А.Э., Шевякова И.Н.</i> Повышение экономичности и ресурса рабочих лопаточных аппаратов частей низкого давления паровых турбин ТЭС и АЭС, подвергаемых эрозионному воздействию влаги	251
<i>Ковальский А.Э.</i> Повышение эрозионной надежности проточных частей влажнопаровых турбин на основе развития и обобщения математических моделей рабочих процессов в низкопотенциальных отсеках	253
<i>Солодов В.Г.</i> Численный подход к исследованию нестационарных явлений в выхлопном отсеке паровой турбины	256
<i>Бойко Л.Г., Демин А.Е.</i> Аэродинамическое совершенствование параметров решеток профилей спрямляющего аппарата вентилятора авиационного двигателя на базе метода крупных частиц	260
<i>Каплан М.П., Печеная Е.Д., Росинская А.В.</i> Газодинамика проточных частей газовых турбин ОАО "Турбоатом"....	264
<i>Гнесин В.И., Быков А.А., Быков Ю.А., Ковалев А.С.</i> Применение неструктурированных сеток для расчета газодинамических течений	266
<i>Константинов В.В., Узрюмов М.Л.</i> Математическое моделирование взаимодействия вязких пристенных течений на ограничивающих поверхностях криволинейных диффузорных каналов	271

Теплообмен и тепловое состояние деталей и аппаратов турбоустановок

<i>Сосновский А.Ю., Евсеев Я.И., Шкляр А.И., Ермолаев В.В., Мительман М.М., Мурманский Б.Е.</i> Анализ работы системы тепловых расширений турбины К-300-240 ХТГЗ	275
<i>Переверзев Д.А.</i> Формирование и исследование рационального нестационарного и установившегося состояния охлаждаемых лопаток высокотемпературных турбомашин	277

<i>Приходько И.М., Раковский Х.В., Филиппов Э.Б., Черепенников Г.Б., Гусева И.А., Лещенко Т.Г.</i> Численное исследование теплового состояния конвективной поверхности нагрева с разрезанным спирально-ленточным оребрением	278
<i>Приходько И.М., Раковский Х.В., Филиппов Э.Б., Черепенников Г.Б., Гусева И.А., Лещенко Т.Г.</i> Математическое моделирование теплообмена пучка труб с разрезанным спирально-ленточным оребрением	281
<i>Чайка А.И., Кантемир А.Д., Иващенко Е.И., Пилип А.А.</i> Результаты исследований теплового состояния и совершенствование радиальных подшипников скольжения турбоустановок	284
<i>Братута Э.Г., Нгуен дьк Тоан</i> Влияние вибрации на теплообмен при кипении	290
<i>Переверзев Д.А., Лебедев А.Г.</i> Моделирование и алгоритмизация проектно-исследовательских работ при создании и совершенствовании теплообменников турбоустановок ..	294
<i>Лебедев А.Г.</i> Совершенствование математических моделей и алгоритмов для программно-вычислительного комплекса определения взаимных тепловых перемещений деталей и узлов турбоустановок на различных этапах их функционирования	298
<i>Межлумов М.М.</i> Методы конформного отображения для определения температурных полей в деталях тепловых турбин	300

Диагностирование, прогнозирование и безопасность работы паровых турбин

<i>Божко А.Е., Лычкатый Е.А.</i> Автоматизированная система испытаний для прогнозирования усталостной долговечности изделий	301
<i>Левченко Е.В., Гришин Н.Н., Сухихин В.П., Дучкин Н.С.</i> Безопасность АЭС при гипотетическом разрушении ротора турбины ...	304
<i>Великович М.В., Мурманский Б.Е.</i> База знаний системы вибрационной диагностики паровых турбин	308
<i>Лебедев В.А., Лебедев В.В., Мурманский Б.Е., Шаранов А.Г.</i> Диагностика системы регулирования паровых турбин в процессе эксплуатации	313
<i>Симбирский Д.Ф., Олейник А.В., Суховой С.И.</i> Математическое моделирование при экспериментальных исследованиях теплового состояния турбоустановок	315
<i>Симбирский Д.Ф., Скрипка А.И., Олейник А.В., Филяев В.А.</i> Средство диагностирования теплового состояния деталей и узлов турбоустановок	319
<i>Хориков А.А.</i> Метод и система диагностики аэроупругих колебаний рабочих лопаток компрессоров датчиками пульсаций	323

<i>Шульженко Н.Г., Ганжа А.М.</i> Определение места разбалансировки турбоагрегата вследствие отрыва части лопатки или бандажа	332
<i>Колодяжский А.В., Милешкин М.Б.</i> Разработка технологии тензометрического и акустико-эмиссионного контроля и диагностики прочности энергетического оборудования	335
<i>Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И., Вечирко В.В., Руденко Е.К.</i> Программное обеспечение для контроля и регистрации вибраций турбоагрегата	340
<i>Ляпунов В.М., Флакман А.А.</i> Программный инструментальный комплекс для создания систем реального времени	344
<i>Голощанов В.Н., Парамонова Т.Н.</i> Разработка концепции диагностики ТМС турбин по показаниям штатных приборов	347
<i>Шаргородский В.С., Ляпунов В.М., Митенков А.В.</i> Программный комплекс для прогнозирования режимных параметров при пусках из любых тепловых состояний турбины Т-100-130 с диагностированием срабатывания ее ресурса	350
<i>Голоскоков Е.Г., Пикур Э.А., Рохленко В.Ю.</i> Разработка структуры высокоточного электрогидравлического следящего привода САР паровой турбины	353
<i>Шульженко Н.Г., Билетченко В.П., Цыбулько В.И., Метелев Л.Д., Ефремов Ю.Г.</i> Система мониторинга вибрации турбоагрегата	356
<i>Рохленко В.Ю., Бабаев И.Н.</i> Расчетная оценка динамических характеристик компактного электрогидравлического следящего привода с автономной системой подачи рабочей жидкости	360
<i>Бабаев И.Н., Гладкий П.М., Немиров В.С.</i> Сравнительный анализ динамических свойств электрогидравлического следящего привода, работающего на воде	365
<i>Аронсон К.Э., Бродов Ю.М., Ниренштейн М.А., Исаев А.П., Петров В.Е.</i> Тестовая система оценки знаний машинистов турбин	370

Проблемы модернизации и технического перевооружения энергетических установок

<i>Левченко Е.В., Сухинин В.П., Аркадьев Б.А., Альперт А.С.</i> Модернизация турбоустановок К-300-240 ОАО "Турбоатом" для электростанций Украины	373
<i>Дунаев А.А., Тугушев Н.У.</i> Раскрытие новых возможностей системы DUCT 5.4 для формирования моделей пера турбинной лопатки и расчета относительного положения детали и инструмента	377
<i>Зарубин Л.А., Галацан В.Н., Еникеев Э.Р.</i> Модернизация турбин НПО "Турбоатом" мощностью 220 МВт для АЭС	384

<i>Карцев А.И., Островецкий Р.М., Фертман Л.Л.</i> Проблемы и перспективы разработки рациональной стратегии модернизации и замены трубопроводов ТЭС с целью обеспечения эксплуатационной надежности и продления ресурса	387
<i>Карцев А.И., Крючко Г.Д., Русанов С.Ф., Фертман Л.Л., Богданов Д.А.</i> О применении специальных линзовых компенсаторов для модернизации трубопроводов энергоблоков К-300-240 и К-800-240	392
<i>Плотников П.Н., Купцов В.К., Анисимова О.С.</i> Современные способы повышения надежности теплообменных аппаратов при модернизациях и ремонтах турбоустановок	397
<i>Артюх С.Ф.</i> Перспективы повышения эффективности ГЭС путем управления частотой вращения роторов гидроагрегатов	402
<i>Шелепов И.Г., Быкова Т.И., Шелепова Е.И.</i> Выбор оптимальных вариантов дальнейшего использования оборудования ТЭС Украины	405
<i>Кострыкин В.А., Быкова Т.И.</i> Анализ состояния и пути модернизации действующего турбинного оборудования	408
<i>Гродский Г.О., Ляпунов В.М.</i> Использование научного задела при доводке паротурбинного оборудования электростанций	411

Процессы и конструкции гидравлических турбомашин

<i>Умов В.А., Череповицин Л.А., Эль-Саид Абдель Хай Кассим Шехата, Яровой А.В.</i> Расчетные и экспериментальные исследования гидродинамических сил в уплотнениях быстроходных рабочих колес насос-турбин радиально-осевого типа	414
<i>Захаров А.В., Топаж Г.И.</i> Пакет прикладных программ по проектированию рабочих колес гидротурбин и прогнозированию их гидравлических показателей	418
<i>Веремеенко И.С., Скляр А.В.</i> Разработка экологически-чистого оборудования для модернизируемой Камской ГЭС	421
<i>Веремеенко И.С., Вапник Б.К., Точилин И.Л.</i> Состояние и перспективы применения полимер-металлических композиционных материалов в гидротурбостроении	424
<i>Веремеенко И.С., Вапник Б.К., Шайн С.Б.</i> Создание рабочих колес для реконструкции Днепрогэс-1	428
<i>Федулов Ю.И., Дедков В.Н., Сухоробрый П.Н., Агбалов Е.С., Шелудяков Л.О., Хорев О.Н.</i> Мини и микрогидроэнергетические установки	431
<i>Федулов Ю.И., Дедков В.Н., Сухоробрый П.Н., Агбалов Е.С., Хорев О.Н.</i> Разработка и исследование моделей обратимых гидромашин ОРО 120 ..	435

<i>Потетенко О.В., Булгаков В.А.</i> Характерные особенности структуры потока в подводящих органах и рабочем колесе высоконапорной радиально-осевой гидротурбины	438
<i>Потетенко О.В., Гришин А.М.</i> Математическая модель и особенности расчетного алгоритма потока индуцированного спиралеобразным вихрем в отсасывающей трубе	441
<i>Потетенко О.В.</i> Характерные особенности структуры потока за рабочим колесом радиально-осевой гидротурбины на нерасчетных режимах работы	444
<i>Завьялов П.С.</i> Математическое моделирование пульсаций давлений от нескольких вихревых жгутов за рабочими колесами гидротурбин и обратимых гидромашин	448
<i>Барлит В.В., Бородаевский В.В., Шеховцов В.К., Яковлева Л.К., Вапник Б.К.</i> Модернизация проточной части гидротурбин типа РО 45 с целью повышения их мощности и улучшения энергокавитационных показателей.	454
<i>Клюйков И.Т.</i> Проблемы гидромеханики	457
<i>Кольчев В.А.</i> Численное моделирование энергетических характеристик радиально-осевых гидротурбин	461
<i>Кольчев В.А., Драшковский В.Э., Мараховский М.В.</i> Анализ гидродинамических характеристик проточной части радиально-осевой гидротурбины	468
<i>Николаева Е.Г.</i> Асимптотическое поведение решений одной задачи механики жидкости с твердыми включениями	473
<i>Евтушенко А.А.</i> Гидродинамические аспекты новой концепции развития насосостроения	477
<i>Евтушенко А.А., Сапожников С.В.</i> Использование гидротурбинного привода в насосах для перекачивания газожидкостных смесей	481
<i>Неня В.Г., Баранова И.В.</i> Расчет турбулентного пограничного слоя методом конечных элементов	484
<i>Калиниченко П.М.</i> Передача энергии в лопастных гидромашинах	490

Динамика и прочность турбомашин

<i>Воробьев Ю.С., Капило С.П., Романенко В.Н., Романенко Л.Г., Шепель А.И.</i> Анализ НДС замковых соединений лопаток турбомашин с учетом одно-стороннего контакта и сил трения	497
<i>Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П.</i> Математическое обеспечение для прогнозирования вибрационного и термонапряженного состояния турбомашин	500

<i>Кантор Б.Я., Веремеенко И.С., Медведевская Т.Ф., Зеленская О.Н., Еселева Е.В.</i> Исследование динамики циклически симметричных несущих конструкций гидротурбин	503
<i>Колесников В.И., Шереметьев А.В.</i> Расчетно-экспериментальные методы исследования термонапряженного состояния узлов авиационных ГТД	507
<i>Колесников В.И., Шереметьев А.В.</i> Использование методов численного и физического моделирования для установления циклических ресурсов основных деталей авиационных ГТД	512
<i>Колесников В.И.</i> Ресурсное проектирование авиационных ГТД	517
<i>Колесников В.И., Придорожный Р.П.</i> К ресурсному проектированию монокристаллических охлаждаемых лопаток турбины	522
<i>Почтман Ю.М.</i> Некоторые модели оптимизации неравномерно корродирующих нагруженных тонкостенных конструкций	527
<i>Петросяну В.А., Симсон Э.А., Солошенко В.А., Медведев Д.В., Назаренко С.А.</i> Проблемы проектирования и внедрения рабочих колес турбокомпрессоров "ТКР-ТВ" для наддува ДВС	530
<i>Гонтаровский П.П., Гармаш Н.Г.</i> Расчет напряженно-деформированного состояния замковых соединений лопаток турбомашин с учетом термоконтактных взаимодействий	533
<i>Степаненко С.М.</i> К вопросу о прочности дисков ГТД с учетом стадии развития усталостных трещин	537
<i>Борискин О.Ф., Барышникова О.О., Лошкарев Д.Г.</i> Смешанные конечноэлементные аппроксимации в динамике и прочности машин	540
<i>Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Пономарев В.В.</i> К оценке живучести элементов паровых турбин на стадии роста трещины	541
<i>Хориков А.А.</i> Обеспечение отсутствия флаттера лопаток компрессоров на различных этапах создания турбомашин	546
<i>Веремеенко И.С., Асаенко А.В., Зайцев Б.Ф., Иосевич И.С.</i> Трехмерный анализ НДС корпуса втулки рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины	555
<i>Милешкин М.Б., Библик И.В.</i> Экспериментально-расчетное определение прочности элементов конструкций с учетом особенностей структуры и степени поврежденности материала	559

Тіхоміров А.Є., Дука С.О.

Методика визначення довговічності пошкоджених лопаток компресора авіаційного газотурбинного двигуна 566

Гнисько В.И.

Прочность тонкостенных конструкций вращения турбомашин при несимметричном термосиловом нагружении 569

Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И., Пантелеят М.Г.

К расчету элементов турбомашин на неустановившуюся ползучесть 572

Чайка А.И.

Теоретические и экспериментальные исследования вынужденных колебаний и устойчивости движения шеек роторов в радиальных подшипниках жидкостного трения турбомашин 576