

УДК 621.165

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВОГО РЕЖИМА ЦИЛИНДРА НИЗКОГО  
ДАВЛЕНИЯ ТУРБИНЫ Т-250/300-240  
STUDY OF STARTING MODE OF LOW PRESSURE CYLINDER  
OF T-250/300-240 TURBINE**

Я.П. Адинцова, А.А. Стрежик

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

kachah@bntu.by

Y. Adzintsova, A. Strezhik

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** Рассмотрены результаты исследований температурного состояния цилиндра низкого давления теплофикационной турбины типа Т-250/300-240 ПО ТМЗ на пусковых режимах. Показано значительное влияние на поля распределения и уровни температур величины вакуума в конденсаторе. Подтверждено, что при обеспечении давления в конденсаторе на этапе повышения частоты вращения ротора и на холостом ходу на уровне 5 – 7 кПа температурное состояние проточной части низкого давления не вызывает опасений.

**Abstract:** The results of investigations of the temperature state of the low-pressure cylinder of a cogeneration steam turbine of type T-250/300-240 PO TMZ at start-up modes are considered. A significant influence on the temperature distribution fields of the vacuum level in the condenser is shown. The normal temperature state of the low pressure flow path during the increasing of the rotor speed and at idle at the pressure level in the condenser of 5-7 kPa is confirmed.

**Ключевые слова:** цилиндр низкого давления, теплофикационная паровая турбина, температурное состояние, вакуум в конденсаторе.

**Keywords:** low pressure cylinder, cogeneration steam turbine, temperature condition, condenser vacuum.

### **Введение**

Надежность работы современных теплофикационных турбин большой мощности в значительной степени зависит от надежности работы цилиндров низкого давления (ЦНД), имеющих роторы с насадными дисками больших размеров и длинные рабочие лопатки последних ступеней со стеллитовыми накладками. В [1, 2] выполнен комплекс исследований температурного состояния ЦНД самой мощной теплофикационной турбины типа Т-250/300-240 ПО ТМЗ на малорасходных режимах.

### **Основная часть**

Для выполнения комплексной программы исследований ЦНД испытуемой турбины был оснащен развитой системой экспериментального контроля, включавшей в себя свыше 200 термомпар. Производилось измерение

температуры пара в нескольких сечениях по направлению движения пара от паровпуска ЦНД до конденсатора, а также температуры металла направляющих лопаток последней ступени, влагуоулавливающих колец предпоследней и последней ступеней обоих потоков ЦНД. Для изучения воздействия обратных потоков пара из конденсатора на тепловое состояние ЦНД и глубины их проникновения в проточную часть были установлены термометрические зонды за рабочими лопатками последних ступеней. В одном из потоков ЦНД дополнительно были смонтированы термометрические зонды в выхлопном патрубке на горизонтальном разъеме ЦНД и срезе выходного патрубка над трубным пучком конденсатора.

Использование описанной экспериментальной системы измерений позволило получить данные о распределении температур в проточной части ЦНД турбины Т-250/300-240 при различных режимах эксплуатации, но в [1] приводятся результаты исследования только для пускового режима.

Характерной особенностью пусковых режимов является пониженный вакуум в конденсаторе турбины на этапе ее разворота практически до номинальной частоты вращения ротора. Вращение ротора ЦНД в относительно плотном паре сопровождается существенным выделением теплоты вследствие потерь на трение и вентиляцию, что приводит к разогреву элементов проточной части цилиндра. В [1] даны экспериментальные данные по распределению и уровню температур в ЦНД на различных этапах пускового режима.

*Подготовка к пуску (подготавливается к включению вспомогательное оборудование).* На турбине начинается набор вакуума и подается пар на концевые уплотнения цилиндров, в том числе и ЦНД, из общестационарного коллектора давлением 1,3 Мпа при температуре пара в коллекторе 200 – 220°С. Продолжительная подача на концевые уплотнения ЦНД уплотняющего пара такой температуры приводит к разогреву проточной части цилиндра. При длительной подаче уплотняющего пара увеличивается относительное удлинение ротора низкого давления (РНД). В ряде случаев, особенно при задержке пуска, оно может превысить максимально допустимое (+6,0 мм) значение. Анализ пусков турбины показал, что относительное удлинение РНД иногда достигало +7,5 мм и более. Пуск турбины с таким относительным удлинением РНД может привести к ускоренному износу осевых уплотнений в ЦНД и снижению его экономичности. Это следует иметь в виду при разработке эксплуатационных инструкций по пуску теплофикационных турбин указанного типа.

*Разворот и начальный прогрев турбины (до открытия отсечных клапанов ЦСД-1).* Согласно инструкции после толчка ротора, прослушивания турбины на пониженной частоте вращения (500 об/мин) и последующего выхода на 800 об/мин такой режим выдерживается в течение 90 мин при пуске турбины из холодного состояния для прогрева ротора среднего давления (РСД).

*Открытие отсечных клапанов ЦСД-1 и повышение частоты вращения ротора турбины* вызвало незначительное изменение температур во всех обследуемых сечениях ЦНД. Наибольший их рост отмечался при повышении частоты вращения до номинальной. К началу этого этапа давление в

конденсаторе составляло около 20 кПа, а при выходе на холостой ход – около 15 кПа (время увеличения частоты вращения с 800 до 3000 об/мин не превышало 35 мин).

Из результатов измерений следует, что в выхлопном патрубке на холостом ходу в отдельных зонах каналов формируются обширные области обратных течений, поднимающих капельную влагу из переходного патрубка конденсатора. Особенно это характерно для задних каналов левой части (по ходу пара) выхлопного патрубка. Результаты по температурным полям в выхлопном патрубке ЦНД с более низкими температурами в его левой части необходимо учитывать при разработке схем размещения форсунок для подачи конденсата в систему охлаждения выхлопных патрубков с целью уменьшения количества выносимой из конденсатора эрозионно опасной влаги и, следовательно, эрозионных повреждений лопаточного аппарата последних ступеней ЦНД.

*Уменьшение давления в конденсаторе турбины на холостом ходу.* После выхода на холостой ход был включен в работу водоструйный эжектор. Это позволило в течение 10 мин снизить давление в конденсаторе с 15 до 5 кПа, что существенно повлияло на распределение температур по длине проточной части ЦНД; уменьшились температуры в измеряемых сечениях. Включение генератора в сеть с переходом ЦНД из режима потребления мощности в режим ее выработки сопровождалось снижением температур по всей длине проточной части.

### **Заключение**

Проведенные исследования подтвердили значительное влияние на поля распределения и уровни температур в проточной части ЦНД турбины Т-250/300-240 величины вакуума в конденсаторе [1, 2]. При этом при обеспечении давления в конденсаторе на этапе повышения частоты вращения ротора и на холостом ходу на уровне 5 – 7 кПа температурное состояние ЦНД не вызывает опасений [1, 2].

### **Литература**

1. Куличихин, В.В. Исследование переменных режимов работы цилиндра низкого давления турбины Т-250/300-240 / В.В. Куличихин, В.В. Кудрявый, Б.В. Ломакин // Вестник МЭИ. Теплоэнергетика. Сводный том 1. – МЭИ, 1997. – С. 163 – 166.
2. Куличихин, В.В. Исследование переменных режимов работы ЦНД турбины типа Т-250/300-240 / В.В. Куличихин, В.В. Кудрявый, Б.В. Ломакин // Вестник МЭИ. 1994. – № 1. – С. 13 – 16.