

**ВАЛИДАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ «СТУПЕНЬ-ДИФфуЗОР» И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ**Черкасова М.Г.<sup>1</sup>, Семакина Е.Ю.<sup>2</sup>, Черников В.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>АО «Силловые машины», г. Санкт-Петербург, [cherkasova\\_mg@power-m.ru](mailto:cherkasova_mg@power-m.ru)<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург*Ключевые слова: газовая турбина, выходной диффузор, численное моделирование.*

Эффективность турбины ГТУ во многом зависит от аэродинамики и восстановительной способности диффузора. На характер течения в диффузоре влияет распределение потока на входе в него. Проведено экспериментальное исследование работы диффузора ГТЭ-65 в системе «ступень-диффузор» («с-д») на стенде с масштабом 1:4,566. Измерения проводились методом траверсирования 3D-потока по площади контрольных сечений пятиканальными векторными пневмозондами. По результатам эксперимента выполнена валидация численной модели системы «с-д», созданной в программном комплексе ANSYS-CFX. Исследована экспериментальным и численным методами базовая конструкция ГТЭ-65. Результаты работы [1] показали, что структура нестационарного течения за рабочим колесом (РК), а также в прикорневых и периферийных областях выходного участка кольцевого диффузора оказывает наиболее существенное влияние на аэродинамику исследуемой системы. Расчётное исследование выполнено на осесимметричном секторе системы «с-д», определяемого количеством силовых стоек в диффузоре и передающих поля от домена к домену посредством интерфейса Frozen Rotor.

Расчёты выполнены в постановках RANS и URANS. Сопоставление расчётных и экспериментальных полей параметров потока выполнено методом статистического анализа [2]. Для этого в сходственных точках контрольных сечений вычислялись относительные разности локальных значений валидируемого параметра, полученных расчётным и экспериментальным путём. Результаты исследований показали наличие отрыва потока в прикорневой зоне диффузора, вызванного закруткой потока за РК. При этом интегральные параметры в контрольных сечениях, а также структура потока в зоне безотрывного течения показывают удовлетворительную сходимость расчёта и эксперимента. На номинальном режиме работы разница в КПД посчитанная по полным параметрам составляет 1,7%. Тем не менее, детально такую структуру потока методом URANS разрешить не представляется возможным. Чтобы получить численную модель, повторяющую эксперимент, необходимо использовать модель турбулентности DNS, что уводит задачу из рамок инженерного подхода.

Перепрофилировав последнюю ступень по закону обратной закрутки, удалось достичь безотрывного течения за РК. Рис. 1 показывает, как, согласно численным расчётам, увеличился КПД ступени, рассчитанный по полным параметрам ( $\eta^*$ ), по статическим ( $\eta$ ) и КПД системы «ступень-диффузор» ( $\eta+D$ ). Наличие безотрывного течения на входе в диффузор позволяет достоверно исследовать численными методами влияние геометрии обводов и обтекателя стоек на эффективность диффузора. Так, было рассмотрено влияние длины втулки – рассчитаны максимальная и минимальная конструктивно возможная длина; рассчитаны 5 вариантов обтекателей стоек. Расчетно-экспериментальные исследования показали нелинейный характер изменения восстановления давления по длине диффузора.

В наибольшей степени восстановительный процесс происходит в кольцевой части диффузора. Из результатов численного моделирования следует, что удлинение втулки до определенных пределов улучшает восстановительные качества диффузора. Эффект достигается за счет восстановления значительной доли входной кинетической энергии в кольцевом диффузоре и, как результат – локализации циркуляционной зоны за втулкой в коническом диффузоре. Тангенциальный наклон стоек какого-то заметного влияния на поток не оказывает. Наклон стоек в осевом направлении в некоторой степени улучшает

восстановительные процессы в диффузоре, особенно на частичных режимах нагрузки. Степень влияния осевого наклона на коэффициент восстановления давления в определенной степени зависит от величины радиального зазора над РК.

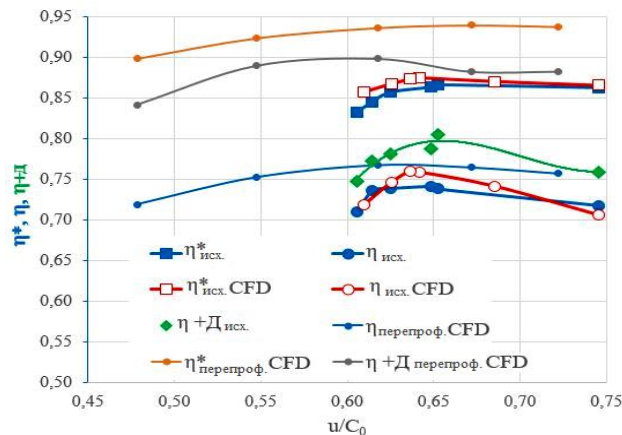


Рис.1 – КПД исходной и перепрофилированной ступени и системы «ступень-диффузор»

В результате проведенной работы была определена зона применимости численного метода оценки течения потока в системе «с-д», выработаны рекомендации по подготовке численной модели, определено влияние длины втулки и геометрии обтекателя силовых стоек на потери в диффузоре и его восстановительную способность. В настоящее время продолжаются работы по испытанию на стенде ступени, обеспечивающей безотрывный поток на входе в диффузор и доработке численной модели.

### Список литературы

1. Семакина Е.Ю., Черников В.А., Черкасова М.Г. Результаты экспериментальных и численных исследований аэродинамических характеристик системы «ступень-диффузор» ГТЭ-65 // НТ проблемы широкого применения газотурбинных и парогазовых установок в электроэнергетике РФ: сб. докладов. СПб., 2020. С. 81–90.
2. Черников В.А., Зандер М.С., Семакина Е.Ю. Экспериментальные и численные исследования структуры 3D-потока в блоке «ступень-выходной диффузор» // Научно-технические ведомости СПбГПУ. СПб., 2013. № 2-2 (148): Наука и образование. С. 52–61.

### Сведения об авторах

Черкасова Марина Геннадьевна, инженер-конструктор 1 категории. Область научных интересов: турбины газотурбинных установок.

Семакина Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: аэродинамика проточных частей турбомашин, теория турбомашин.

Черников Виктор Александрович, д-р техн. наук, доцент, профессор. Область научных интересов: аэродинамика проточных частей турбомашин, теория турбомашин.

### VALIDATION OF THE “STAGE-DIFFUSER” NUMERICAL STUDY AND ITS USE FOR DESIGN MODERNIZATION

*Cherkasova M.G.<sup>1</sup>, Semakina E.Y.<sup>2</sup>, Chernikov V.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>JSC «Power machines», Saint-Petersburg, [cherkasova\\_mg@power-m.ru](mailto:cherkasova_mg@power-m.ru)

<sup>2</sup> Peter the Great Polytechnic University, Saint-Petersburg

*Keywords: gas turbine, diffuser, struts, pressure recovery, numerical investigation.*

The “stage-diffuser” system has been investigated in two ways – numerical and experimental. The results shown good convergence in the absence of large vortexes range. Design modernization was carried out based on validated numerical model simulations.