

«Проблемы энергосбережения Украины и пути их решения»

[Г. Гапон, научный сотрудник кафедры турбиностроения]

#16-17 от 24.06.2010

22 и 23 апреля 2010 года с большим успехом прошла VI Всеукраинская научно-техническая конференция «Проблемы энергосбережения Украины и пути их решения». Её организатором по утвердившейся за шесть лет традиции является кафедра турбиностроения НТУ «ХПИ» – одна из ведущих кафедр энергетического турбиностроения в бывшем Советском Союзе, продолжающая и ныне сохранять свой авторитет в науке и являющаяся единственной в Украине, готовящей инженерные и научные кадры для своей отрасли. Конференция состоялась в год 125-летия нашего университета и 80-летия кафедры и была приурочена к этим знаменательным датам.



Из года в год тема конференции остаётся чрезвычайно актуальной. Вопросы энергосбережения стоят остро не только перед Украиной, но и перед многими странами мира, становясь вопросами их энергетической безопасности.

Работа конференции проходила в двух секциях: «Повышение экономичности и надежности турбоустановок» и «Проблемы совершенствования теплоэнергетического оборудования». Был представлен 41 доклад от 102 авторов 26 различных научных и производственных организаций, вузов, тепловых электростанций, газоперекачивающих станций и др. объектов, работающих в области теплоэнергетики Украины, России, ФРГ. Об уровне докладов говорят сухие цифры: среди их авторов – академик Российской Академии Естественных Наук, 2 члена-корреспондента Национальной Академии Наук Украины, 10 лауреатов Государственной премии Украины в области науки и техники, 19 докторов и 39 кандидатов технических наук, видные специалисты отрасли.

Конференцию открыл её председатель, заведующий кафедрой турбиностроения НТУ «ХПИ», академик Российской Академии Естественных Наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, д. т. н., профессор А.В. Бойко, поздравивший от имени всех присутствующих традиционных участников конференции О.Ю. Черноусенко (НТУУ «КПИ»), выпускницу кафедры турбиностроения НТУ «ХПИ», и А.И. Тарасова,

профессора кафедры турбиностроения НТУ «ХПИ», с присуждением им степени доктора технических наук в текущем учебном году. Свои работы они успешно опробовали на наших конференциях. «Мне приятно отметить, что в ближайшее время ещё несколько постоянных участников нашей конференции завершат работу над докторскими диссертациями», – сказал председатель.

В своем вступительном слове Анатолий Владимирович Бойко сделал обзор состояния мировой энергетики и влияния на эту отрасль мирового финансового кризиса, отметив, какие уроки следует извлечь из развития мировой энергетики и каковы прогнозы на её будущее в ближайшие 10–30 лет.

Большой интерес у присутствующих вызвал фундаментальный доклад специалистов ведущего предприятия атомной энергетики бывшего Советского Союза, а ныне флагмана отечественного турбиностроения ОАО «Турбоатом» – первого заместителя генерального директора, генерального конструктора, к. т. н. Е.В. Левченко, главного конструктора паровых и газовых турбин В.Л. Швецова и инженеров завода И.И. Кожешкурта и А.Н. Лобко «Опыт ОАО «Турбоатом» в разработке и модернизации турбин для АЭС». В нем подробно рассмотрены вопросы повышения экономичности и надежности турбин при создании новых и совершенствовании ранее выпущенных турбоагрегатов для атомных электростанций.



Турбины, созданные ОАО «Турбоатом», сегодня надежно работают в 45 странах мира. С 70-х годов предприятием было изготовлено 169 турбин для АЭС общей мощностью 63662 МВт. В настоящее время находятся в эксплуатации: 34 турбины типа К-220-44 различных модификаций мощностью 220 МВт, 22 турбины типа К-500-65/3000 мощностью 500 МВт, две турбины К-750-65/3000 мощностью 750 МВт, 17 турбин типа К-1000-60/1500 мощностью 1000 МВт на 1500 об/мин и две турбины К-500-60/1500 мощностью 500 МВт также на 1500 об/мин.

ОАО «Турбоатом» предоставляет многовариантную возможность проведения модернизации действующих блоков в зависимости от конкретных условий их работы, но в любом из вариантов предлагаемая модернизация позволяет получить дополнительную мощность для энергоблока без увеличения тепловой мощности реактора и при сохранении

их высокой надежности, а это и есть повышение энергоэффективности турбоагрегата. Для строительства новых АЭС ОАО «Турбоатом» предлагает паровые турбины нового поколения мощностью 1100, 1200 МВт, в которых обеспечиваются высокие показатели надежности, экономичности и ремонтпригодности, а также есть возможность отпуска пара на теплофикационные нужды до 1000 МВт от каждой турбины.

Недавно ОАО «Турбоатом» выполнил заказ индийской корпорации атомной энергетики NPCIL на создание для двух АЭС «Кайга» и «Раджастан» четырех турбин К-240-4,0 мощностью 241,5 МВт. По одной турбине уже находятся в эксплуатации на каждой станции. Заказчик доволен.

Турбины ОАО «Турбоатом» соответствуют современному техническому уровню. По данным журнала Nuclear Engineering, укомплектованные турбинами типа К-220-44 электростанции «Ловииса» (Финляндия) и «Пакш» (Венгрия) постоянно входят в число лучших АЭС мира по использованию установленной мощности.



Одним из первых в мировой практике д. т. н. В.И. Гнесин разработал и применил в турбиностроении теорию аэроупругости. Обычно при проектировании турбомашин расчеты аэродинамики потока, проходящего через её проточную часть, и расчеты на прочность лопаточного аппарата проводились отдельно. Но в процессе испытаний двигатель мог разрушиться. Причина – в появлении неустойчивости течения, которая расчетным путем не выявлялась. Ученый обратил внимание на взаимное влияние явлений, изучаемых в обоих случаях и на необходимость их совместного рассмотрения.

Так, в областях, где происходит отбор рабочего тела из проточной части (или подвод его в проточную часть), имеет место неравномерное по окружности колеса распределение аэродинамических параметров (давления, скорости, плотности т. д.). Оно создает переменные силы, воздействующие на вращающиеся лопатки и вызывающие их колебания. И обратно – при колебании лопатки перемещаются и создают силы, воздействующие на

обтекающий их поток, изменяя при этом его параметры. Изменившиеся параметры потока снова воздействуют на лопатки, создавая их колебания, а колеблющиеся лопатки отвечают воздействием на поток, меняя его параметры, и т. д. Эти явления могут усиливаться, тогда может произойти поломка, а могут уравниваться, тогда наступает устойчивый режим автоколебаний. Одно из приложений разработанной теории аэроупругости для турбомашин нашло отражение в докладе д. т. н. В.И. Гнесина, к. т. н. Л.В. Колодяжной «Численное исследование аэроупругого поведения компрессорной ступени в трехмерном потоке вязкого газа» (Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины). Доклад иллюстрирует возможность прогнозировать аэроупругое поведение лопаточного аппарата в нестационарных условиях работы агрегата. Использование таких возможностей именно на стадии проектирования очень важно для повышения эффективности и надежности проточных частей турбомашин. Это работы мирового уровня.

В целях получения многофункционального инструмента для создания оптимальных конструкций паро- и газотурбинных установок на кафедре турбиностроения НТУ «ХПИ» под руководством профессора А.В. Бойко разрабатывается универсальная система САПР «Турбоагрегат». Она, в отличие от существующих, имеет возможность учитывать в процессе оптимального проектирования взаимное влияние самостоятельных объектов, входящих в установку (турбины, компрессора, камеры сгорания) и легко достраивать новые уровни оптимизации или недостающие модули, расширяя возможности и круг решаемых задач.



Один из её фрагментов был представлен на конференции в докладе д. т. н. А.В. Бойко, к. т. н. Ю.Н. Говорущенко, к. т. н. А.П. Усатого, А.С. Руденко «Алгоритм оптимизации проточных частей осевых турбин газотурбинных установок с учетом режимов эксплуатации».

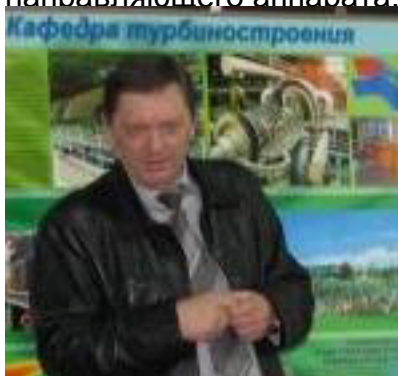
Разработанный алгоритм может быть использован при проектировании или модернизации газовых турбин любого назначения. Особо актуален он для установок типа ГТН-6, ГТ-750-6 и др., которые работают (около 630 шт.) как приводы газоперекачивающих агрегатов в газотранспортной системе Украины, из них 80 % давно превзошли плановый ресурс работы и нуждаются в обновлении. Использование данного метода для модернизации указанных установок позволит без значительных затрат повысить их эффективность с учетом индивидуального подхода к каждой установке и особенностям её эксплуатации.

Разработанная методика уже прошла своего рода экспертизу. В марте прошлого года в Австрии состоялась 8-я конференция стран Европейского союза по турбомашинам. Для

участия в ней те же авторы представили методику расчета проточных частей агрегатов на переменном режиме, продемонстрировав её применение при оптимизации турбодетандера. Работа получила высшую оценку экспертов ЕС, была принята и опубликована в докладах этой конференции. Материалы 8-ой конференции стран Европейского союза по турбомашинам имеются на руках у авторов, ознакомиться с которыми приглашаются все желающие.

При модернизации паровых турбин, выработавших свой ресурс, и проектировании новых всегда ставится задача повышения их экономичности за счет совершенствования лопаточного аппарата.

Доклад к. т. н. Ю.Н. Говорущенко, М.В. Бурлаки «Методы параметрической оптимизации навала направляющих турбинных лопаток» (НТУ «ХПИ», кафедра турбиностроения) посвящен вопросам повышения КПД турбинных лопаток путем применения сложного тангенциального навала. Предложен метод и алгоритм оптимизации направляющих лопаток осевых турбин, которые можно использовать для создания высокоэффективных ступеней цилиндров высокого давления мощных паровых турбин. Об уровне работ по оптимизации турбомашин, проводимых на кафедре турбиностроения, говорит следующий факт. В Монреале (Канада) 1–5 августа текущего года состоится 3-й Американско-Европейский симпозиум по проточным машинам. Представленный по указанной работе доклад получил высокую оценку американских рецензентов, включен в программу симпозиума и будет опубликован в сборнике докладов конференции, который выйдет в конце июня сего года. Существенные резервы повышения экономичности турбоагрегатов содержатся в применении пространственного профилирования лопаточных аппаратов и проточной части турбины в целом. Учитывая, что в настоящее время энергетические турбоагрегаты большой мощности эксплуатируются в широком диапазоне изменения нагрузки, их модернизацию необходимо проводить с учетом переменных режимов работы и реального графика нагрузок. Прежде всего это относится к модернизации цилиндров низкого давления (ЦНД) паровых турбин, особенно их последних ступеней, от совершенства которых в большой мере зависит экономичность всей проточной части турбины. В докладе д. т. н. С.В. Ершова и В.А. Яковлева «Многорежимная оптимизация последней ступени ЦНД паровой турбины» (Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины) с использованием трёхмерной модели расчета вязкого течения выполнена оптимизация последней ступени ЦНД паровой турбины 200 МВт с учетом графиков сезонных и годовых нагрузок. В результате оптимизации получена конструкция ступени с саблевидными лопатками направляющего аппарата. КПД ступени поднят на 0.4 %.



Одним из проблемных элементов проточных частей паровых турбин являются первые ступени цилиндров высокого давления. На характер обтекания этих ступеней наибольшим образом влияет изменение режима работы турбины. В этом плане заслуживает внимания доклад д. т. н. А.В. Русанова (ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины), к. т. н. Е.В. Левченко, В.Л. Швецова (ОАО «Турбоатом»), А.И. Косьяновой (НТУ «ХПИ»). В докладе представлены результаты численного исследования проблемы применительно к турбине К-325-23,5 мощностью 325 МВт и предложена новая форма лопатки направляющего аппарата 2-й ступени, позволяющая поднять КПД проточной части турбины на режимах, отличных от номинального.

Существенные резервы повышения эффективности турбоустановок содержатся в совершенствовании трактов отборов, паровпусков, переходных и выхлопных патрубков. Итогом исследований, выполненных авторами за последние несколько лет, явился доклад д. т. н. В.Г. Солодова, к. т. н. А.А. Хандримайлова (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет), к. т. н. Е.В. Левченко, В.Л. Швецова, В.А. Конева (ОАО «Турбоатом») «Опыт аэродинамического совершенствования конструкции отсека ЦСД-ЦНД1 паровой турбины К-325-23,5». (ЦСД и ЦНД1, ЦНД2, ЦНД3 – обозначения цилиндра среднего давления и первого, второго, третьего цилиндров низкого давления). Речь идет об отсеке, где пар, пройдя через последнюю ступень ЦСД, покидает его и далее распределяется: одна часть потока направляется транзитом в ЦНД1, а другая его часть через камеру отбора попадает в два ресивера, ведущих к ЦНД2, ЦНД3. Это сложный отсек, имевший зоны вихреобразования и, следовательно, потери энергии и другие недостатки. На высоком уровне авторами был проведен обширный объем исследований: усовершенствованы последняя ступень ЦСД и первая ступень ЦНД1, выбрана рациональная форма тракта транзитного потока, выходящего из ЦСД и направляемого в ЦНД1, и сформирован осерадиальный диффузор для потока отбора пара из ЦСД в ЦНД2 и ЦНД3. В результате предложенная форма проточной части отсека ЦСД-ЦНД1 позволила существенно уменьшить по сравнению с исходной потери давления в трактах транзитного потока и отбора пара на ЦНД2 и ЦНД3, а также увеличить КПД ступени ЦНД1 на 2,42 %. В реальных условиях работы паротурбинной установки давление в конденсаторе изменяется в широком диапазоне, зависящем от времени года и местонахождения электростанции, и оказывает существенное влияние на экономичность и надежность турбины. Вопросу влияния изменения давления в конденсаторе на течение в осерадиальном диффузоре выхлопного патрубка мощной паровой турбины с целью его дальнейшего совершенствования посвящен доклад к. т. н. Ю.А. Юдина, к. т. н. В.П. Субботовича, к. т. н. А.В. Лапузина, к. т. н. А.Ю. Юдина «Влияние надбандажной протечки на аэродинамику осерадиального диффузора выхлопного патрубка ЦНД паровой турбины при изменении противодавления» (НТУ «ХПИ», кафедра турбиностроения). Результаты этих исследований могут быть использованы при проектировании выхлопных частей ЦНД мощных паровых турбин и для проведения анализа работы отсека последняя ступень – выхлопной патрубков в зависимости от давления в конденсаторе. В условиях Украины, когда парк турбин тепловой энергетики в основном превзошел

расчетное время работы почти вдвое, очень важно уметь правильно оценивать прочностные характеристики и остаточный ресурс роторов турбин при продлении сроков их эксплуатации. Этому вопросу посвящен доклад д. т. н. О.Ю. Черноусенко (НТУУ «КПИ»), д. т. н. А.П. Бовсуновского (Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины), к. т. н. Е.В. Штефан (Национальный университет пищевых технологий), Р.И. Гудова (НТУУ «КПИ») «Расчетное и экспериментальное исследование многоциклового усталости вала паровой турбины мощностью 200 МВт вследствие его крутильных колебаний».

Исследование проведено для паровой турбины К-220-130. Самый высокий уровень напряжений на валу получен при режиме короткого замыкания в двух сечениях. Уровень напряжений не превышает предел прочности, что обеспечивает статическую прочность вала. Остаточный ресурс вала составляет 30–70 тыс. часов.

Доклады, посвященные совершенствованию турбоустановок, часть из которых сейчас упомянута, ещё раз наглядно показывают, что Турбина – это не просто агрегат, это произведение инженерного искусства, в котором отточен каждый элемент.



Одним из способов сокращения потребления традиционных энергоносителей и улучшения экологии является разработка и использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – энергии солнца, ветра, биомассы. Интересен в этом плане опыт Германии, о котором шла речь в докладе Г.А. Геродеса (Институт энергетических исследований РАН, Москва), С.А. Браилко (МГУ им. Ломоносова, Москва) «Опыт Германии в применении энергосберегающих технологий и технологий получения энергий на базе возобновляемых источников».

Выпускник нашего института, Г.А. Геродес после защиты кандидатской диссертации находился на дипломатической работе, а затем был консулом Российской Федерации в ФРГ и мог оценить преобразования в стране еще и с технической точки зрения.

В Германии практически нет энергоресурсов, уголь уже заканчивается. Рост цен на нефть, проблемы с транспортировкой газа потребовали пересмотра стратегии в области энергетики. Как и во всех странах Запада, в Германии реализуют широкомасштабные программы внедрения энергосберегающих технологий и использования ВИЭ. В 2007 году правительство ФРГ приняло комплексную энергетическую программу сроком до 2020 года, по которой намечено удвоить по сравнению с 1990 годом показатель энергоэффективности, на 50 % покрывать энергозатраты за счет ВИЭ. Поскольку на мировом рынке цены на

традиционные энергоносители (нефть, газ, атомная энергия) не обеспечивают конкурентоспособности ВИЭ, то намечена широкая государственная поддержка мотивации освоения и использования ВИЭ, которая приведет к росту инвестиций темпом около 30 млрд. евро в год, росту ВВП страны – темпом около 70 млрд. евро в год и дополнительному созданию около 500 тыс. новых рабочих мест.

Уже сейчас в Германии около 17 % производимой электроэнергии обеспечивают альтернативные источники её получения. В 2020 году они заменят выводимые из строя атомные электростанции, а число людей, занятых в новой сфере энергетики, будет сопоставимо с их числом в автомобильной промышленности. Мы будем свидетелями (но пока не участниками) технологической революции в мире, в энергетике и энергосбережении. Увы, нет возможности остановиться на всех докладах, вынесенных на конференцию. Они интересны и важны. Ознакомиться с ними можно в тематических сборниках «Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование» Вестников НТУ «ХПИ» № 2 и № 3 за 2010 год, вышедших из печати по сложившейся традиции к открытию конференции.

Доклады представили Институт экономических исследований РАН Российской Федерации, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Московский Энергетический Институт (Технический Университет) (г. Москва, Россия); ОАО «Турбоатом» (г. Харьков); GE Energy (г. Москва, Россия); Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины (г. Харьков); Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Национальный университет пищевых технологий (г. Киев); Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова (г. Николаев); Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Филиал Центральное конструкторское бюро «Энергопрогресс» ООО «Котлотурбопром», ОАО «Турбогаз», ОАО «Харьковская ТЭЦ 5», Украинская инженерно-педагогическая академия (г. Харьков); ОАО Сумское НПО им. М.В. Фрунзе (г. Сумы); Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» (г. Харьков); Национальный университет водного хозяйства и природопользования (г. Ровно); ОАО «Мотор-Сич» (г. Запорожье); Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Национальная металлургическая академия Украины, Украинский государственный химико-технологический университет (г. Днепропетровск); Институт электродинамики НАНУ (г. Киев); ОПК «Гидроэлекс», ГП «Электротяжмаш» (г. Харьков); ученые из ФРГ (г. Хемниц, г. Аахен) и др. НТУ «ХПИ» представил 16 докладов, из них кафедра турбиностроения – 11.

Результаты конференции свидетельствуют о том, что в области энергетического турбиностроения Украина обладает высоким научно-техническим потенциалом. На современном уровне находятся изделия главного (и единственного) производителя отечественных энергетических турбин ОАО «Турбоатом», работающего в тесной связи с научными коллективами вузов и др. организаций. На переднем крае мировой науки находятся достижения кафедры турбиностроения НТУ «ХПИ» в области оптимизации турбомашин. Высокую государственную оценку получили работы кафедры в области

аэродинамики турбомашин, выразившуюся в присвоении профессору кафедры турбиностроения В.П. Субботовичу вместе с коллективом авторов Государственной премии Украины в области науки и техники за 2009 год. Общий экономический эффект от внедрения турбин нового поколения и использования их для модернизации турбин К-300-240, давно превысивших свой ресурс, составляет 2 млрд. грн. Результаты работы внедрены на Зуевской, Змиевской, Приднепровской ТЭС, а также на тепловых электростанциях Российской Федерации, Казахстана, Китая. Работы продолжаются, а значит, новые успехи впереди.