

**УДК 621.311**

СИРОТКИН А. И., студент гр. №10604221 (БНТУ)  
Научный руководитель ПАНТЕЛЕЙ Н. В., старший преподаватель (БНТУ)  
г. Минск

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭНЕРГООБЛОКОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ТУРБИНОЙ К-160-130**

Проектирование, разработка и создание новых агрегатов, тепловых машин, узлов и механизмов является одной из важных задач современной энергетики. В век информационных технологий и технического прогресса новые разработки могут стать устаревшими уже через полгода, а для энергетической отрасли промышленности очень важно бесперебойно производить электрическую и тепловую энергию, делая это как можно более эффективно. Современное основное и вспомогательное оборудование большинства тепловых электростанций было разработано и внедрено в производство ещё в прошлом столетии. Безусловно, за время своей работы оно подтвердило рациональность определённых конструкторских решений советских инженеров. При правильной работе, своевременном техническом обслуживании и ремонте срок эксплуатации оборудования машинных залов, котельных цехов и др. значительно увеличивается.

Однако ничто не может работать вечно, и постепенно на смену устаревшим технологиям и агрегатам приходят новые, более совершенные и экономичные. Специалисты ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» (РФ), занимающегося модернизацией и заменой энергетического оборудования, считают, что данная часть российского рынка характеризуется значительным физическим и моральным износом. Из-за отсутствия или несвоевременного обеспечения предприятий запчастями и комплектующими качественный и полноценный ремонт часто не производится [1]. В этой связи конструкторы и работники предприятий (главным образом - машиностроительной отрасли) работают над созданием новых образцов оборудования для подготовки достойной смены уже отслужившим своё агрегатам. В данной статье речь пойдёт о турбоустановке ПТ-150/160-130, созданной специалистами Уральского турбинного завода (УТЗ) для реконструкции конденсационных блоков с турбинами Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ) К-160-130.

Турбоустановка К-160-130 Харьковского турбогенераторного завода стала выпускаться в 60-х годах прошлого столетия. Она появилась в результате модернизации более ранней турбины К-150. Сама по себе установка оказалась уникальной для того времени из-за своих нехарактерных для турбин этой мощности особенностей. Она рассчитана на начальные параметры пара 130 ата, 565°C и является одной из немногих турбин, имеющей промежуточный перегрев до температуры 565°C при электрической мощности менее 300 МВт.

При создании К-160 была поставлена задача сделать компактный и дешёвый агрегат. Это и определило будущий облик турбины. Её продольный разрез представлен на рисунке 1.

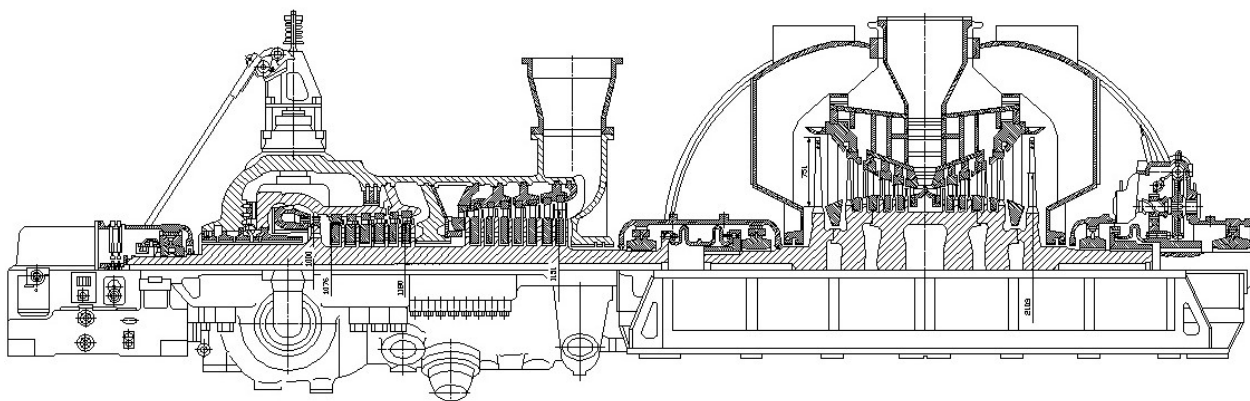


Рисунок 1. Продольный разрез турбины К-160-130 [3]

Основным техническим решением, которое позволило сократить длину, а также снизить металлоёмкость и, как следствие, цену турбоагрегата, стало проектирование и создание совмещённого цилиндра высокого и среднего давления (ЦВСД). В его части высокого давления (ЧВД) было выполнено одна регулирующая и 6 ступеней давления, а в части среднего давления (ЧСД) – 8 ступеней [2, 3]. Таким образом, проточная часть ЦВСД К-160 оказалась достаточно компактной, как это и требовалось по техническому заданию. К тому же такая конструкция позволила вдвое уменьшить число концевых уплотнений в ЦВСД [4]. Конструкция цилиндра низкого давления (ЦНД) также потребовала определённых технических решений: его тоже постарались выполнить как можно более компактным. ЦНД К-160 получился двухкорпусным. Во внутреннем корпусе разместили проточную часть ЦНД, а наружный корпус был сделан как единое целое с выхлопным патрубком.

Вышеописанные нестандартные решения при проектировке агрегата позволили обеспечить максимальную компактность при сохранении заданной мощности, однако имели и ряд негативных последствий. Самой большой проблемой стала необходимость более тщательной проработки разделительной диафрагмы между ЧВД и ЧСД турбины. По одну её сторону находился относительно холодный пар, уходящий в парогенератор на промежуточный перегрев, а по другую – пар горячей нитки промежуточного перегрева. В результате на диафрагму действовал температурный напор  $180...190^{\circ}\text{C}$ , а при некоторых режимах – ещё и перепад давлений  $0,3...0,5$  МПа [4]. Для снятия температурных напряжений и предотвращения возможных деформаций со стороны ЧСД были установлены тепловые экраны с небольшим зазором по отношению к стенке диафрагмы. В этот зазор стали подавать охлаждающий пар, выходящий после ЧВД турбины, таким образом обеспечивая охлаждение диафрагмы. Помимо этого, сама турбоустановка оказалась менее эффективной по сравнению с похожими на неё другими агрегатами: КПД проточной части ЦВСД оказался

немного ниже, чем в обычных машинах; выхлопной патрубок имел низкую эффективность и увеличенные потери давления; из-за высоких температурных напоров на стенках внутреннего корпуса ЦНД происходило его коробление. Однако в качестве топлива для энергоблока с данной турбоустановкой планировали использовать дешёвый уголь, поэтому вопрос энергоэффективности большого значения не имел [2].

При проектировании новой турбины для реконструкции энергоблоков с К-160 перед специалистами Уральского турбинного завода ставилось несколько основных задач. Во-первых, необходимо было сконструировать агрегат такой же электрической мощности, что и устаревший, при этом сохранив габаритные размеры, чтобы установить новую турбину на тот же фундамент. Сохранение фундамента упрощает процесс реконструкции и снижает общие затраты на него. Во-вторых, необходимо было усовершенствовать конструкцию турбоагрегата, чтобы увеличить его энергетическую эффективность. Кроме того, требования задания включали организацию дополнительных отборов пара, позволяющих выполнить двухступенчатый подогрев сетевой воды. В совокупности эти условия значительно усложнили процесс проектирования, что требовало нестандартных конструкторских решений.

Новая турбина получила название ПТ-150/160-130. Турбоустановка имеет практически такую же мощность, что и турбина К-160-130, а также предусматривает промышленный отбор и 2 теплофикационных отбора для двухступенчатого подогрева сетевой воды. В некотором смысле данный факт уже свидетельствует об увеличении энергетической эффективности, ведь совместная выработка электрической и тепловой энергии позволяет снизить удельный расход топлива энергоблока. Основные параметры новой турбины представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры турбины ПТ-150/160-130 [2, 5]

Параметр	Значение
Номинальная электрическая мощность	150 МВт
Максимальная электрическая мощность	160 МВт
Начальное давление пара	12,8 МПа (130 ата)
Начальная температура пара	560°C
Номинальный расход свежего пара	500 т/ч
Расход свежего пара в конденсационном режиме	455 т/ч
Температура пара после промежуточного перегрева	555°C
Диапазон расхода пара в производственный отбор 1 МПа	0...90 т/ч
Диапазон давления пара в верхнем теплофикационном отборе	0,059...0,245 МПа
Диапазон давления пара в нижнем теплофикационном отборе	0,049...0,147 МПа

Специалистам УТЗ удалось сохранить габариты турбоагрегата, однако его узлы претерпели значительные изменения. В первую очередь была изменена конструкция ЦВСД. ЧВД цилиндра развернули и установили противоточно по

отношению к ЧСД турбины. Реконструкция совмещённого ЦВСД позволила сохранить компактность, а новая компоновка ЧВД и ЧСД – уменьшить тепловые нагрузки на разделительную обойму (диафрагму). В данном случае и с одной, и с другой её стороны находился пар практически одной и той же температуры: слева от обоймы – свежий пар после котла, справа – пар после промежуточного перегрева. Кроме того, данное решение позволило уменьшить осевые усилия, действующие от ротора на опорно-упорный подшипник. Проточная часть ЦВСД турбины ПТ-150 имеет большее количество ступеней: 11 в ЧВД и 10 в ЧНД [5]. Выделенной регулирующей ступени в ЧВД нет ввиду дроссельного парораспределения. Сам цилиндр сделан сварнолитым и состоит из четырёх частей: верхней и нижней половин, каждая из которых имеет паровпускную и выхлопную часть. Пароотводящий патрубок ввиду условий компоновки выполнен овальным, плавно переходящим в круглое сечение.

Претерпела изменения и конструкция ЦНД. Его эффективность также возросла. Длина лопатки последней ступени была увеличена и составила более 800 мм (на К-160 – 780 мм) [5]. Также был организован отбор пара на нижний сетевой подогреватель, что предполагает установку регулирующих диафрагм в каждом потоке и выполнение габаритных камер отбора пара. ЦНД выполнен двухкорпусным. Во внутреннем корпусе находится проточная часть, а наружный обеспечивает единый для двух потоков выхлопной патрубок для соединения с одним конденсатором К-9500 [2], который также является новой разработкой УТЗ. Таким образом, для транзита пара в конденсатор используется средняя часть ЦНД, что позволяет уменьшить его скорость и, соответственно, снизить потери давления и неравномерность потока в тангенциальном направлении. Общий вид модели турбины ПТ-150/160-130 представлен на рисунке 2.

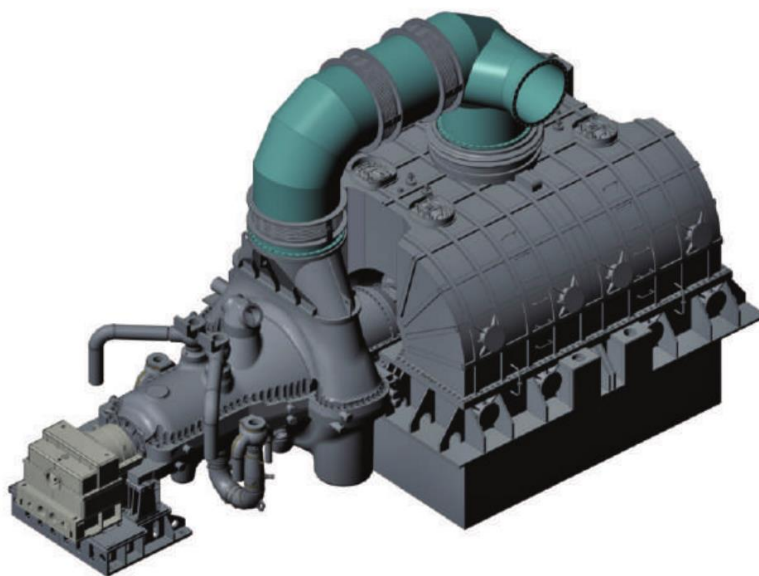


Рисунок 2. Модель турбины ПТ-150/160-130 [5]

Тепловая схема турбины ПТ-150/160-130 предполагает систему регенеративного подогрева, в которую входят 3 подогревателя низкого давления (ПНД), деаэратор и 3 подогревателя высокого давления (ПВД). Все отборы пара, кроме отбора на ПНД-1, выполнены из проточной части ЦВСД, что

предопределило обойменную конструкцию цилиндра, так как обоймы позволяют организовать необходимые камеры для отборов в систему регенерации. Помимо этого, турбина имеет промышленный отбор с давлением 1 МПа, который может отдавать на производство до 90 т/ч пара, а также верхний и нижний теплофикационные отборы. Их параметры представлены выше в таблице 1. Верхний отбор выполнен из выхлопа ЦВСД, причём трубопровод в сетевой подогреватель выведен из перепускной трубы между ЦВСД и ЦНД. Регулирование давления в нижнем отборе на теплофикацию осуществляется поворотными диафрагмами. Поскольку нижний отбор обеспечивается из ЦНД турбины, то сам цилиндр имеет более крупные размеры, так как в его внутренний корпус необходимо было вварить дополнительные обоймы для установки регулирующих диафрагм. Выбранный диапазон давлений в теплофикационных отборах позволяет обеспечить подогрев сетевой воды до 120°C.

Таким образом, специалисты Уральского турбинного завода смогли создать фактически новую турбину, которая имеет большую энергетическую эффективность, но при этом сохраняет компактность, что позволяет использовать её для замены отработавших свой ресурс турбин типа К-160. Наличие теплофикационных и промышленного отборов расширяет возможности ТЭС и позволяет ей отпускать не только электрическую, но и тепловую энергию. В настоящее время головной образец турбины ПТ-150/160 уже успешно введён в строй в ходе реконструкции на Краснодарской ТЭЦ. Данное предприятие планирует установку новых турбин и на остальных его трёх блоках, что полностью обновит силовую часть ТЭС [5]. Дальнейшее внедрение новых образцов оборудования, равно как и разработка инженерами новых агрегатов, позволит сократить процент морально и физически устаревшего энергетического оборудования.

#### Список литературы:

1. Общая концепция реновации и реконструкции паровых турбин [Электронный ресурс] / РосТепло. ru. – Режим доступа: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=440](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=440) / . – Дата доступа: 20.03.2024.
2. Шибаев, Т. Л. Паровая турбина ПТ-150/160-130 для реконструкции энергоблоков с К-160-130 / Т. Л. Шибаев [и др.] // Турбины и дизели. – 2023. – №5. – с. 14–19.
3. Соболев, С. П. паровая турбина К-160-130 ХТГЗ / С. П. Соболев. – М.: Энергия, 1980. – 192 с.
4. Трухний, А. Д. Стационарные паровые турбины / А. Д. Трухний. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 640 с.
5. Шибаев, Т. Л. Паровая турбина ПТ-150/160-130 для реконструкции энергоблоков с К-160-130 / Т. Л. Шибаев [и др.]. – бюллетень УТЗ. – 2020.