

УДК

**Ю. М. Мацевитый**, академик НАН Украины

**А. В. Русанов**, член-корреспондент НАН Украины

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  
(г. Харьков, Украина, e-mail: ipmach@ipmach.kharkov.ua)*

**ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ  
МАШИНОСТРОЕНИЯ ИМ. А.Н. ПОДГОРНОГО НАН УКРАИНЫ  
(К 45-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА)**

**А.Л. ШУБЕНКО**, член-корр. НАН Украины

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  
(г. Харьков, Украина, e-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua)*

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ И КОНСТРУКЦИЙ СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ ВЛАЖНОГО ПАРА**

В настоящее время перед энергетикой Украины стоит острейшая проблема повышения эффективности эксплуатации электрогенерирующего оборудования с достижением современных показателей по удельному расходу тепла. Эта задача может решаться двумя путями:

- создание новых турбин, отвечающих мировым стандартам;
- модернизация энергетического оборудования с учетом современных научных достижений в области совершенствования рабочих процессов в проточных частях при одновременном продлении ресурса.

В любом случае большую важность имеют вопросы, связанные с работой турбинных ступеней в области влажного пара в цилиндрах низкого давления (ЦНД), где образование, трансформация и перенос влаги оказывают заметное отрицательное влияние на показатели экономичности и надежности ступеней.

В докладе представлено современное состояние проблемы повышения показателей экономичности и продления ресурса влажнопаровых ступеней турбин, в том числе на основе подходов, разработанных в Институте проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины.

К ним следует отнести:

- создание метода расчета нестационарной конденсации, обобщающего классическое стационарное решение Зильдовича-Френкеля на случай нестационарного зарождения, характерного для рассматриваемой ситуации течения переохлажденного пара в ступени турбомшины;
- новый подход к определению механических потерь от влажности в последних ступенях турбин с учетом переотражения капель воды, взаимодействующих с рабочими лопатками;
- математическая модель прогнозирования эрозионного износа лопаточных аппаратов влажнопаровых ступеней, основанная на использовании кинетической концепции прочности материалов.

В заключительной части доклада рассмотрен комплекс предложенных мероприятий для уменьшения вредного влияния влаги в ступенях ЦНД. Оценка их эффективности показала, что за этот счет может быть достигнута повышение экономичности ступени на 4 – 4,5 %.

Рассмотрены также возможности ослабления эрозионного износа лопаток на основе применения пассивных методов борьбы с эрозией, в частности, за счет применения новых противоэрозионных покрытий на основе метода атомно-ионного распыления в вакууме (АИР).

**О. Ю. Черноусенко**, д-р техн. наук

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»*

*( м. Київ, Україна, e-mail: chernousenko20a@gmail.com*

## **КОМПЛЕКСНАЯ СХЕМА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА РОТОРОВ ЦВД, ЦСД И ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ МОЩНОСТЬЮ 200 МВт**

ОЭС Украины продолжает оставаться одной из наиболее мощных энергетических систем Европы. По данным Минтопэнерго суммарная установленная мощность ЭС составляет 54 ГВт (включая 3.2 ГВт на востоке и юге Украины). Мощность ТЭС равна 24,5 ГВт (47,2 %), ТЭЦ – 6,5 ГВт (12,5 %), АЭС – 13,8 ГВт (26,6 %), ГЭС и гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) – 5,9 ГВт (11,4 %), ветровых электростанций – 0,5 ГВт (0,9 %), солнечных электростанций – 0,4 ГВт (0,8 %). Основное производство электроэнергии в Украине приходится на тепловые (ТЭС) и атомные (АЭС) электростанции. В 2016 г. по данным Министерства энергетики и угольной промышленности и Национальной Энергетической Компании «Укрэнерго» произведено 154 817,4 млн. кВт·ч электроэнергии, что на 2 847,8 млн. кВт·ч меньше, чем за тот же период 2015 г. Электрическая энергия, выработанная на ТЭС (30,86%) и больших ТЭЦ (6,25 %), составила 56 611,6 млн. кВт·ч (36,57 %) от общего объема произведенной электроэнергии.

На АЭС выработано 80 950 млн. кВт·ч (52,28 %) от общего объема произведенной электроэнергии. Коэффициент использования установленной мощности с начала 2016 года составил 66,6 % (за 2015 год – 72,3 %) [1, 2].

В Украине широко применяемой практикой есть использование в маневренных полупиковых режимах пылеугольных блоков мощностью 200-300 МВт, которые проектировались для работы в базовых режимах. Пылеугольные энергоблоки Приднепровской, Криворожской, Запорожской, Зуевской, Луганской, Старобешевской, Славянской, Угледорской, Змиевской, Трипольской, Ладыжинской, Бурштынской ТЭС Украины оснащены котлоагрегатами с жидким шлакоудалением, когда проектный диапазон регулирования нагрузок составляет 80–100 %.

Для прохождения минимальных нагрузок при имеющейся структуре генерирующих мощностей в ОЭС Украины используют снижение нагрузок ТЭС и ТЭЦ. Треть снижения нагрузок покрывают ГЭС, а остальное - угольные ТЭС с вынужденной остановкой на ночь на 4–6 ч (9–16 энергоблоков). Такие нештатные пуски и остановки оборудования ТЭС Украины ускоряют его износ.

Для увеличения срока эксплуатации энергоблоков паровых турбин большой мощности необходимо применять комплексный подход как в вопросах продления дальнейшей эксплуатации оборудования ТЭС, так и в вопросах замены энергетического оборудования ТЭС новым при необходимости. Продление ресурса энергетического оборудования – это наиболее дешевый способ реновации тепловых электростанций. Внедрением комплексной системы мероприятий можно увеличить срок эксплуатации без значительного увеличения материальных затрат на обновление энергетических объектов [3, 4].

Исследованы высокотемпературные элементы турбины К-200-130 блока № 4 ДТЭК Кураховская ТЭС ООО «ДТЭК Востокэнерго». Турбина введена в эксплуатацию

в 1973 г., имела на начало 2006 г. число пусков 1611 и наработку – 204886 ч в период предыдущего расчетного исследования. На 01.02. 2017 г. заказчик указал число пусков 2475 и наработку – 261773 ч.

По результатам расчетного исследования суммарная поврежденность РВД турбоагрегата К-200-130 энергоблока № 4 ДТЭК Кураховская ТЭС составляет 109 %, а РСД – 136 % при коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне 5 и 1,5, а также допуске времени работы металла 370 тыс. ч. Если суммарная поврежденность металла ротора ЦВД больше 100 %, то дальнейшая эксплуатация оборудования не возможна согласно рекомендациям [5].

При коэффициентах запаса прочности по количеству циклов и по деформациям на уровне 3 и 1,25, а также допуске времени работы металла 560 тыс. ч. суммарная поврежденность РВД находится на уровне 73 %, а РСД – на уровне 85 %. Если экспертная комиссия, состоящая согласно [1] из представителей электрической станции, специализированных и других организаций, может допустить снижение коэффициентов запаса прочности по количеству циклов и по деформациям до 3 и 1,25, соответственно, а также принять допускомое время работы металла на уровне 560 тыс. ч., то остаточный ресурс РВД турбоагрегата К-200-130 энергоблока № 4 ДТЭК Кураховская ТЭС может быть увеличен до 95714 ч, а РСД – 44667 ч. Это позволит продлить эксплуатацию роторов ВД и СД на 45 тыс. часов при числе пусков, равном половине паркового количества, т.е. 400 пусков.

## Література

1. *Вольчин І.А.* Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України / І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич [и др.]. – ГНОЗІС, 2013. – 308 с.
2. *Черноусенко О.Ю.* Оценка остаточного ресурса и продление эксплуатации паровых турбин большой мощности. Часть 2: Монография / О.Ю.Черноусенко// – Х.: ФОП Бровин А.В., 2017. – 207 с. ISBN: 978-966-2445-79-4.
3. СОУ-Н МПЕ 40.1.17.401:2004 Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій: Типова інструкція / Міністерство палива та енергетики України / В.Є. Добровольський - Офіц. вид. - К. : ОЕП ГРІФРЕ, 2005. - IX, 76с.
4. *Черноусенко О.Ю.* Оценка остаточного ресурса и продление эксплуатации паровых турбин большой мощности: Монография / О.Ю.Черноусенко// – Х.: ФОП Бровин А.В., 2014. – 308 с. ISBN: 978-966-2445-79-4.
5. Визначення розрахункового ресурсу та оцінки живучості роторів та корпусних деталей турбіни: СОУ-Н МЕРВ 40.1-21677681-52:2011 Методичні вказівки/ Міненерговугілля України / Н.Г. Шульженко - Офіц. вид., К.: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України, 2011. – 27 с.- (Нормативний документ Мінпаливенерго України, Типова інструкція).

УДК

**Ю. М. Мацевитый**, академик НАН Украины

**А. А. Тарелин**, канд. техн. наук

*Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  
(г. Харьков, Украина, e-mail: tarel@ukr.net)*

**ИННОВАЦИОННОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ  
ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ – ПУТЬ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
НЕЗАВИСИМОСТИ УКРАИНЫ**