

УДК 621.521

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕКАМЕРНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ С ДВУХСТОРОННИМ ВСАСЫВАНИЕМ

Сёмин Д.А., д.т.н.,

Левашов А.Н., инженер,

Левашов Я.Н., инженер,

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля

Роговой А.С., к.т.н.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Тел. (057) 707-37-30

Аннотация – приведены результаты экспериментальных исследований рабочих характеристик вихрекамерных нагнетателей со всасыванием перекачиваемого потока через оба осевых канала в вихревой камере. В них отсутствует сброс среды в дренажный канал. Характеристики нагнетателя сведены к универсальной характеристике. С ростом сопротивления в выходном канале, уменьшается относительный расход перекачиваемой среды. При увеличении полного давления активного потока во входном канале, увеличивается относительный расход перекачиваемой среды.

Ключевые слова – вихрекамерный нагнетатель, эксперимент, энергетические характеристики, струйные аппараты, бездренажный.

Постановка проблемы. Надежность и долговечность нагнетателей, хорошо зарекомендовавших себя при работе на однородных средах, значительно снижаются при перекачивании гетерогенных сред. Так, во многих отраслях промышленности, динамические насосы быстро выходят из строя, вследствие воздействия различных неблагоприятных факторов со стороны рабочих сред и особенностей технологического процесса. Особенно остро вопрос износа стоит в отраслях промышленности, где приходится перекачивать сыпучие материалы или рабочие среды сильно загрязнены. В этом случае подвижные рабочие органы нагнетателей быстро изнашиваются вследствие абразивного износа. Средняя наработка на отказ динами-

ческих насосов на горно-обогатительных комбинатах составляет порядка 700-2000 ч [1]. Кроме того, перекачивание гетерогенных сред приводит к значительному снижению показателей эффективности нагнетателей [2].

Износ и снижение эффективности работы нагнетателей с подвижными рабочими органами приводит к тому, что становится целесообразным использовать струйные аппараты во многих технологических процессах. Однако, струйные прямоточные нагнетатели, хотя и имеют сравнительно с другими струйными аппаратами, высокий КПД, достигающий 30 %, обладают значительными продольными размерами, что в некоторых технологических процессах усложняет их компоновку [3]. С другой стороны, использование свойств закрученных потоков, таких как снижение давления на оси, привело к созданию вихревых эжекторов, однако их энергетические показатели и КПД были снижены [4]. Таким образом, совершенствование энергетических характеристик струйных нагнетателей является актуальной проблемой, решением которой может быть использование более совершенных принципов передачи энергии и технических решений в конструировании струйных нагнетателей на основе вихревой камеры, которыми являются разработанные нами и исследованные в работе вихрекамерные нагнетатели [5], которые благодаря использованию центробежной силы, обладают лучшей, по сравнению с вихревыми эжекторами, энергетической эффективностью [6].

Анализ последних исследований. Первые публикации о струйных нагнетателях с вихревой камерой смешения опубликованы в [7], однако автором не было проведено каких-либо теоретических или экспериментальных исследований относительно энергетических характеристик. Кроме того, конструкция, предложенная в [7], имеет недостатки, связанные с наличием сброса среды в дренажный канал. Авторы работ [8, 9] обосновали эффективность применения вихрекамерных нагнетателей (ВКН) при перекачивании сыпучих сред и провели экспериментальные исследования, доказавшие их лучшие характеристики, по сравнению с другими струйными нагнетателями с вихревой камерой. Как показано в работе [10], в зависимости от соотношения геометрических параметров, в ВКН может быть реализовано два рабочих процесса: 1) с высокой напорностью, но сбросом среды в дренажный канал; 2) с высокой производительностью и всасыванием перекачиваемого потока через оба осевых канала в торцевых крышках вихревой камеры. Если первый рабочий процесс исследовался экспериментально в работах [8, 9] на однородных и гетерогенных средах, то второй обосновывался только теоретическими исследованиями. Экспериментальные исследования реализации вто-

рого рабочего процесса ВКН, т.е. с высокой производительностью и двухсторонним всасыванием представлены в данной работе.

Формулирование целей статьи (постановка задания). Целью работы является совершенствование путем экспериментальных исследований энергетических характеристик вихрекамерного нагнетателя в режиме двухстороннего всасывания.

Основная часть. Вихрекамерный нагнетатель с двухсторонним всасыванием перекачиваемой среды работает следующим образом (рис. 1): активный поток с объемным расходом Q_s и давлением p_s подается через тангенциальный канал входа в вихревую камеру смешения и выходит из нее через тангенциальный канал выхода. Рабочий поток, смешавшись с перекачиваемым потоком, поступающим через два осевых канала входа с объемными расходами Q_{in1} и Q_{in2} , с давлениями p_{in1} и p_{in2} , поступает в тангенциальный канал выхода с объемным расходом Q_e и давлением p_e . Весь основной поток выходит в выходной патрубок, передавая вращение ядру потока за счет сил турбулентного трения, подобно эжекторам. Этим объясняется разница в распределении параметров по радиусу вихревой камеры и различие в характеристиках вихрекамерных нагнетателей, описанных в работах [10, 11]. При наличии сходства с эжекторами в процессе передачи энергии ядру потока с помощью турбулентного обмена, различие заключается в использовании центробежной силы, что улучшает характеристики нагнетателя за счет снижения потерь при энергообмене между несущей и перекачиваемой средой.

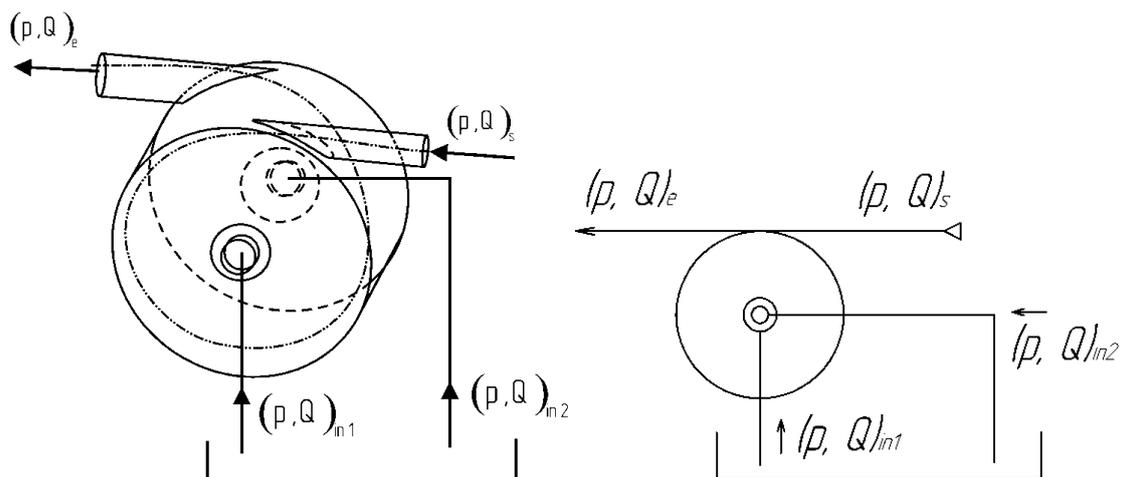


Рис.1. Исследуемый вихрекамерный нагнетатель

Для достижения поставленных целей была разработана специальная экспериментальная установка, схема и фотография которой

приведены на рис. 2, а также прозрачная модель ВКН с диаметром вихревой камеры 60 мм.

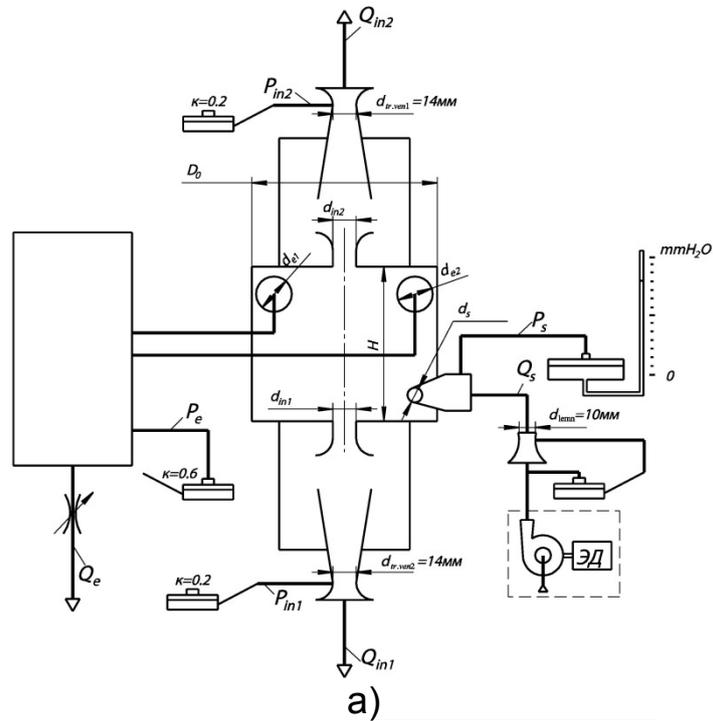


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:
а) схема; б) фотография ВКН; в) фотография установки

Экспериментальные исследования проводились на однородных рабочих средах, воздухе. Воздух от нагнетателя подводился через тангенциальный канал к ВКН через ресивер и расходомерное устройство. Давления и расходы определялись во всех каналах с помощью манометров и расходомеров согласно схеме, представленной на рис. 2. Давление измерялось пьезометрами, а перепад на расходомерах – микроманометрами типа ММН. С помощью общепринятых методик была проведена оценка погрешностей прямых и косвенных измерений. При этом оценены случайные, систематические погрешности, а также погрешности считывания.

При исследовании работы ВКН, объемные расходы рассчитывались по формулам:

$$Q_i = (\mu f)_{pi} \sqrt{\frac{2 \Delta p_{pi}}{\rho}};$$

где Q_i – объемные расходы $Q_s, Q_{in1}, Q_{in2}, Q_e$; $(\mu f)_{pi} - (\mu f)_{ps}, (\mu f)_{pin1}, (\mu f)_{pin2}, (\mu f)_{pe}$ – эффективная площадь расходомеров в каналах питания, двух осевых каналов входа и канале выхода соответственно; $\Delta p_{pi} - \Delta p_{ps}, \Delta p_{pin1}, \Delta p_{pin2}, \Delta p_{pe}$ – перепад давления на расходомерах; ρ – плотность воздуха перед расходомерами. Скорость потока была таковой, чтобы можно было не учитывать сжимаемость воздуха, следовательно $\rho = const$,

проверка баланса расходов осуществлялась на основе формулы:

$$Q_e = Q_s + Q_{in1} + Q_{in2};$$

расчет коэффициента полезного действия ВКН производился по соотношению, известному из [12]:

$$\eta = \frac{p_e - p_{in} + \frac{\rho}{2}(V_e^2 - V_{in}^2)}{p_s - p_e + \frac{\rho}{2}(V_s^2 - V_e^2)} \left(\frac{Q_e}{Q_s} \right),$$

где V_e, V_s, V_{in} – скорости газа в тангенциальных каналах выхода, питания и всасывания соответственно.

На рис. 3 показана характеристика вихрекамерного нагнетателя с двухсторонним всасыванием перекачиваемого потока, полученная путем регулирования дросселем, стоящем в выходном канале.

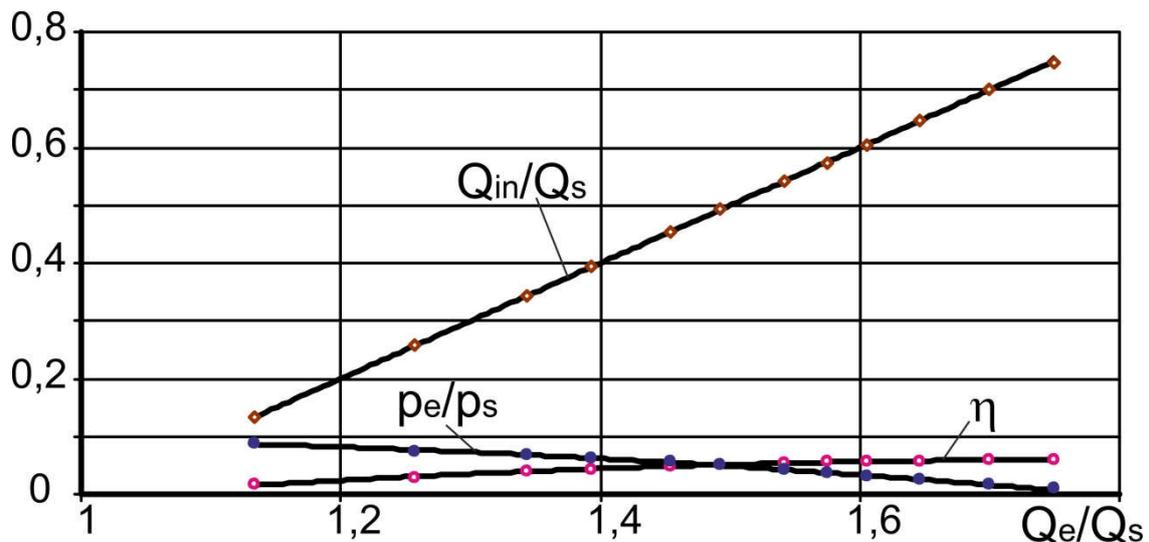


Рис. 3. Универсальная характеристика вихрекамерных нагнетателей со всасыванием перекачиваемого потока через оба осевых канала в торцевых крышках вихревой камеры (бездренажный вариант работы)

Характеристика представляет собой зависимости относительно давления на выходе из устройства, КПД и относительного расхода всасывания в устройство (так называемый коэффициент эжекции) от относительного объемного расхода на выходе из устройства. Все характеристики ВКН могут быть сведены к одной универсальной характеристике $p = f(Q)$, как и для нагнетателей других типов.

Как видно из рис.3, при работе устройства на несжимаемой рабочей среде имеется максимум коэффициента полезного действия в зоне $1,7 Q_e/Q_s$. При увеличении отношения давления выхода p_e ко входу p_s отношения расходов на выходе и всасывания в устройство к расходу активного потока падает. Здесь $Q_{in} = Q_{in1} + Q_{in2}$.

На рис.4 представлена зависимость относительного перепада давлений в ВКН для разных значений отношения расхода, всасываемого в устройство к расходу активного потока. Характер зависимости подобный характеристике прямооточных струйных аппаратов и вихревых эжекторов. На рис. 4 использованы обозначения: $\Delta p_e = p_e - p_{in}$, $\Delta p_s = p_s - p_{in}$.

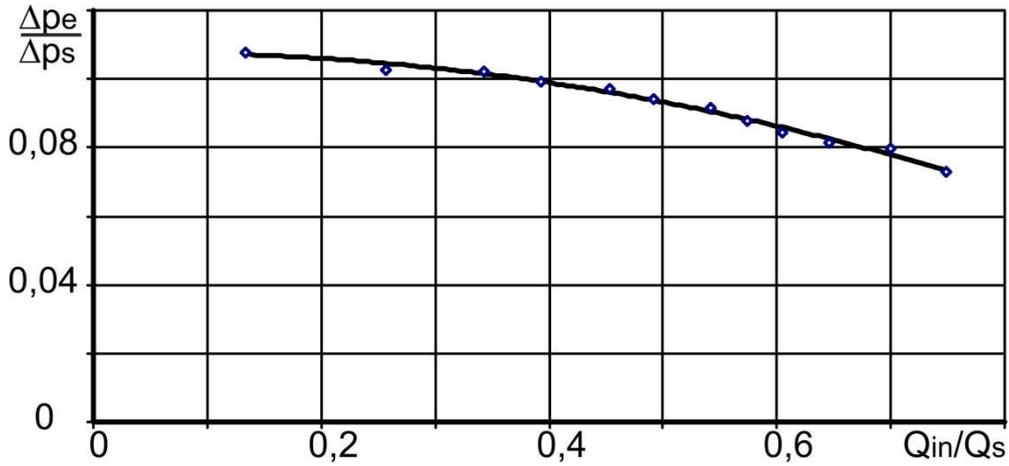


Рис. 4. Относительный перепад давлений в ВКН для разных значений коэффициента эжекции

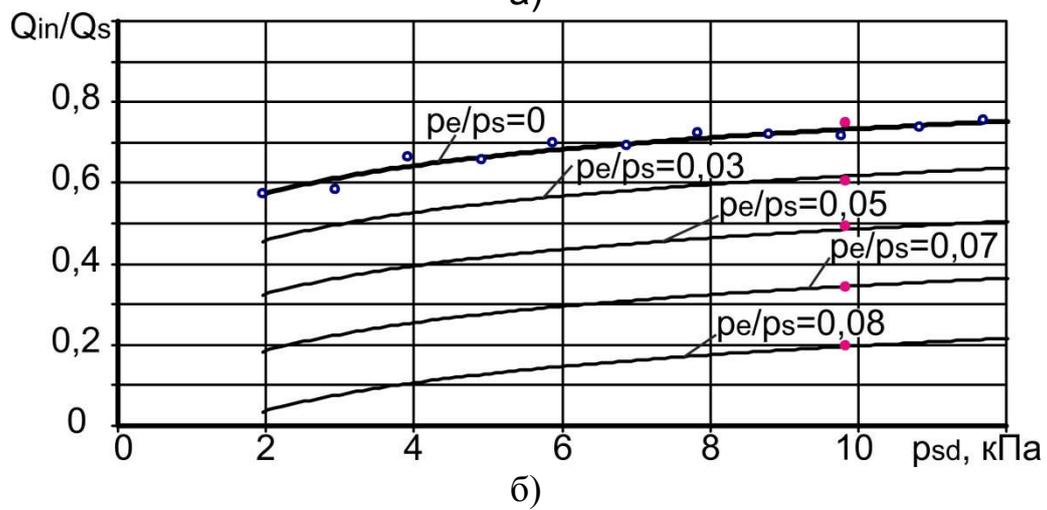
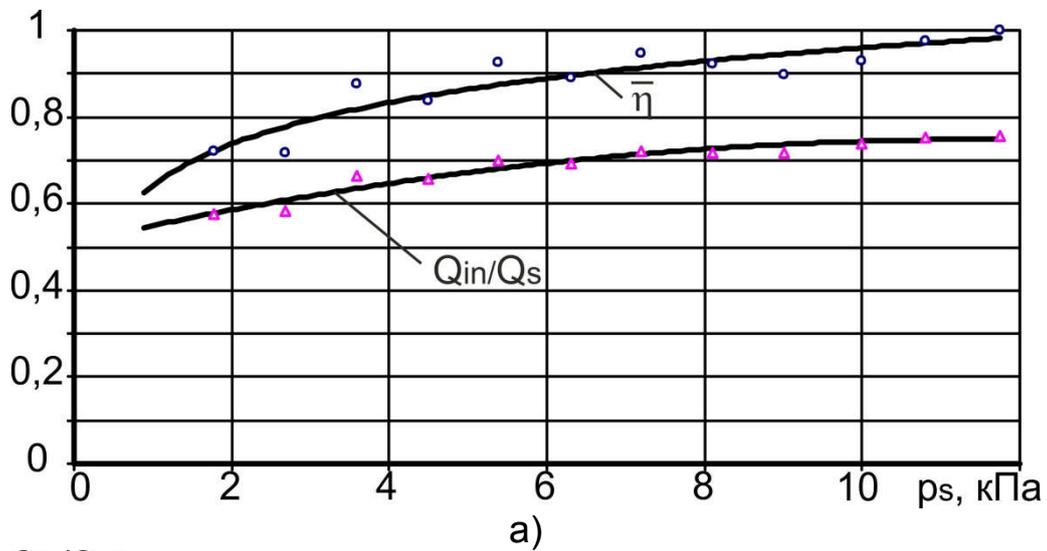


Рис. 5. Зависимость относительного КПД (а) и коэффициента эжекции от давления питания (б)

На рис.5а представлено изменение относительного КПД (отношен к КПД при максимальном давлении питания) и коэффициент эжекции (отношение всасываемой в нагнетатель жидкости через осевые каналы входа к расходу жидкости, поступающей через канал питания) от давления питания. КПД растет с ростом давления питания, т.е. с ростом энергии активного потока, подводимого к нагнетателю. Можно видеть, что отношение Q_{in}/Q_s данной конструкции нагнетателя стремится к 0,75.

Как видно из рис.5б с ростом сопротивления в выходном канале, что иллюстрируется соотношением p_e/p_s , уменьшается относительный расход перекачиваемой среды. При увеличении полного давления активного потока во входном канале, увеличивается коэффициент эжекции (относительный расход перекачиваемой среды).

Выводы. Проведены экспериментальные исследования рабочих характеристик вихрекамерных нагнетателей в режиме двухстороннего всасывания перекачиваемого потока:

1. характеристики вихрекамерного нагнетателя с двухсторонним всасыванием перекачиваемой среды (так называемый бездренажный режим работы) могут быть сведены к универсальной характеристике $Q = f(p)$;
2. при работе устройства на несжимаемой рабочей среде имеется максимум коэффициента полезного действия в зоне 1,7 Q_e/Q_s . При увеличении отношения давления выхода p_e к входу p_s отношения расходов на выходе и всасывания в устройство к расходу активного потока падает;
3. с ростом сопротивления в выходном канале, т.е. с ростом соотношения p_e/p_s , уменьшается относительный расход перекачиваемой среды. При увеличении полного давления активного потока во входном канале, увеличивается коэффициент эжекции.

Литература:

1. Ванеев С.М. Повышение энергоэффективности насосного оборудования горно-обогатительных комбинатов /Ванеев, С. М., Евтушенко, А. А., Сапожников, С. В., Соляник, В. А. // Вісник СумДУ. – 2008. – №2. – С. 126-134.
2. Євтушенко А.О. Гідродинамічні машини і передачі: Навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Євтушенко А.О. – Суми : Видавництво СумДУ, 2005. — 256с.
3. Соколов Е.Я. Струйные аппараты. / Соколов Е.Я., Зингер Н.М. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

4. *Вихревые аппараты* / [А.Д. Суслов, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин, Ю.В. Чижигов]. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.

5. *Сьомін Д.О.* Вплив закручення потоку, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів / *Д.О. Сьомін, А.С. Роговий, А.М. Левашов.* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 20 (1192) – С. 68-71.

6. *Rogovyi A.S.* Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers / *A.S. Rogovyi, Ye. Voronova* // Автомобильный транспорт. – 2016.– Вып. 38. С. 93–98.

7. *Jeffrey L. Beck.* Vortex injection method and apparatus. Патент США № 4449862, 1980.

8. *Роговий А.С.* Удосконалювання енергетичних характеристик струминних нагнітачів. Дис...канд. техн. наук: 05.05.17 / Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. — Луганськ, 2007. — 193 с.

9. *Сёмин Д.А.* Экспериментальные исследования характеристик струйно-вихревого насоса. / *Сёмин Д.А., Роговой А.С.* // Вісник СумДУ. – 2005. – 12(84). – С. 64-70.

10. *Syomin D.* Features of a working process and characteristics of irrotational centrifugal pumps. / *Syomin D., Rogovyi A.* // Procedia Engineering, Volume 39, 2012, Pages 231–237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.029>.

11. *Роговий А.С.* Особливості режимів роботи вихорокамерних нагнітачів / *А.С. Роговий* // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 75. – С. 120-128.

12. *Башта Т.М.* Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. / *Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б.* – М.: Машиностроение, 1982.– 423 с.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХОРОКАМЕРНИХ НАГНІТАЧІВ ІЗ ДВОСТОРОННІМ ВСМОКТУВАННЯМ

Сьомін Д.О., Левашов А.М., Левашов Я.М., Роговий А.С.

Анотація – наведені результати експериментальних досліджень робочих характеристик вихорокамерних нагнітачів із всмоктуванням середовища, що перекачується через обидва осьові канали у вихровій камері. В них відсутнє скидання середовища через дренажний канал. Характеристики нагнітача зведені до універсальної характеристики. Із зростанням опору в вихідному каналі, відносна витрата середовища, яке перекачується зменшується. При збільшенні повного тиску активного потоку у вхідному каналі, збільшується коефіцієнт ежекції.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF WORKING CHARACTERISTICS OF VORTEX CHAMBER SUPERCHARGERS WITH TWO-SIDED SUCKING

D. Syomin, A. Levashov, Ya. Levashov, A. Rogovyi

Summary

Results of experimental researches of working characteristics of vortex chamber superchargers with sucking a pumped over flow through both axial channels in the vortex chamber are resulted. In them there are no losses of mediums in drainage the channel, unlike vortex chamber superchargers with the drainage channel. Characteristics of a supercharger are shown to the universal characteristic. With resistance growth in the exit channel, the fluid flow rate of the pumped over flow decreases. At increase in a total pressure of an active flow in the entrance channel, the injector factor increases.