

УДК 621.165

**Е.В. ЛЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук; первый зам. генерального директора – генеральный конструктор ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
**В.Л. ШВЕЦОВ**, главный конструктор ПТ и ГТ ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
**И.И. КОЖЕШКУРТ**, инженер ОАО «Турбоатом», г. Харьков  
**А.Н. ЛОБКО**, инженер ОАО «Турбоатом», г. Харьков

## **ОПЫТ ОАО «ТУРБОАТОМ» В РАЗРАБОТКЕ И МОДЕРНИЗАЦИИ ТУРБИН ДЛЯ АЭС**

Розглянуті основні напрямки по створюванню і удосконаленню турбоагрегатів для АЕС в ВАТ «Турбоатом».

Main ways of manufacture and upgrading of turbine sets for NPPs in JSC «Turboatom» are given.

ОАО «Турбоатом» является флагманом энергомашиностроения Украины, специализирующемся на проектировании и изготовлении современных паровых турбин для ТЭС и АЭС, гидравлических турбин для ГЭС, газовых турбин, а также другого энергетического оборудования.

Турбины производства ОАО «Турбоатом» в настоящее время надёжно работают в 45 странах мира.

При выпуске турбин осуществляется замкнутый цикл создания энергетического оборудования от проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ до изготовления турбин и их отгрузки заказчику, кроме производства крупных поковок и отливок, получаемых с металлургических предприятий, а также некоторых комплектующих изделий. Предприятие выполняет маркетинговые, инжиниринговые, пуско-наладочные и шефмонтажные работы, осуществляет сервисное обслуживание, ремонт и модернизацию турбин.

Основная номенклатура выпускаемой продукции:

- паровые турбины для ТЭС, ТЭЦ и ПГУ единичной мощностью от 1 до 550 МВт;
- паровые турбины для АЭС единичной мощностью от 220 до 1000 МВт;
- газовые турбины мощностью 45 МВт и 115 МВт;
- теплообменное оборудование (конденсаторы паровых турбин, регенеративные подогреватели низкого давления, подогреватели сетевой воды);
- вспомогательное оборудование – эжекторы, маслоохладители, тягодутьевые машины, эксгаустеры, мельницы шаровые и др;
- гидравлические турбины различных типов, мощностью от 5 МВт до 800 МВт для ГЭС и ГАЭС;
- гидравлические затворы дисковые и шаровые;
- гидравлические турбины для микро-ГЭС и мини-ГЭС и малых ГЭС мощностью от 5 кВт до 10 МВт.

ОАО «Турбоатом» является известным производителем паровых турбин для атомных электростанций. Предприятием было изготовлено 169 турбин для АЭС общей мощностью 63662 МВт.

В настоящее время на АЭС находятся в эксплуатации: 34 турбины типа К-220-44 различных модификаций, 22 турбины типа К-500-65/3000, две турбины

К-750-65/3000, 17 турбин типа К-1000-60/1500-1, К-1000-60/1500-2 и 2 турбины К-500-60/1500 [1, с. 5–8].

По основным техническим и эксплуатационным показателям турбины ОАО «Турбоатом» соответствуют современному техническому уровню. По данным журнала Nuclear Engineering, укомплектованные турбинами типа К-220-44 электростанции «Ловииса» и «Пакш» постоянно входят в число лучших АЭС мира по использованию установленной мощности.

Турбины ОАО «Турбоатом» на частоту вращения 25 1/с мощностью 1000 МВт имеют высокие показатели надёжности и стабильно-высокую экономичность. Конструкции выпущенных турбин обеспечивают проведение ремонтных работ и технического обслуживания с минимальными трудовыми и материальными затратами.

#### **Модернизация турбин типа К-220-44**

В ОАО «Турбоатом» постоянно выполняются работы по модернизации и усовершенствованию турбин работающих на АЭС и по созданию оборудования для вновь строящихся электростанций, работающих на ядерном топливе.

В результате модернизации турбин К-220-44, были разработаны мероприятия по усовершенствованию проточных частей ЦВД и ЦНД (см. рис. 1, 2), системы влагоудаления из ЦВД, паровпуска ЦНД, выходных отсеков (см. рис. 3), диафрагменных и концевых уплотнений ЦНД.



Рис. 1. Модернизированный ротор высокого давления турбины К-220-44

Суммарное повышение мощности турбоагрегата при модернизации составляет 5500...6000 кВт без увеличения тепловой мощности реактора. Гарантийные показатели эффективности модернизации турбоагрегатов на АЭС, выполненные в различном объеме, были подтверждены результатами сравнительных испытаний до и после модернизации.

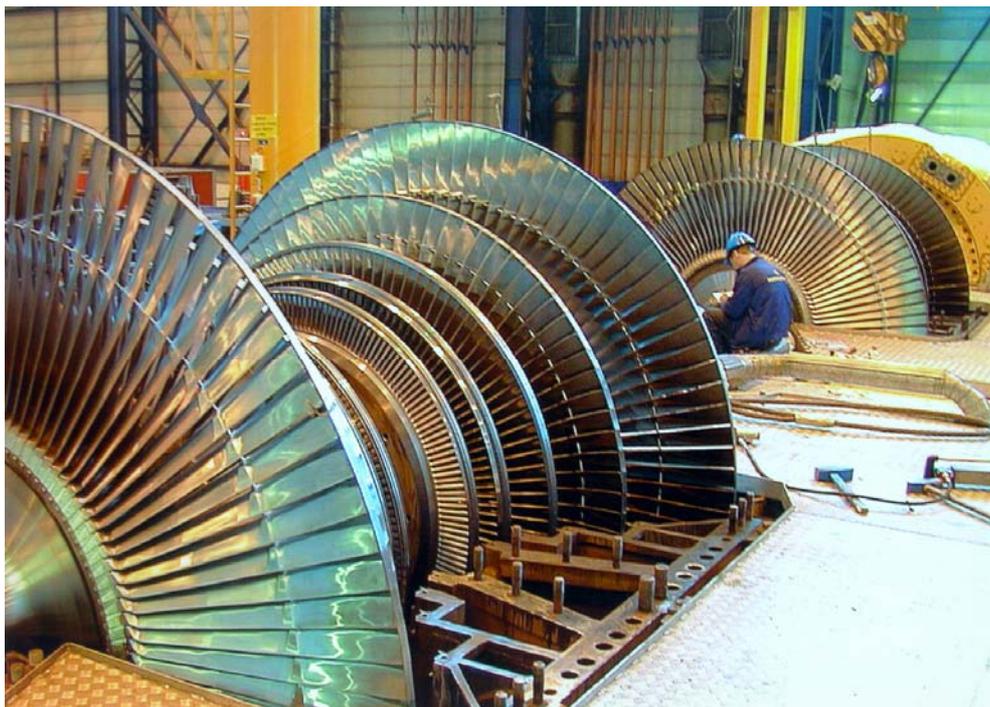


Рис. 2. Модернизированный ротор низкого давления турбины К-220-44

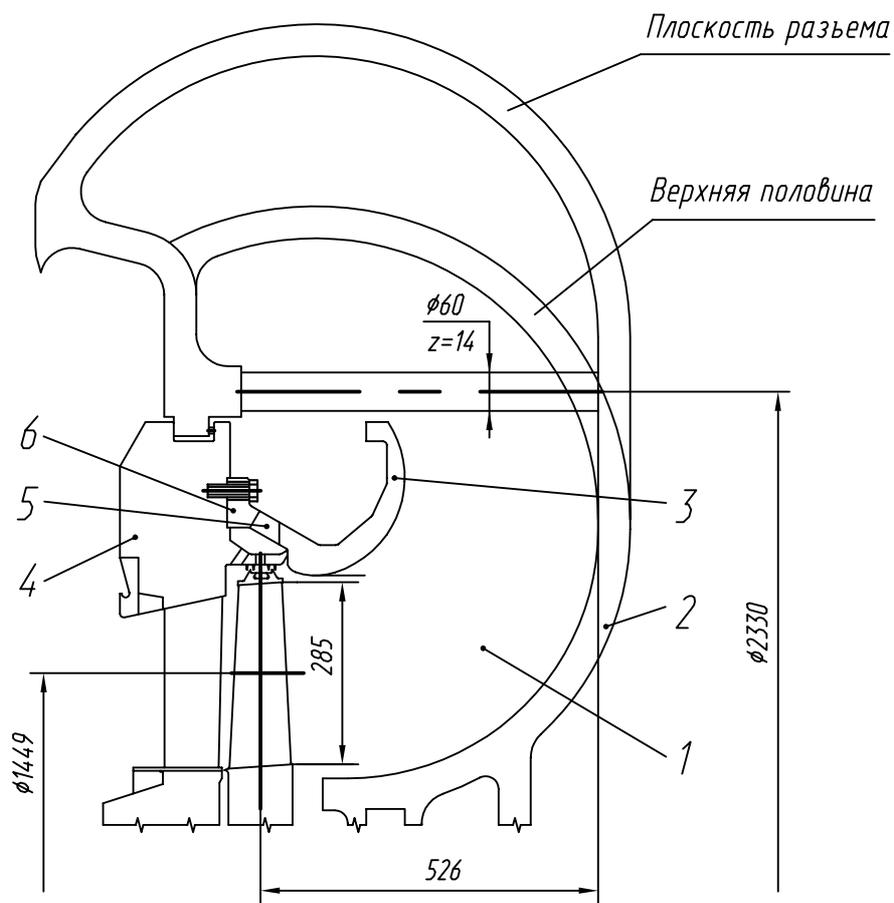


Рис. 3. Модернизация выходного отсека ЦВД турбины К-220-44

Практически в полном объёме модернизация турбин типа К-220-44 выполнена на АЭС «Ловииса» (Финляндия), «Пакш» (Венгрия). Также, в основном, завершена модернизация турбоагрегатов ТГ-2 и 3 Кольской и ТГ-11 Нововоронежской АЭС (Россия), ТГ-1,2 Ровенской АЭС.

### **Модернизация турбин типа К-500-65/3000**

Значительное место в планах работ по модернизации, находящихся в эксплуатации турбоагрегатов, занимают турбины К-500-65/3000, предназначенные для работы в дубль-блоке с реактором РБМК. Турбина была спроектирована в ОАО «Турбоатом» в конце 60-х годов прошлого века. Первая турбина этой серии была введена в эксплуатацию в 1973 г. на Ленинградской АЭС [1, с. 6].

В настоящее время в России – на Ленинградской АЭС, Курской АЭС и Смоленской АЭС – работают 22 турбины этого типа.

Одновальный турбоагрегат К-500-65/3000 номинальной мощностью 500 МВт, состоит из одного двухпоточного ЦВД и 4-х двухпоточных ЦНД.

ОАО «Турбоатом», используя опыт создания и модернизации влажнопаровых турбин для АЭС большой единичной мощности, разработал проект модернизации турбин К-500-65/3000, включающий модернизацию диафрагм и рабочих лопаток 5-х ступеней ЦВД и полную замену проточных частей всех 4-х ЦНД на новые с рабочей лопаткой последней ступени длиной 1030 мм вместо 852 мм, что существенно снижает потери на выхлопе турбины за счёт увеличения площади выхлопа с 6,3 до 8,19 м<sup>2</sup>. В 2004 году на Курской АЭС по вышеуказанному проекту была выполнена модернизация турбоагрегата ст. № 4. При этом гарантированное повышение мощности турбины по результатам испытаний составило 25 МВт.

Проанализировав все возможные варианты модернизации турбоагрегата К-500-65/3000, заказчик принял к реализации вариант модернизации остальных турбин этой серии, предусматривающий замену рабочих лопаток и диафрагм 4-х и 5-х ступеней всех четырёх цилиндров низкого давления с использованием существующих роторов, обойм и корпусов ЦНД. При модернизации турбины по данному варианту облопачивание и диафрагмы 1...3 ступеней остаются без изменений (не модернизированные). Гарантированное повышение мощности турбоагрегата при модернизации 4-х и 5-х ступеней всех ЦНД составляет 16 МВт (см. рис. 4).

### **Паровые турбины для энергоблоков АЭС большой мощности**

Для реализации программы ввода новых энергетических мощностей атомных электростанций ОАО «Турбоатом» предлагает использовать накопленный объединением опыт проектирования, изготовления и эксплуатации турбин мощностью 500 и 1000 МВт на частоту вращения ротора 1500 об/мин (турбин типа К-500-60/1500, К-1000-60/1500 и К-1000-60/1500-2).

В настоящее время из этой серии, изготовленных ОАО «Турбоатом» в количестве 22 турбоагрегатов, в эксплуатации на АЭС находятся 17 турбин с единичной мощностью 1000 МВт (8 турбин в Украине, 7 турбин в России и 2 турбины в Болгарии), см. рис. 5.

Ввод в эксплуатацию турбин мощностью 1000 МВт на 1500 об/мин в Украине и России осуществлялся с 80 г. по 90 г. прошлого столетия.

Турбоустановки на частоту вращения 1500 об/мин отличаются повышенной экономичностью и надёжностью. Уровень напряжений во многих элементах тихоходных турбин, в том числе в профильной и хвостовой частях рабочих лопаток и

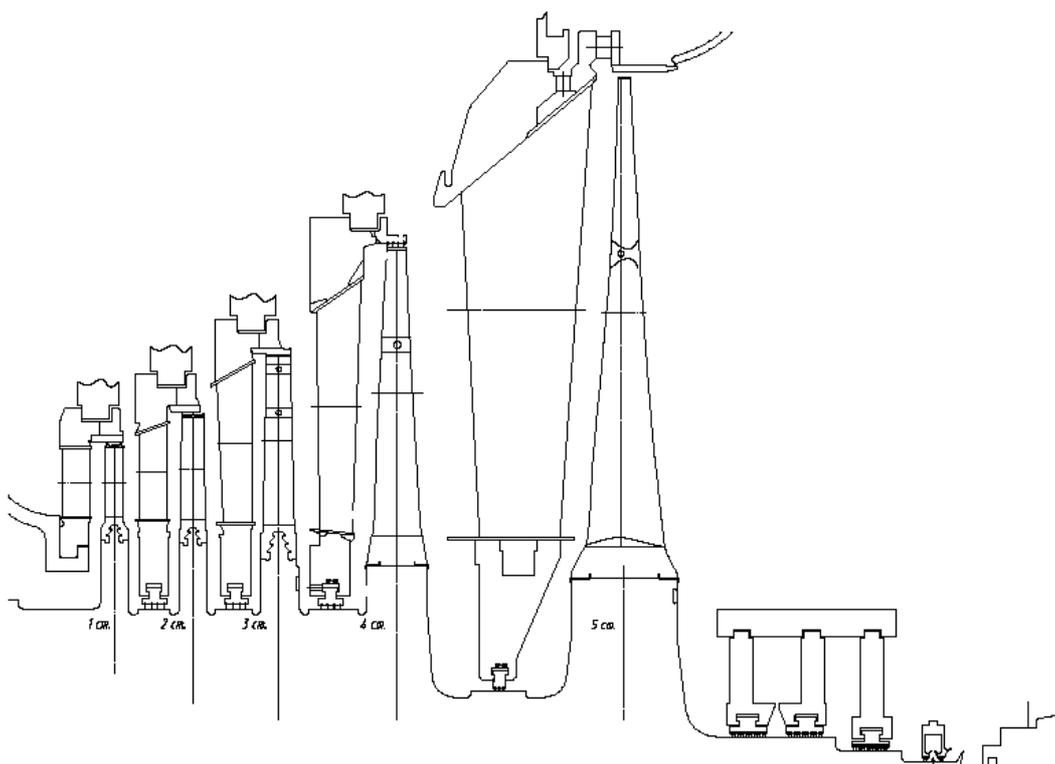


Рис. 4. Модернизация 4-х и 5-х ступеней турбины К-500-65/3000

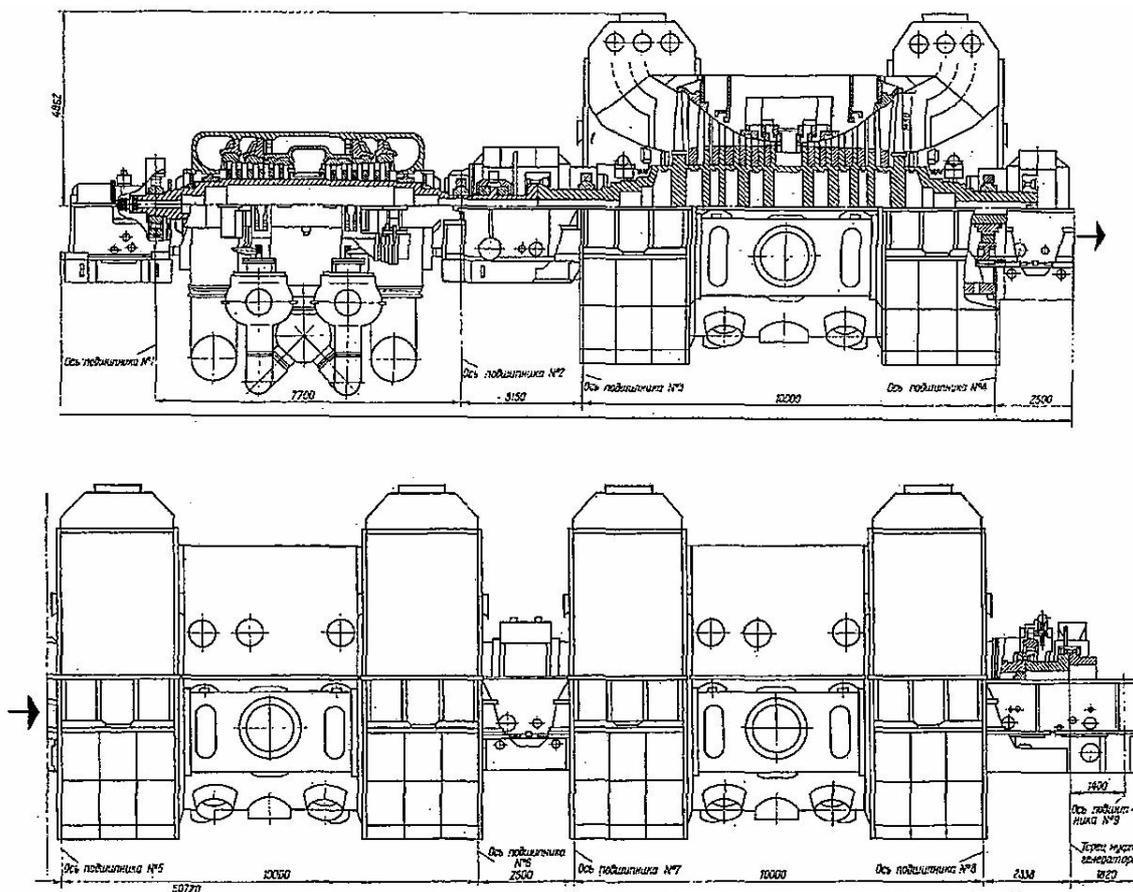


Рис. 5. Продольный разрез турбины К-1000-60/1500-2

дисков последних ступеней, ниже соответствующего уровня быстроходных турбин более чем в 1,5 раза. Кроме того, для деталей и узлов тихоходных турбин, используются только освоенные стали – не требующие применения титановых сплавов для рабочих лопаток последних ступеней.

В турбинах данного класса внедрены рациональные методы борьбы с эрозионно-коррозионными процессами – одной из главных проблем обеспечения работоспособности и долговечности влажнопаровых турбин. Решены задачи эффективного удаления влаги из проточной части ЦВД и последних ступеней ЦНД.

Важнейшим элементом турбин мощностью на частоту вращения 1500 об/мин производство ОАО «Турбоатом» является последняя ступень ЦНД с длиной рабочей лопатки 1450 мм с площадью выхлопа 18,9 м<sup>2</sup>. Ступень надежно и экономично работает в широком диапазоне нагрузок. При расчетном давлении в конденсаторе 5,9 кПа турбина К-500-60/1500 мощностью 500 МВт выполнена с одним двухпоточным ЦНД, а турбины мощностью 1000 МВт, рассчитанные на давление в конденсаторе 4 кПа, – имеют три ЦНД.

На базе имеющихся конструкторско-технологических решений с использованием производственного и эксплуатационного опытов в создании турбин большой мощности, ОАО «Турбоатом» предлагает для строительства новых АЭС паровые турбины нового поколения мощностью 1100, 1200 МВт, в которых реализованы современные конструктивные и технические решения, обеспечивающие высокие показатели надёжности, экономичности и ремонтпригодности, а также есть возможность отпуска пара на теплофикационные нужды до 1000 МВт от каждой турбины.

При сохранении существующих конструкций корпусов и роторов ЦВД и ЦНД, модернизируются проточные части 1–7 ступеней ЦВД и 1–5 ступеней ЦНД.

В модернизируемых и вновь создаваемых турбоагрегатах будут внедрены:

- высокоэкономичные профили направляющих лопаток с овальной входной и относительно тонкой выходной кромками;
- усовершенствованные рабочие лопатки с цельнофрезерованными покрывными бандажами, имеющими многодрессельные осерадиальные уплотнения (см. рис. 6);
- оптимальные закрытые и открытые межвенцовые зазоры;
- улучшенные формы меридиональных очертаний межступенчатых и межвенцовых зазоров;
- усовершенствованные диафрагменные и концевые уплотнения.

#### **Турбины АЭС ОАО «Турбоатом» с повышенным давлением в конденсаторе**

Используя опыт создания экономичных и надёжных турбин типа К-220-44 номинальной мощностью 220 МВт, рассчитанных на работу на свежем паре с давлением 4,31 МПа, температурой 255 °С и влажностью 0,5 %, ОАО «Турбоатом» по заданию индийской корпорации атомной энергетики NPCIL была спроектирована турбина типа К-240-4,0 мощностью 241,5 МВт на давление свежего пара 3,96 МПа и температуру 249,7 °С (см. рис. 7). Две турбины смонтированы на АЭС «Кайга» и две – на АЭС «Раджастан» (Индия), и сегодня по одной на каждой станции находятся в эксплуатации. Турбина состоит из одного пятиступенчатого цилиндра высокого давления и одного двухпоточного, по пять ступеней в каждом потоке, цилиндра низкого давления. Расчётное давление пара в конденсаторе 8,44 кПа. Длина рабочей лопатки последней ступени 1030 мм. Система регенерации состоит из одного ПВД, деаэрата и 4-х ПНД.

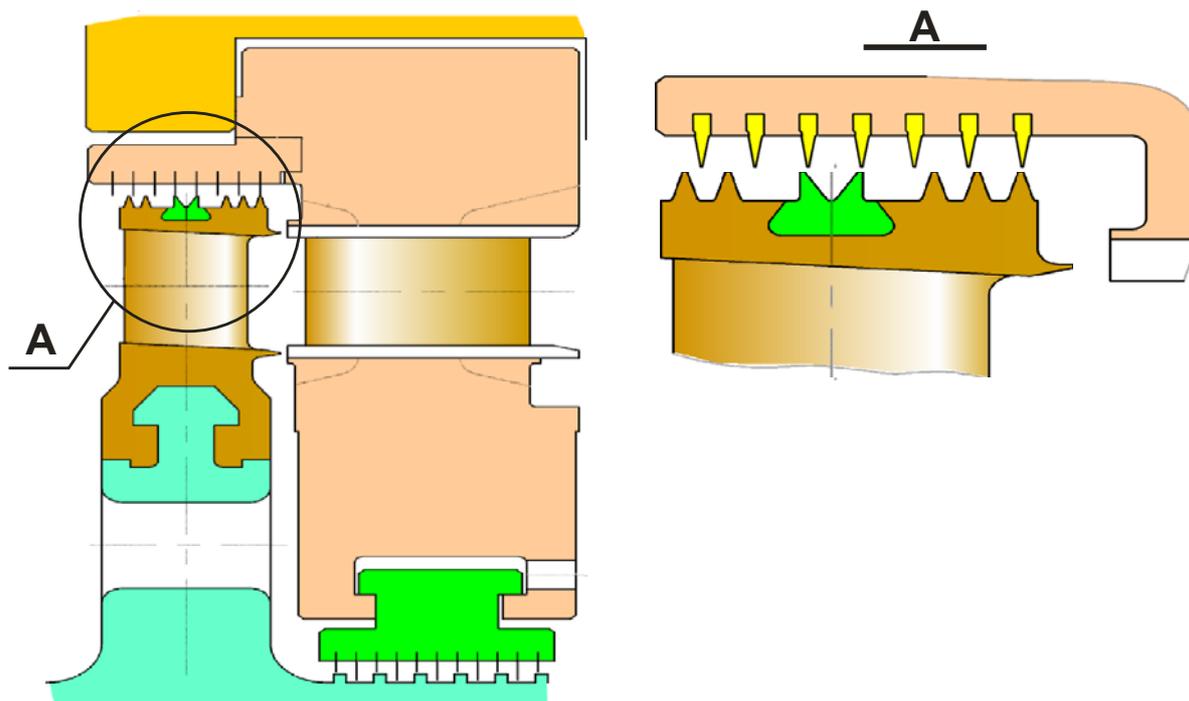


Рис. 6. Типовая ступень ЦВД с многороссельным периферийным осерадиальным уплотнением

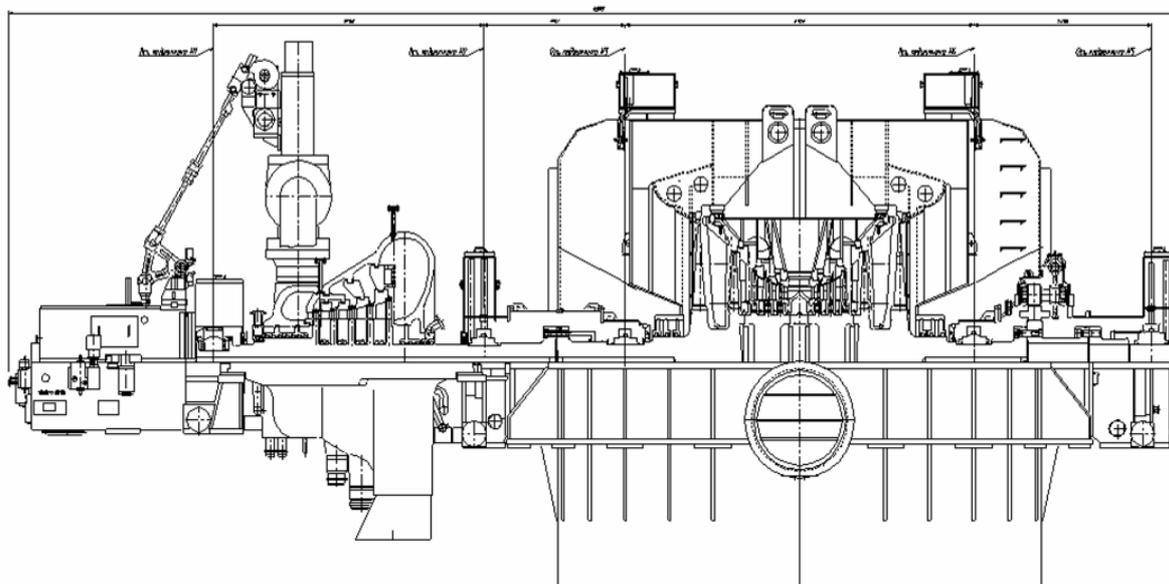


Рис. 7. Продольный разрез турбины К-240-4,0 для АЭС «Кайга» и «Раджастан» (Индия)

**Список литературы:** 1. Паротурбинные установки атомных электростанций / Под. ред. Ю.Ф. Косяка. – М.: Энергия, 1978. – 312 с. 2. Трояновский Б.М. Турбины для атомных электростанций / 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 182 с. 3. Филиппов Г.А. и др. Исследования и расчёт турбин влажного пара / Под. ред. М.Е. Дейча. – М.: Энергия, 1973. – 232 с.

© Левченко Е.В., Швецов В.Л., Кожешкурт И.И., Лобко А.Н., 2010  
 Поступила в редколлегию 11.02.10