



УДК 621.527.4

## ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ В СОСТАВЕ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

### FUNCTIONING OF STEAM DRIVEN EJECTORS AS A PART OF STEAM TURBINES

**Мурманский Илья Борисович**, аспирант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lta\_ugtu@mail.ru, Тел.: +7(343)300-25-62

**Желонкин Николай Владимирович**, канд. техн. наук, с.н.с, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lta\_ugtu@mail.ru, Тел.: +7(343)300-25-62

**Аронсон Константин Эрленович**, д-р. техн. наук, профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lta\_ugtu@mail.ru, Тел.: +7(343)300-25-62

**Murmanskii Ilya**, Ph.D. student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lta\_ugtu@mail.ru. Ph.: +7(343)300-25-62

**Zhelonkin Nikolay**, Candidate of technical sciences, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lta\_ugtu@mail.ru. Ph.: +7(343)300-25-62

**Aronson Konstantin**, Doctor of technical sciences, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lta\_ugtu@mail.ru. Ph.: +7(343)300-25-62

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы функционирования пароструйных эжекторов с точки зрения повышения надежности на основе опыта авторов по разработке и модернизации более чем 80 аппаратов. Проведен анализ статистической информации по отказам эжекторов, времени восстановления. Показано, что отказ эжектора в большинстве случаев приводят к останову турбоагрегата. Представлен перечень выявляемых дефектов.

**Abstract:** In the paper the problems of functioning of steam driven ejectors are considered in the view of increasing the reliability and basing on the authors experience of design more than 80 devices. The analysis of statistic information about ejectors breakdowns and recovery periods is provided. It is shown, that in the majority of ejector breakdowns, the turbine has to be stopped. A list of revealed defects is presented.

**Ключевые слова:** повышение надежности эжекторов, статистический анализ повреждаемости, отказы.

**Key words:** ejector reliability increasing, statistical analysis of damageability, breakdowns.

#### ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных аспектов функционирования паротурбинных установок является надёжность их работы, которая в свою очередь существенно зависит от эффективности и надежности работы одной из технологических подсистем – конденсационной установки (КУ) паровой турбины. Одним из основных технологических элементов оборудования КУ является пароструйные эжекторы, предназначенные для удаления воздуха из объема конденсатора и вакуумной системы [1-3].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты анализа надежности ПТУ мощностью от 60 до 500 МВт показали [4], что значительное количество unplanned остановов происходит из-за отказов вспомогательного оборудования. Кроме того, известно, что отказы вспомогательного оборудования не всегда приводят к останову турбин, но при этом ухудшают показатели экономичности их работы. Анализ причин unplanned остановов турбин, вызванных отказами в работе вспомогательного оборудования, показал, что до 7% этих остановов вызваны повреждениями эжекторов (рис.1).

Авторами систематизированы основные дефекты, существенно влияющие на эффективность и надежность работы пароструйных эжекторов в условиях эксплуатации ПТУ:

- вынос окалины и града на сопла эжекторов;
- ошибочная сборка пароструйного аппарата после проведения ремонта эжектора, связанная с несоответствием сопла номеру ступени, ненадежным креплением камеры смешения и др.;

- промыв прокладки между трубной доской и перегородками в корпусе эжектора;
- разгерметизация вальцованного соединения трубок в трубных досках охладителей;
- появление свищей на линии трубопроводов дренажей из ступеней эжектора;
- разрушение (эрозионное и коррозионное) поверхности теплообмена охладителей эжекторов.

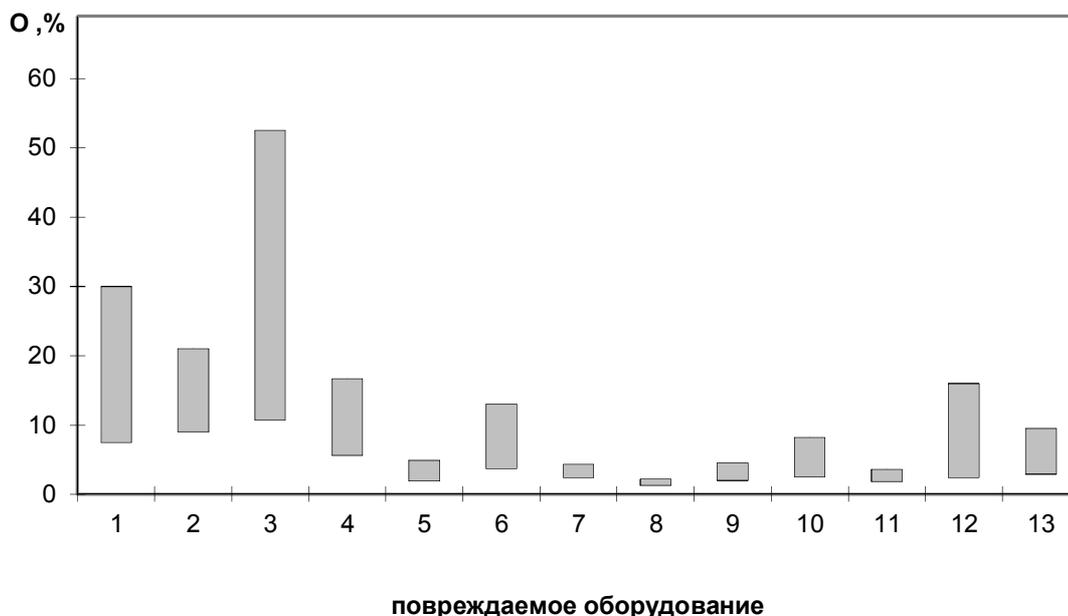


Рис. 1. Доля отказов вспомогательного оборудования, вызывающая остановки турбин: 1 — конденсаторы; 2 — питательные электронасосы; 3 — питательные турбонасосы; 4 — подогреватели высокого давления; 5 — подогреватели низкого давления; 6 — сальниковые подогреватели; 7 — эжекторы; 8 — деаэраторы; 9 — циркуляционные насосы; 10 — конденсатные насосы; 11 — бустерные насосы; 12 — арматура; 13 — трубопроводы

На основании проведенных авторами обследований серийных пароструйных эжекторов различных заводов-изготовителей можно выделить основные недостатки конструкций, приводящие к появлению дефектов в процессе их эксплуатации:

1) ЭП-3-2, ЭП-3-3 УТЗ:

- разрушение внутренних кожухов охладителей, что приводит к истиранию трубок поверхности теплообмена;

- эрозия диффузоров (материал – черная сталь);

- потеря герметичности стыка трубная доска-перегородка корпуса между охладителями;

- образование свищей в зоне сварных швов корпуса эжектора.

2) ЭП-3-25, ЭП-3-50 ХТЗ:

- эрозия трубок в зоне входа дренажей из предыдущих ступеней;

- коррозия трубок в зоне гибов (в зоне внутренних напряжений).

3) ЭП-3-600, ЭП-3-700 ЛМЗ:

- коррозионно-эрозионное разрушение трубок поверхности охладителя;

- нарушение герметичности между сопловой коробкой и корпусом;

- конструктивные недостатки крепления диффузоров, что приводит к нарушению соосности элементов и герметичности аппарата;

- малое проходное сечение дренажей по сливу конденсата из ступеней эжектора.

4) ПС-100, ХЭ-65 УТМЗ, ЭУ-6,8 и 16 ХТЗ:

- коррозионно-эрозионное и вибрационное разрушение трубок поверхности теплообмена.

Помимо дефектов, выявленных в процессе обследований и модернизаций, нужно иметь виду ряд неполадок, возникающих в процессе эксплуатации эжекторов и вызывающих проблемы их функционирования.

В частности, отдельные неполадки в работе эжекторов могут быть вызваны нарушениями в функционировании конденсатора. Например, повышение температуры ПВС на выходе из конденсатора из-за недостаточного расхода или высокой температуры циркуляционной воды на

входе, или повышенного загрязнения поверхности теплообмена приводит к повышению давления всасывания эжектора, который при этом не может обеспечить необходимый уровень разрежения в конденсаторе. Повышенное давление всасывания в эжектор может быть обусловлено также попаданием в патрубок отсоса ПВС из конденсатора части пара помимо трубного пучка аппарата (например, при отключенной по воде половине конденсатора и незакрытом отсосе ПВС из этой половины).

Отмеченной на ряде ТЭС причиной повышенного давления всасывания эжекторов при расходе воздуха, не превышающим нормативный для ПТУ уровень, чаще всего является недостаточный расход рабочего пара на эжектор, что определяется его пониженным давлением, а также засорением (чистотой) паровых сеток и сопел.

Повышенный расход ПВС, поступающей на вход эжектора (I ступень), может вызываться неплотностью парового вентиля воздушной задвижки у полностью выключенного резервного или пускового эжектора.

Повышение давления всасывания на входе II-й или III-ей ступеней эжектора может быть связано с повышением температуры поступающей в ступени ПВС, что, как правило, определяется высокой температурой и недостаточностью расхода конденсата на входе в охладители, загрязнением или затоплением части поверхности теплообмена охладителей.

Рециркуляция части ПВС через одну из ступеней эжектора, вследствие чего нагрузка этой ступени выше, чем величина присоса ПВС фиксируемого воздухомером, как правило, вызвана опорожнением гидрозатвора на дренажной линии промежуточного охладителя или разгерметизацией перегородок между ступенями в конструкциях эжекторов, у которых все ступени расположены в общем корпусе.

Стуки (гидравлические удары) внутри корпуса эжектора, как правило, являются признаком затопления одного из охладителей из-за засорения дренажей или же попадания в паровое пространство охладителей охлаждающей воды (конденсата) через поврежденные трубы. При значительном затоплении охладителя может быть частично затоплен выхлоп диффузора данной ступени. Это приводит к повышению давления выходящей из диффузора смеси и периодическим прорывам ее через слой воды, что и

сопровождается гидравлическими ударами. При затоплении охладителя последней ступени наблюдается также «запаривание» эжектора, т.е. выброс через выхлопной патрубок большого количества пара, который не может быть сконденсирован из-за уменьшения поверхности теплообмена охладителя, а также вынос через патрубок капель воды, захватываемых потоком этого пара.

(Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ; Постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006)

## ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ надежности пароструйных эжекторов как элементов ПТУ.
2. Определён основной перечень дефектов пароструйных эжекторов выявляющихся в процессе эксплуатации.
3. Выделены отличительные недостатки существующих конструкций многоступенчатых пароструйных эжекторов
4. Собраны данные по, наиболее часто встречающимся в эксплуатации эжекторов, неполадкам.
5. Многолетний опыт эксплуатации пароструйных эжекторов различных заводов изготовителей показал необходимость разработки новых конструкций с высокими показателями надежности и эффективности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аронсон К.Э. Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов / К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин [и др.]; под общей ред. Ю.М. Бродова. Изд. третье перераб. и доп. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 830с.
2. Бродов Ю.М. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок/ Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн; под ред. Ю.М. Бродова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 480 с.
3. Аронсон К.Э. Эжекторы конденсационных установок паровых турбин: учебное пособие / К.Э.Аронсон, А.Ю. Рябчиков, Д.В. Брезгин, И.Б. Мурманский. Екатеринбург: Изд-во Урал. фед. уни-та, 2015. 131 с.
4. Обзоры повреждений тепломеханического оборудования электростанций с поперечными связями и тепловых сетей за 1986 – 2000 годы. М.: СПО ОРГРЭС.