

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ГАЗА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ВХОДНЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ АППАРАТОМ

*Крутиков М.В., Блинов В.Л.*

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

**Ключевые слова:** центробежный нагнетатель, численное моделирование, входной направляющий аппарат, регулирование.

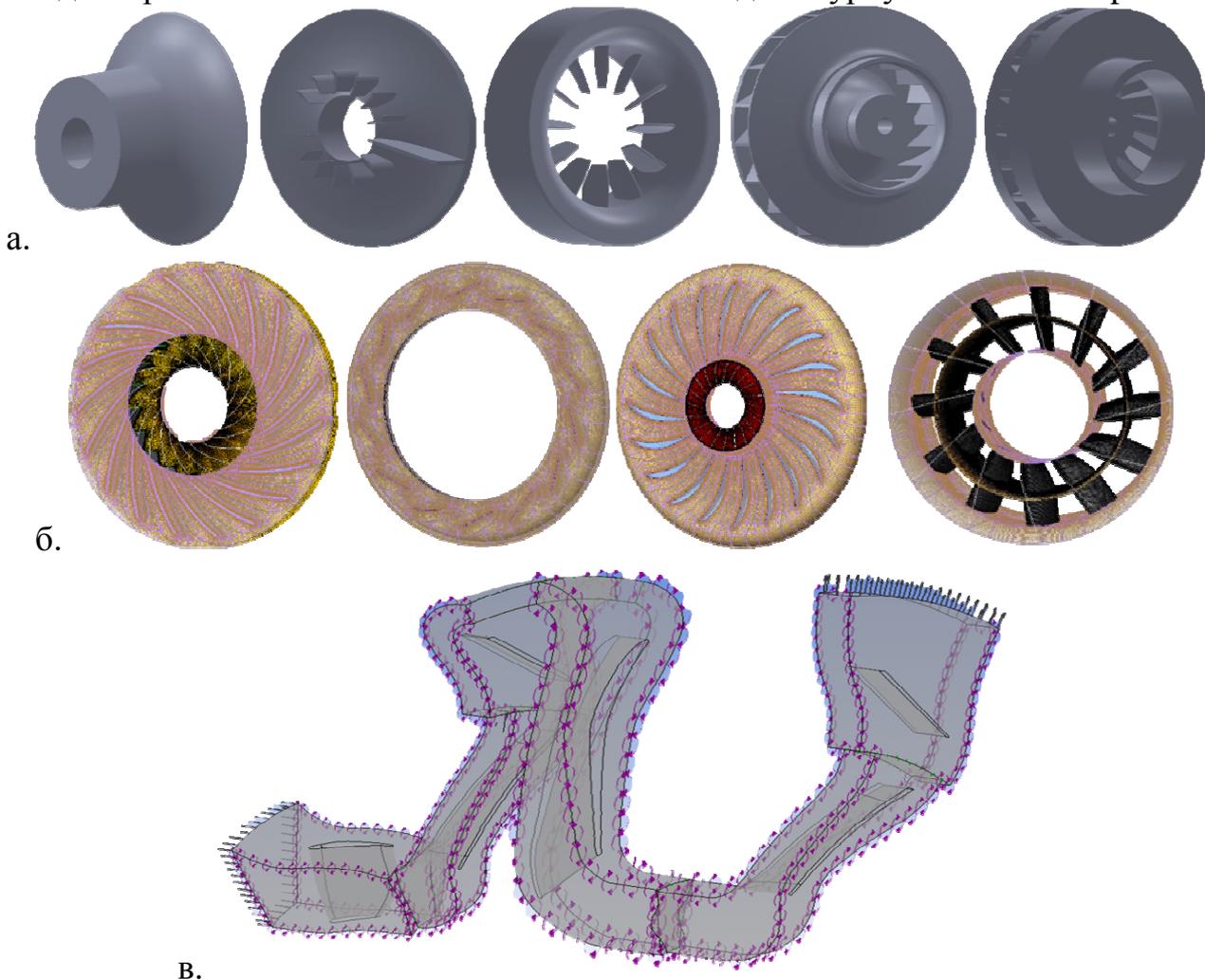
**Аннотация.** В докладе рассматривается вопрос моделирования процесса сжатия газа в проточной части центробежного нагнетателя природного газа с последующим анализом влияния положения входного направляющего аппарата на его характеристику.

Центробежные нагнетатели (ЦБН) относятся к основному оборудованию в различных сферах промышленности – химической, нефтегазовой, металлургической, горнодобывающей, энергетике и т.д. Особо широкое обращение ЦБН нашлось на газоперекачивающих станциях отечественной газотранспортной системы (ГТС). Большинство нагнетателей, используемых на ГТС, спроектировано и введено в эксплуатацию до 90-х годов предыдущего столетия. В связи с постепенным изменением направлений и объемов транспорта газа, а также развитием новых технологий проектирования и изготовления оборудования данного класса, возникает необходимость в модернизации проточных частей ЦБН или адаптации существующих конструкций к новым режимам работы. В некоторых конструкциях нагнетателей за подводимым устройством для обеспечения требуемой закрутки потока на входе в рабочее колесо (РК) устанавливается входной направляющий аппарат (ВНА). Использование регулируемого ВНА, позволяет закручивать поток по направлению вращения или против него, тем самым изменять положение рабочей точки на характеристике нагнетателя. При закрутке по вращению расход будет падать, а при закрутке против вращения, напротив, возрастет. Закрутка потока в основном оказывает влияние на условия работы рабочего колеса ЦБН, а на работе выходного устройства отражается незначительно. При этом закрутка против вращения из-за увеличения угла атаки и повышения возможности отрыва потока возможна в меньших пределах, чем по вращению [1].

В качестве объекта настоящего исследования выбран двухступенчатый центробежный нагнетатель типа RF-2BB-36 «Крезолуар», эксплуатируемый на объектах отечественной газотранспортной системы. Рабочие колеса радиального типа, обратный направляющий аппарат (ОНА) и диффузоры обеих ступеней выполнены лопаточными (ЛД). Особенностью данного типа ЦБН является наличие регулируемого в офлайн режиме ВНА. В процессе исследования выполнено сканирование геометрии основных элементов проточной части компрессора и построение на ее основе твердотельной модели ЦБН (рисунок 1а) [2]. В дальнейшем произведена доработка созданной геометрии труднодоступных и проблемных участков проточной части. Целью исследования является

построение численной модели проточной части нагнетателя и проведение численных исследований процесса сжатия природного газа при различных углах установки ВНА с дальнейшим анализом влияния положения ВНА на параметры работы нагнетателя.

Для моделирования течения в проточной части ЦБН осуществлено построение меридиональных обводов и лопаточного аппарата нагнетателя, построение конечно-элементной сетки (рисунок 1б), построение расчетной области (рисунок 1в) и задание граничных условий. Рабочим телом для расчетов послужила модель метана CH<sub>4</sub>RK. В качестве типа граничных условий выбрано полное давление и полная температура на входе и статическое давление на выходе из расчетной области. Использовалась модель турбулентности k-epsilon.



в.

Рис. 1. Построение расчетной модели ЦБН:

- а – 3D модели (слева-направо): втулки, крышки, ВНА, РК и ОНА;
- б – Расчетная сетка (слева направо): РК и ЛД 1-й ступени, ОНА и ВНА;
- в – Расчетная область с заданными граничными условиями

Проведены две серии расчетов на номинальную частоту вращения: ВНА повернут против направления вращения РК на 15 градусов (отрицательная закрутка потока в 15 градусов) и ВНА имеет осевое положение. Стоит отметить, что отрицательная закрутка потока на угол более 15 градусов, приводит к значительному росту потерь в колесе [3]. Поэтому введение отрицательной

закрутки потока более чем на 15 градусов в рамках данного исследования не рассматривается. Расчетные характеристики ЦБН представлены на рисунке 2.

На основе полученных результатов установлено влияние закрутки потока перед лопатками рабочего колеса на положение и характер номинальной изодромы ЦБН. Введение отрицательной закрутки в 15 градусов привело к смещению характеристики нагнетателя в область с наибольшим значением объемной производительности. В области низкого повышения давления, наблюдается более существенное влияние отрицательной закрутки потока на смещение характеристики в зону с повышенными значениями расхода. Стоит отметить, что получение достоверных характеристик в области больших расходов может быть затруднено в связи возможного возникновения срыва потока.

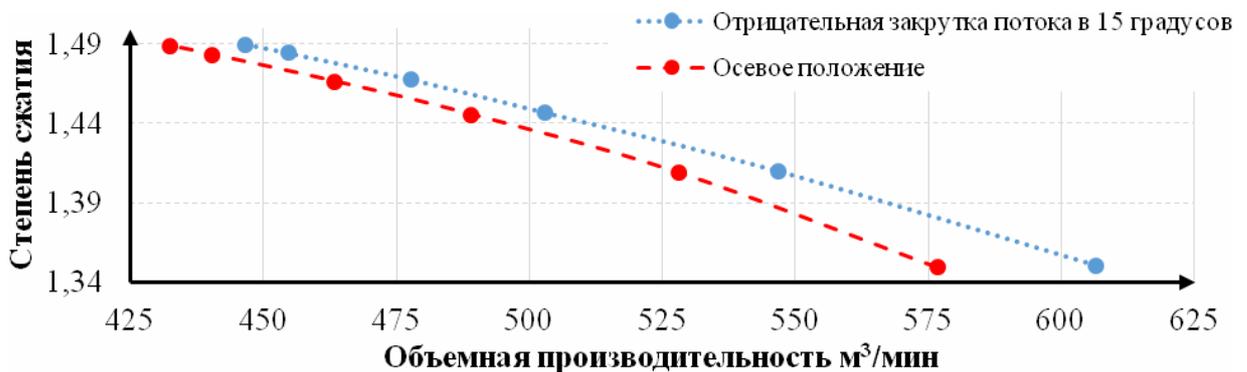


Рис. 2. Зависимость степени сжатия от объемной производительности ЦБН при различном положении ВНА

На основании результатов исследования можно отметить, что за счет изменения положения ВНА возможно обеспечить повышение эффективности работы проточной части ЦБН в изменяющихся эксплуатационных условиях.

Следующим этапом исследования является верификация разработанной численной модели на основании данных с объекта эксплуатации ЦБН, а также проведение численного эксперимента для оптимизации работы ЦБН за счет регулирования положения ВНА с целью согласования оптимальных параметров работы нагнетателя с изменившимися режимами работы ГТС.

#### Список литературы

1. Ревзин Б.С. Особенности конструкций одно- и двухступенчатых нагнетателей природного газа: Учебное пособие. – Екатеринбург, 2000. – 102 с.
2. Крутиков М.В., Ледков Д.Е., Блинов В.Л. 3D-сканирование и доработка проточной части центробежного нагнетателя RF-2BB-36 // Доклад на конференции УралЭНИН УрФУ. 2018.
3. Ден Г.Н. Проектирование проточной части центробежных компрессоров. Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1980. - 232 с.

#### Сведения об авторах:

*Крутиков Михаил Викторович* – магистрант УрФУ, г. Екатеринбург;

*Блинов Виталий Леонидович* – к.т.н., доцент кафедры "Турбины и двигатели", УрФУ, г. Екатеринбург.

## MODELING COMPRESSION PROCESS OF GAS IN THE FLOW PATH OF A CENTRIFUGAL COMPRESSOR WITH VARIABLE INLET GUIDING VANE

*Krutikov M.V., Blinov V.L.*

**Keywords:** centrifugal compression; numerical simulation; input guiding vane; adjustments.

**Abstract.** The report addresses the issue of the modeling compression process of gas in the flow part of the centrifugal compression with the subsequent analysis of influence of position of the inlet guide vane on the characteristics of the centrifugal compressor.

### References

1. Revzin B.S. Features of designs of one-and two-stage gas compressor: Manual. Ekaterinburg: 2000. - 102 p.
2. Krutikov M.V., Ledkov D.E., Blinov V.L. 3D-scanning and development of centrifugal compressor RF-2BB-36 // report at conference UralEHNIN UrFU. 2018.
3. Den G.N. Engineering flow passage centrifugal compressor: Mashinostroenie: Leningr. otd., 1980. - 232 p.