

Л. Н. Белотелова, П. А. Волошин, С. А. Оськин,
М. А. Радугин, В. Н. Сергеев, В. Н. Хмара

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ СТУПЕНИ С КОЛЬЦЕВОЙ ЗАСЛОНКОЙ В ЗОНЕ НАГНЕТАНИЯ

Приведены результаты экспериментального исследования высоконапорной вихревой ступени турбомашин с устройством для снижения потерь от балластного газа в проточной части. Представлены рекомендации по геометрии устройства, обеспечивающие повышение КПД вихревой ступени турбомашин.

E-mail: vozduhoduvka@mail.ru

Ключевые слова: вихревая турбомашинa, вихревая ступень, рабочее колесо, рабочий канал, структура потерь, эффективность компрессора.

При ряде преимуществ у вихревых турбомашин имеется один существенный недостаток – сравнительно низкий КПД. Это обусловлено особенностями процесса сжатия в вихревой ступени, в котором имеют место потери, характерные как для турбомашин, так и для машин объемного типа. Существенное влияние на эффективность работы вихревой ступени оказывает процесс переноса сжатого нагретого газа через отсекающий с нагнетания на всасывание, что является основной причиной низкого КПД вихревой ступени. Уменьшая количество “балластного” газа, можно ожидать повышения эффективности работы вихревой ступени.

Предлагается один из вариантов решения этой задачи [1–3]: балластный газ просто сбрасывается в атмосферу, не смешиваясь с холодным газом, поступающим на всасывание. Экономии в этом случае нет, поскольку на сжатие балластного газа затрачена энергия. Однако отсутствует и подогрев всасываемого газа от смешения с балластным газом, тем самым увеличивается степень сжатия в одной ступени. Экономия может быть получена, если часть балластного газа изъять из межлопаточного пространства рабочего колеса еще в зоне нагнетания, направив его в нагнетательный патрубок. В МГТУ им. Н.Э. Баумана для решения этой задачи предложено устанавливать на входе в лопатки рабочего колеса в зоне нагнетания кольцевую заслонку в окружном направлении, длина которой определяется соотношением $\bar{L} = L_{\text{засл}}/L$ или центральным углом $\gamma = \bar{L} \cdot 360^\circ$. Схема вихревой ступени с кольцевой заслонкой на нагнетании приведена на рис. 1.

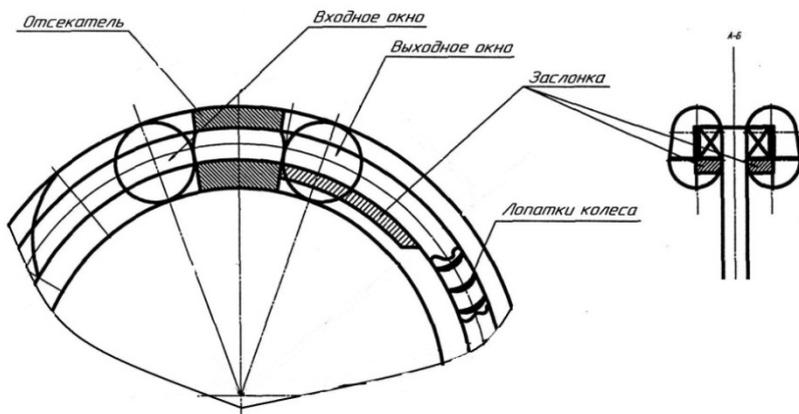


Рис. 1. Схема вихревой ступени с кольцевой заслонкой в зоне нагнетания

Работает заслонка следующим образом: в зоне ее расположения находящийся в межлопаточном пространстве рабочего колеса сжатый горячий газ отбрасывается на периферию центробежными силами, а поступлению снизу новой порции газа препятствует заслонка. В результате через отсекаТЕЛЬ в межлопаточном пространстве на всасывание переносится газ с меньшей плотностью, т. е. с меньшей массой балласта.

Экспериментальные исследования проведены на серийном вихревом нагнетателе ВВК-2М с периферийно-боковым каналом и двусторонней проточной частью. Длина заслонки в зоне нагнетания изменялась в диапазоне $L_{\text{засл}} = 50 \dots 285$ мм (50, 80, 100, 200 и 285 мм), что соответствует диапазону значений $L = 0,095 \dots 0,273$. Характеристики вихревой ступени с различными кольцевыми заслонками представлены на рис. 2 (в физических параметрах) и на рис. 3 (в относительных параметрах).

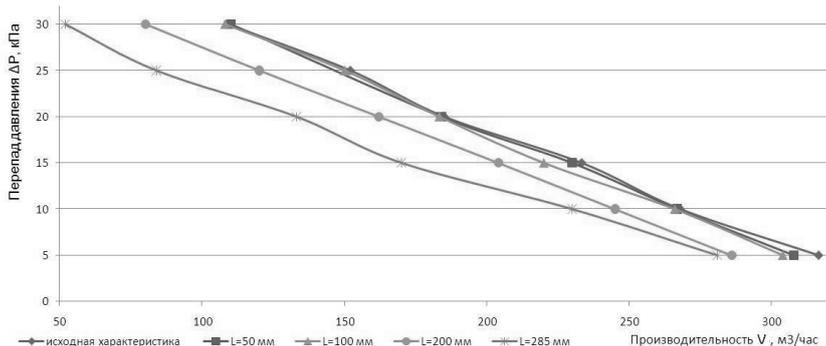


Рис. 2. Влияние длины заслонки на характеристику вихревой ступени

Анализ характеристик вихревой ступени при различной длине кольцевых заслонок в зоне нагнетания показывает, что установка заслонки длиной $L_{\text{засл}} = 100$ мм ($\bar{L} = 0,095$) приводит к наибольшему увеличению КПД ступени ($\eta_{\text{max}} = 0,318$ по сравнению с $\eta_{\text{max}} = 0,29$ для

той же ступени без кольцевой заслонки) и почти не снижает создаваемого перепада давления $\Delta p_{\text{ступ}}$. Заслонки длиной 50 и 80 мм мало влияют на характеристику вихревой ступени. При $L_{\text{засл}} > 100$ мм понижается как $\Delta p_{\text{ступ}}$, так и $\eta_{\text{ступ}}$, т. е. заслонки на нагнетании могут быть использованы для регулирования работы вихревой ступени.

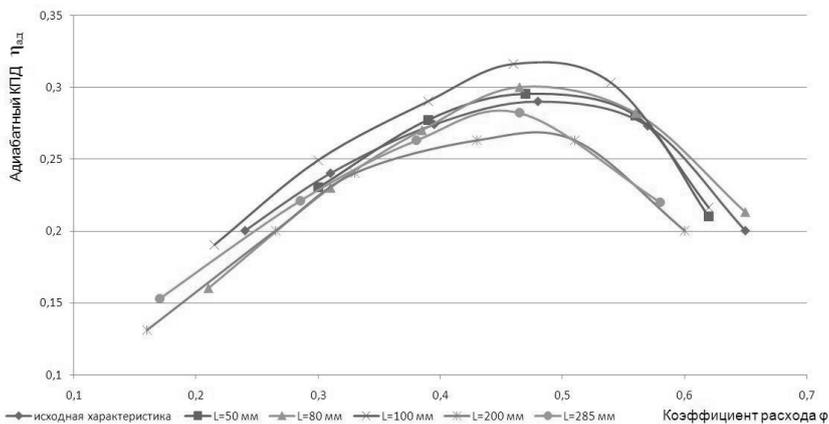


Рис. 3. Влияние длины заслонки на адиабатный КПД $\eta_{\text{ад}}$ вихревой ступени

Таким образом, при установке кольцевой заслонки в зоне нагнетания можно достичь существенного повышения эффективности вихревой ступени (при $\bar{L} \approx 0,095 \dots 0,105$, $\gamma \approx 40^\circ$). Кроме того, установка заслонки является довольно простым методом регулирования работы вихревой ступени (при $\bar{L} > 0,11$).

Аналогичный эксперимент проведен на серийном нагнетателе ВВК-300 с улучшенной аэродинамической схемой (рис. 4).

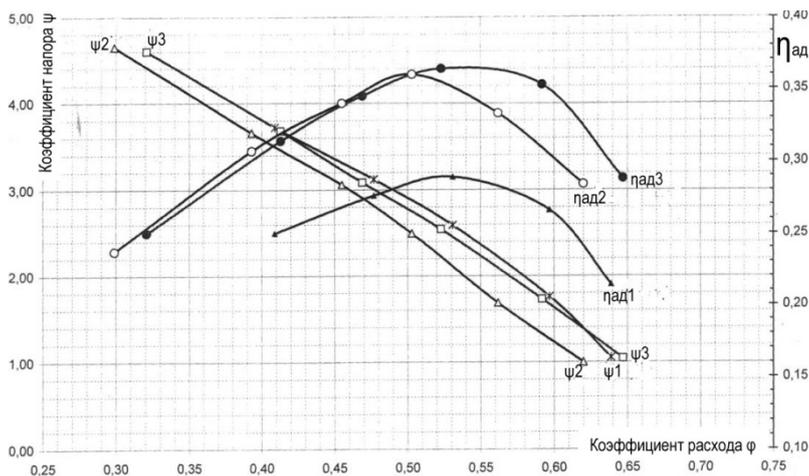


Рис. 4. Результаты использования заслонки на серийном нагнетателе ВВК-300:

$\psi_1, \eta_{\text{ад}1}$ – исходная характеристика; $\psi_2, \eta_{\text{ад}2} - \gamma = 60^\circ$; $\psi_3, \eta_{\text{ад}3} - \gamma = 50^\circ$

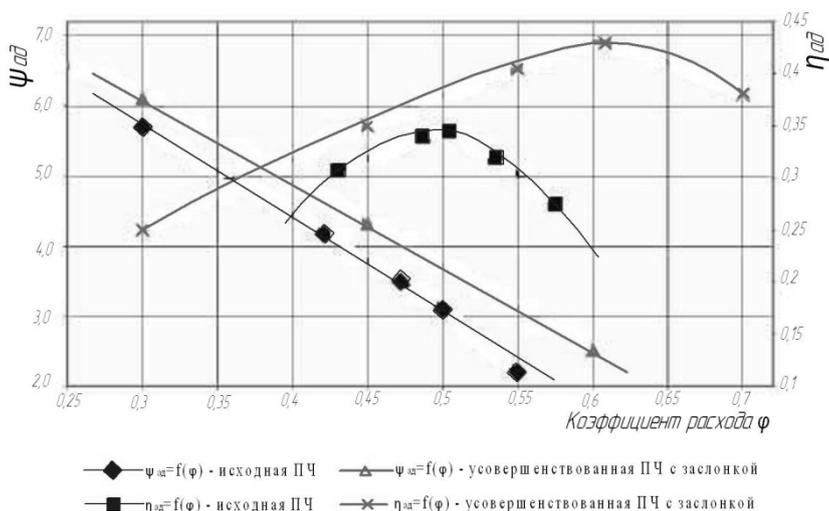


Рис. 5. Совместное влияние улучшенной аэродинамической схемы и заслонки

Использование заслонки с $\gamma = 50^\circ$ приводит к увеличению КПД на 24 %. Применяя заслонку совместно с новым каналом грушевидной формы в одной ступени (рис. 5), получаем повышение КПД на 48 % по сравнению с исходной характеристикой ступени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2070993. 27.12.1996.
2. European Patent Specification EP 0 646 728 B1. 27.12.1993.
3. United States Patent № 5499900. 19.04.1996.

Статья поступила в редакцию 14.09.2012