

УДК 621.165

О эффективности работы камеры регулирующей ступени паровой турбины

Каранкевич В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент КАЧАН С.А.

Режимы эксплуатации современных паровых турбин с сопловым парораспределением оказывают существенное влияние на эффективность работы регулирующей ступени и турбины в целом.

Регулирующая ступень изначально имеет некоторую степень парциальности, а эксплуатация турбины на нерасчетных режимах ведет к ее увеличению, а значит к росту дополнительных потерь энергии, снижению КПД регулирующей ступени и эффективности остальных ступеней цилиндра.

Величина дополнительных потерь зависит как от конструктивных, так и от режимных параметров. Из конструктивных параметров наиболее важными являются: степень парциальности, межвенцовый зазор [1] и осевое расстояние между регулирующей ступенью и первой ступенью давления (рисунок 1).

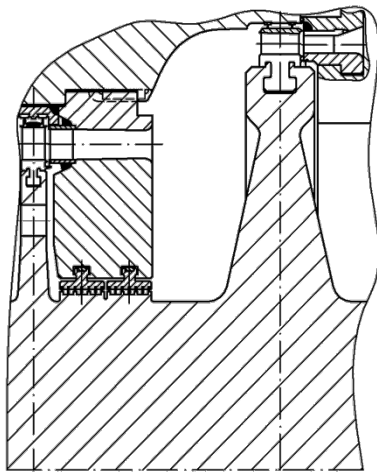


Рисунок 1 – Камера регулирующей ступени турбины К-210-130

Расстояние между ступенями определяется шириной уравнивающей камеры, предназначенной для снижения неравномерности распределения давления рабочего тела на входе в направляющий аппарат первой ступени давления.

Исследование эффективности работы камеры регулирующей ступени требует проведение численного и физического эксперимента.

Высокая стоимость физического эксперимента в настоящее время привела к широкому использованию современных методов вычислительной гидродинамики (*CFD*), основанных на моделировании реальных физических процессов течения. Применение трехмерных расчетных моделей позволяет с достаточной точностью оценивать влияние режима работы турбины на общий уровень потерь в камере за регулирующей ступенью [2].

В [2] приведены результаты расчетно-теоретического исследования трехмерного течения пара в уравнивающей камере за регулирующей ступенью и определению уровня потерь в ней с учетом режимов работы турбины.

В [2] в качестве прототипа объекта исследования была выбрана уравнивающая камера за регулирующей ступенью турбины К-310-240 производства ОАО «Турбоатом».

Направляющий аппарат регулирующей ступени этой турбины выполнен из трех сегментов с различным количеством сопел. Подвод пара к сегментам осуществляется через систему клапанов с последовательным открытием.

В первую очередь пар подается в сегмент с наибольшим количеством сопел $Z_c = 40$. Затем ко второму и третьему сегменту с $Z_c = 23$ и $Z_c = 15$, соответственно.

Исследованные режимы были разделены на три группы по количеству открытых сегментов. В каждой группе варьировалось количество подводимого пара на входе в регулируемую ступень, для того, чтобы оценить уровень влияния степени парциальности на эффективность работы уравнивающей камеры.

Поскольку исследуемый объект, в силу своих конструктивных особенностей, имеет сложную геометрию, расчетная область была разделена на четыре части: сопловая решетка, межвенцовый зазор, рабочая решетка и камера за регулирующей ступенью (рисунок 2).

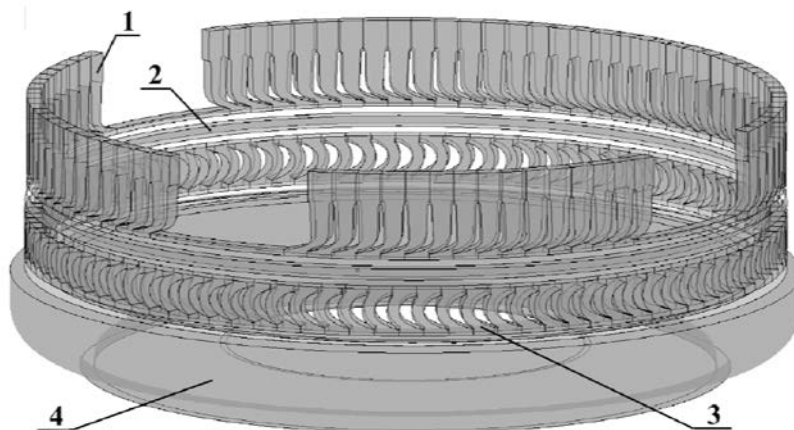


Рисунок 2 – Расчетный объем: 1 – сопловая решетка; 2 – межвенцовый зазор; 3 – рабочая решетка; 4 – уравнивающая камера

Результаты численных расчетов представлены на рисунке 3, где показаны зависимости распределения отношения полного давления в каждом секторе (P^*) к его максимальному значению (P^*_{max}) при разных расходах пара через регулирующую ступень.

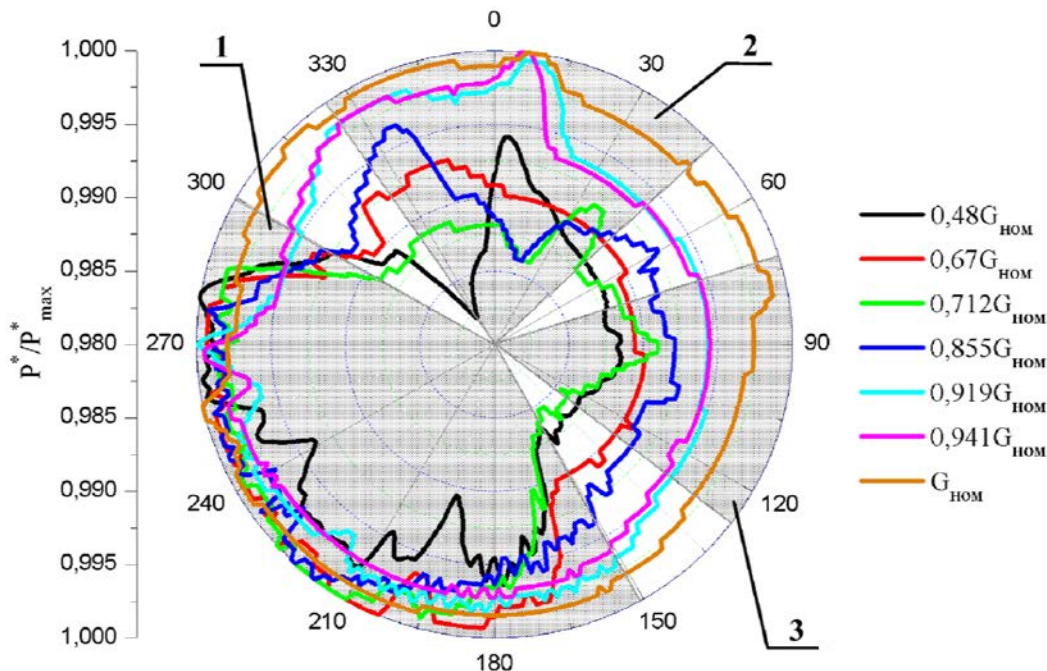


Рисунок 3 – Распределение относительного полного давления по окружности на входе в сопловой аппарат первой ступени давления: 1 – сегмент № 1; 2 – сегмент № 2; 3 – сегмент № 3

Из рисунка видно, что на номинальном режиме наблюдается наименьшая степень неравномерности распределения полного давления, что ожидаемо. Тем не менее, имеется

небольшой разброс в значениях, который составляет примерно 0,3%. Для режима с наименьшим расходом рабочего тела ($0,48 G_{ном}$) – этот разброс составляет около 2%.

Серым цветом выделена область подвода пара к сегментам. Цифрой 1 обозначен наибольший сегмент с количеством сопел $Z_c = 40$, цифрами 2 и 3 обозначены сегменты с числом сопел $Z_c = 23$ и $Z_c = 15$, соответственно.

Резкие спады и подъемы давления на графике объясняются сложным вихреобразным течением, особенно это ярко выражено на режиме $0,48 G_{ном}$ (рисунок 4). В зоне неактивных дуг наблюдается существенное падение относительного полного давления.

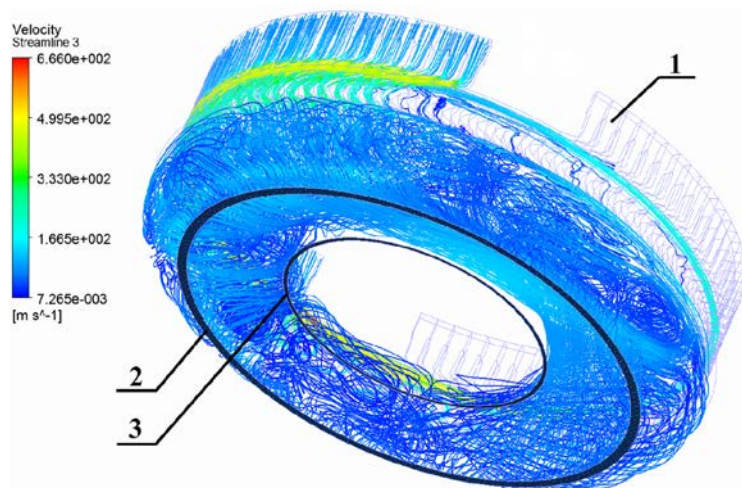


Рисунок 4 – Линии тока и величины скорости на режиме $0,48 G_{ном}$:
 1 – сегмент с закрытым регулирующим клапаном; 2 – вход в НА первой ступени давления;
 3 – вход в диафрагменное уплотнение

Трехмерное численное исследование уравнительной камеры показало, что уменьшение в два раза пропускаемого массового расхода пара через турбину приводит к увеличению в четыре раза потерь давления в уравнительной камере (рисунок 5).

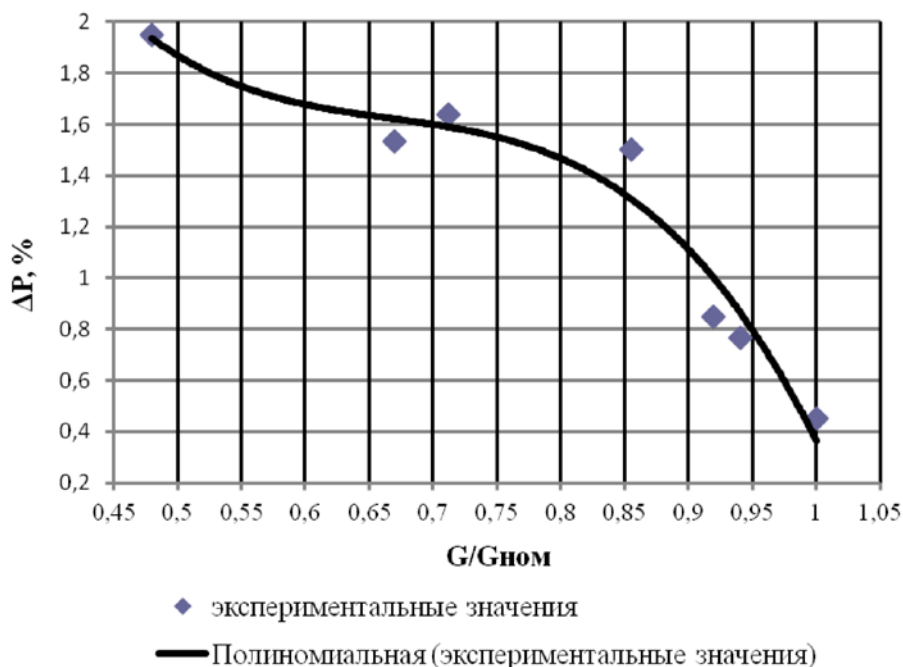


Рисунок 5 – Зависимость потерь давления от режима эксплуатации

Уровень потерь давления в уравнильной камере напрямую зависит от нескольких факторов.

Одним из основных факторов является степень парциальности регулирующей ступени, при наличии которой возникают дополнительные потери в области неактивных дуг направляющего аппарата регулирующей ступени. С уменьшением расхода пара на входе в проточную часть растет степень парциальности, что приводит к образованию дополнительных вихрей с более высокой интенсивностью.

Кроме того, важным фактором является и геометрия (конструкция) самой уравнильной камеры. Наличие различного рода уступов и угловых зон в ней ухудшают картину течения, образованием в них вихрей.

Из рисунков 4, 5 видно, что одной из главных причин возникновения дополнительных потерь в уравнильной камере является наличие интенсивных вихрей в зоне неактивных дуг направляющего аппарата регулирующей ступени.

На рисунке 6 точками представлены потери давления в уравнильной камере на различных режимах работы турбины.

Полученная зависимость дает возможность учитывать потери давления в уравнильной камере при проектировании и модернизации турбины с учетом режимов эксплуатации.

Приведенные в [1, 2] методика и результаты трехмерного численного моделирования позволяют более точно проводить оптимизацию элементов проточной части турбин с учетом их режима эксплуатации.

Проведенные в [3] исследования также подтверждают наличие высоких пульсаций давления и очень сильной окружной неравномерности параметров потока в камере регулирующей ступени паровой турбины типа К-210-130.

Для выравнивания потока рабочей среды, поступающей в сопловой аппарат первой нерегулируемой ступени турбины, в [3] предложены и исследованы перфорированные экраны, использование которых при минимальных затратах позволяет увеличить КПД частей высокого давления мощных паровых турбин (рисунок 6).

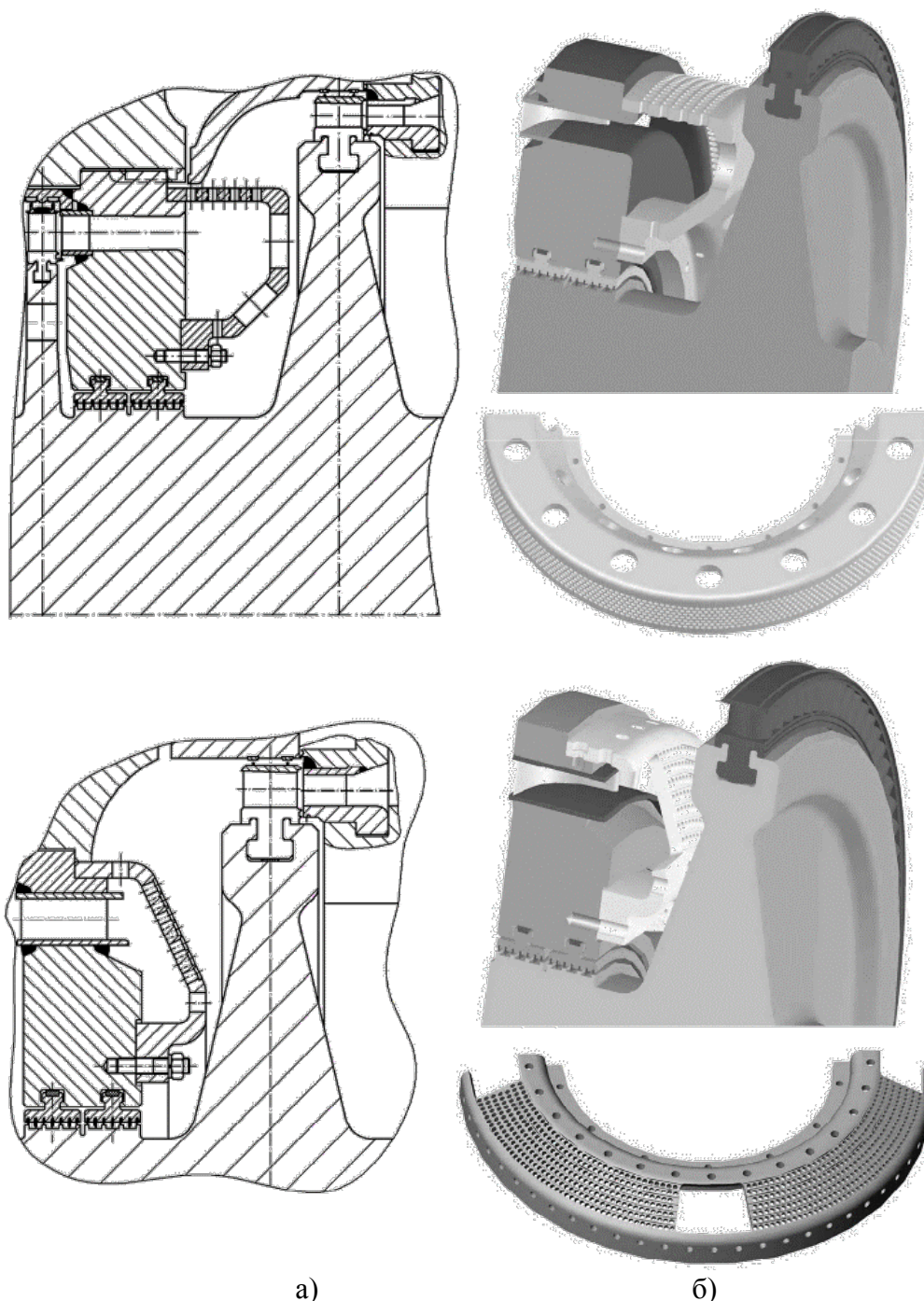


Рисунок 6 – Проточная часть первых двух ступеней турбины К-200-130 с цилиндрическим экраном (а) и с коническим экраном (б)

Если учесть, что примерно 1/3 от общей мощности турбины вырабатывается в ее части высокого давления (ЧВД), то при повышении внутреннего относительного КПД ЧВД на 2% мощность исследованной турбины типа К-210-130 увеличится примерно на 1,0 МВт, если рассматривать режимы с нагрузкой 150-170 МВт.

Литература

1. Бойко, А.В. Оценка влияния межвенцового зазора на эффективность регуливающей ступени на переменном режиме / А.В. Бойко, Ю.Н. Говорушенко, А.П. Усатый, Е.П. Авдеева // Энергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. – Х.: НТУ «ХП», 2012. – № 7. – С. 49-53. – ISSN 2078-774X.

2. Бойко, А.В. Численное исследование эффективности уравнительной камеры за регулирующей ступенью на разных режимах работы / Бойко А.В., Усатый А.П., Авдеева Е.П. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування №1 - Вестник НТУ "ХПИ", 2014.

3. Использование перфорированных экранов в камере регулирующей ступени паровой турбины с сопловым парораспределителем / Зарянкин А.Е., Арианов С.В., Фичорьяк О.М. и др. // Тяжелое машиностроение. 2007. - №1. - С. 10 - 15.