

РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621. 61-1/-9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУХОДУВНЫХ МАШИН

В.П. Тарасов

В статье обосновываются аналитический вид основной гидравлической характеристики ряда воздуходувных машин, используемых в нагнетательных системах пневматического транспорта. Полученное уравнение связывает производительность воздуходувной машины с развиваемым давлением и частотой движения основного рабочего органа. Для некоторых широко используемых воздуходувных машин в результате обработки имеющихся данных найдены численные значения коэффициентов уравнения.

Ключевые слова: воздуходувная машина, гидравлическая характеристика производительность, давление, частота вращения.

ВВЕДЕНИЕ

Воздуходувные машины широко применяются в различных технологических и транспортных процессах, в системах автоматического управления, во многих других сферах человеческой деятельности. От правильного выбора воздуходувной машины для решения той или иной конкретной задачи существенно зависит эффективность всего процесса. При этом, выбор воздуходувной машины осуществляют на основании ее гидравлической характеристики, которая предоставляется производителем чаще всего в графическом или в табличном виде.

Современные методики расчета многих технологических процессов, в частности систем пневматического транспорта, предполагают использование машинных (автоматизированных) методов с применением программных продуктов. Ранее, в [1], для расчета систем нагнетающих и разветвленных всасывающих пневмотранспортных установок сыпучих материалов предложена методика расчета, позволяющая находить основные параметры не только в установившихся, но и в переходные и неустановившиеся периоды работы. Разработаны программы расчета таких установок [2,3]. Одним из основных параметров, необходимых для реализации расчета по этой программе, является основная гидравлическая характеристика воздуходувной машины – зависимость ее производительности от создаваемого давления, кинематических и других параметров ее работы.

В настоящее время в системах пневматического транспорта в качестве источника гидравлической энергии наиболее

широкое применение нашли поршневые и винтовые компрессоры, двух- трех роторные шестеренчатые и лопастные воздуходувные машины, центробежные одно - и многоступенчатые воздуходувные машины, а также водокольцевые насосы. Одноступенчатые центробежные вентиляторы применяются в установках пневмотранспорта с небольшим гидравлическим сопротивлением (до 20 кПа) и значительными расходами воздуха (как правило, более 0,1 м³/с). Многоступенчатые центробежные машины экономически выгодно применять при высоких (более 150 кПа) давлениях и значительной производительности (более 0,1 м³/с). Поршневые и винтовые компрессоры используются при давлениях более 100 кПа и небольших расходах воздуха (до 2 м³/с). Лопастные и шестеренчатые воздуходувные машины целесообразно применять при сопротивлениях до 100 кПа и расходе воздуха до 2 м³/с. Некоторые воздуходувные машины преимущественно используются только в нагнетающих системах пневмотранспорта (поршневые компрессоры), другие, как правило, в установках, работающих под разрежением (водокольцевые насосы), третьи могут применяться, как в нагнетающих, так и во всасывающих системах. При этом, зависимость производительности от давления в рабочих диапазонах практически для всех воздуходувных машин – падающая (при увеличении давления производительность уменьшается). Однако, степень снижения производительности с увеличением давления у различных воздуходувных машин может существенно отличаться. У поршневых компрессоров влияние давления на производительность практически не прослеживается, -такая характеристика

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2017

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ВИДА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУХОДУВНЫХ МАШИН

называется «жесткой». У центробежных воздуходушных машин влияние создаваемого давления на величину их производительности очень существенно (их характеристики называются «пологими»). Водокольцевые насосы, шестеренчатые и лопастные воздуходушные машины занимают промежуточное положение.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В [1,4] предложено гидравлические характеристики некоторых воздуходушных машин описывать уравнением вида:

$$G = A_0 - A_1 P^c, \quad (1)$$

где G и P , соответственно массовый расход (производительность) и создаваемое воздуходушной машиной давление (разряжение), A_0 , A_1 , c – коэффициенты, характеризующие конкретную воздуходушную машину, величина которых зависит от ее принципа действия, типоразмера, кинематических параметров работы.

Позднее в [5] найдены численные значения коэффициентов A_0 , A_1 , c некоторых воздуходушных машин. Это позволило автоматизировать расчеты систем пневматического транспорта и выбирать оборудование и рациональные режимы его работы. Однако использование зависимости (1) при анализе и выборе рациональных режимов работы связано с определенными сложностями. В технических характеристиках производители, как правило, указывают их производительность при каком-то давлении (разряжении), P_n а не коэффициент A_0 (производительность воздуходушной машины при отсутствии какого-либо сопротивления). Кроме того, для многих воздуходушных машин допускается изменять частоту движения рабочего органа в достаточно широких пределах. При этом, вопреки некоторым мнениям (например, [6]) нельзя утверждать, что производительность всех воздуходушных машин пропорциональна частоте движения основного рабочего органа.

В [7] предпринята попытка обобщения воздуходушных машин по типам их характеристик. Все воздуходушные машины по типам их характеристик разделены на 4 вида и каждому из них характерна определенная величина «жесткости» гидравлической характеристики. Но диапазон изменения этого параметра даже в рамках одного вида значителен (может изменяться в 10 и более раз). Поэтому, использование при расчетах численного значения параметра «жесткости»

для конкретной воздуходушной машины, может привести к существенным неточностям. Ниже, для возможности и удобства машинного расчета систем пневмотранспорта, предпринимается попытка совершенствования гидравлических характеристик некоторых видов воздуходушных машин при различных частотах движения основного рабочего органа, а также определения численных значений коэффициентов отдельных, наиболее часто используемых в системах пневматического транспорта марок.

Анализ литературы, выражения (1), конструкций различных воздуходушных машин, и их гидравлических характеристик (графических и табличных), результатов ранее выполненных экспериментальных исследований позволяют заметить: 1) коэффициент A_0 (производительность при отсутствии какого либо внешнего гидравлического сопротивления) для многих воздуходушных машин в рабочих диапазонах пропорционален, а для некоторых, – прямо пропорционален, частоте движения рабочего органа V ; 2) для целого ряда видов воздуходушных машин давление (разряжение) создаваемое ими в нагнетающем, P_n и во всасывающем P^{bc} патрубках в разной степени влияют на производительность; 3) для некоторых видов воздуходушных величина коэффициента A_1 пропорциональна коэффициенту A_0 .

В дальнейшем анализируются лишь гидравлические характеристики воздуходушных машин, работающих на нагнетание (сопротивление во всасывающем патрубке остается неизменным) или машин, у которых производительность в одинаковой степени зависит от давления во всасывающем и нагнетающем патрубках. Значение коэффициента A_0 (производительность воздуходушной машины при отсутствии гидравлического сопротивления) можно выразить из выражения (1) через паспортные (номинальные) параметры:

$$A_0 = G_n + A_1 P_n^c, \quad (2)$$

где G_n и P_n – номинальные (указанные в паспорте) значения производительности и создаваемого воздуходушной машиной давления.

Тогда гидравлическую характеристику (1) можно представить в виде:

$$G = (G_n + A_1 (P_n^c - P^c)), \quad (3)$$

А если принять во внимание замечание 2, что для большинства воздуходушных машин

производительность пропорциональна частоте движения основного рабочего органа, V , то их основную характеристику можно записать в виде

$$G = (G_n + A_1 (P_n^c - P^c)) (V / V_n)^d, \quad (4)$$

где V_n - номинальная (паспортная) частота движения рабочего органа; d - коэффициент, зависящий от вида воздуходувной машины, а также от точности изготовления и сборки деталей и узлов основного рабочего органа.

Учитывая, что для конкретной воздуходувной машины $A_1 P_n^c = \text{const} = b$, уравнение (4) приводится к более удобному для пользования виду:

$$G = (G_n + b(1 - (P/P_n)^c)) (V / V_n)^d, \quad (5)$$

Анализ выражения (5) позволяет определить физическую сущность коэффициента b ; т.к. при $P = 0$ и $V = V_n$, $G = A_0$, то

$$b = A_0 - G_n, \quad (6)$$

Величина коэффициента b отражает изменение массового расхода (производительности) воздуходувной машины, работающей с номинальной частотой движения рабочего органа при изменении создаваемого давления от 0 до номинальной величины.

Если коэффициент b отнести к диапазону изменения давления в воздуходувной машине, то получим усредненный параметр жесткости основной характеристики, J_{cp} в этом диапазоне.

$$J_{cp} = b / P^{max}, \quad (7)$$

где соответственно P^{max} - предельное допускаемое значение давления, создаваемое воздуходувной машиной. Эта, средняя величина жесткости воздуходувной машины, характеризует изменение производительности воздуходувной машины при единичном изменении создаваемого давления. Для некоторых воздуходувных машин средняя величина жесткости мало отличается от параметра жесткости $J = dG/dP$, введенного ранее в [8] для оценки устойчивости систем пневмотранспорта. Для других же машин, у которых основные гидравлические характеристики не линейные (например, центробежные вентиляторы), различия могут быть существенными.

Для воздуходувных машин, у которых известно значение коэффициента A_0 выражение (5) можно представить в виде

$$G = (A_0 - (1 - G_n/A_0)(P/P_n)^c) (V / V_n)^d, \quad (8)$$

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Обработка графических зависимостей, паспортных данных, другой информации, предоставляемой производителями, позволили получить численные значения коэффициентов выражения (5) для некоторых, широко применяемых в России в системах пневматического транспорта воздуходувных машин.

Для воздуходувной машины 2ВД-12/2,5 при ее работе на нагнетание (в качестве компрессора) при номинальной частоте вращения роторов ($V = V_n = 74,2 \text{ с}^{-1}$) в пределах паспортных значений создаваемого давления $b = 0,026 \text{ кг/с}$; $c = 1$. За номинальную производительность принят массовый расход машины при избыточном давлении 150 кПа ($G_n = 0,248 \text{ кг/с}$).

Для винтового компрессора РЗ-БНВ при работе на нагнетание (в качестве компрессора) при номинальной частоте вращения роторов ($V = V_n = 66 \text{ с}^{-1}$) в пределах паспортных значений создаваемого давления $b = 0,062 \text{ кг/с}$; $c = 1$. За номинальную производительность принят массовый расход компрессора при давлении 150 кПа ($G_n = 0,366 \text{ кг/с}$).

Для двухроторных шестеренчатых воздуходувных машин типа ЗАФ при работе на нагнетание значения коэффициентов b , c , d в пределах изменения параметров в интервалах паспортных значений практически не зависят от типоразмера и соответственно равны $c = 0,9$; $d = 1,3$. Коэффициент b в соответствии с его физической сущностью, для каждого типоразмера имеет свое значение и, соответственно составляет для: ЗАФ49 - $b = 0,0132 \text{ кг/с}$; ЗАФ53 - $b = 0,038 \text{ кг/с}$; ЗАФ57 - $b = 0,084 \text{ кг/с}$; ЗАФ59 - $b = 0,15 \text{ кг/с}$. За номинальную производительность принят массовый расход при максимально допустимых паспортных значениях частоты вращения роторов и развиваемом при этом давлении. Погрешность по сравнению с паспортными данными не превышает 5%.

Для семейства шестеренчатых трехзубых компрессоров серии ДТ $c = 0,9$; $d = 1,3$ значения остальных необходимых для расчета параметров приведены в таблице. При этом, расчетные значения производительности (найденные по

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2017

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ВИДА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУХОДУВНЫХ МАШИН

выражению (5) с использованием полученных численных значений коэффициентов **b, c, d**) как правило, находятся в допустимых

пределах отклонений паспортных значений и не превышают 10% значений, полученных при заводских испытаниях.

Таблица 1 - Параметры основной характеристики компрессоров серии ДТ

Серия \ Параметр	ДТ-4	ДТ-4R	ДТ-6	ДТ-6.42	ДТ-10.42	ДТ-20.42	ДТ-30.42	ДТ-30.72	ДТ-40.72	ДТ-50.72	ДТ-50.102	ДТ-60.102	ДТ-65.102	ДТ-66.202	ДТ-70.302	ДТ-90.302	ДТ-90.552	ДТ-100.552	ДТ-100.802	ДТ-110.802
$G_n, *10^3$ кг/с	6,72	9,74	7,39	33,6	84,7	90,8	125	143	200	229	299	283	275	411	695	776	1095	1043	1581	2441
P_n , кПа	45	55	70	70	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	80
V_n , с ⁻¹	46,7	60,3	27,8	81,2	87,5	74,4	70,7	78,7	78,8	61,7	77,3	58	33,4	39,5	35,3	23,3	31,3	20,7	29,2	29,2
$b, *10^3$ кг/с	2,67	2,67	2,67	4,71	7,0	10,8	17,5	14,8	30,6	37	30,3	27,9	20	29,2	67,9	63,9	44,4	133	133	200

Следует учитывать, что в процессе эксплуатации, вследствие износа деталей и увеличения рабочих зазоров, значения коэффициентов могут изменяться. Кроме того, величины коэффициентов приведены в допускаемых производителем пределах изменения основных рабочих параметров воздуходушных машин и использование полученных значений коэффициентов за этими пределами может привести к появлению более значительных, чем указано погрешностей.

ВЫВОДЫ

Аналитический вид гидравлических характеристик воздуходушных машин позволяет автоматизировать процедуру подбора воздуходушной машины к конкретной сети, а также более точно прогнозировать параметры работы пневмотранспортной установки в различных режимах, в том числе, в переходных и неуставившихся. Кроме того, становится возможным легко подбирать рациональные частоты движения рабочих органов воздуходушных машин, а также устанавливать и предотвращать появление неустойчивости в работе системы – воздуходушная машина – сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В.П. Совершенствование работы нагнетающих пневмотранспортных установок

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2017

[Текст]: дисс. канд. техн. наук / - В.П. Тарасов. - Москва, 1986. - 259 с.

2. Свидетельство 2012616372 Российская

Федерация. Расчет пневмотранспортной установки [Текст]: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ / Мухопад К. А., Яковлев А. В., Кошелев К. Б., Тарасов В. П.; заявитель и правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). – № 2012614127; заявл. 23.05.2012; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12.07.2012– 1 с.

3. Свидетельство 2012661433 Российская Федерация. Расчет всасывающей многотрубной пневмотранспортной установки [Текст]: свидетельство об офиц. регистрации программы для ЭВМ / Мухопад К. А., Яковлев А. В., Кошелев К. Б., Тарасов В. П.; заявитель и правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). – № 2012619160; заявл. 25.10.2012; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 14.12.2012. – 1 с.

4. Математическое моделирование пневмотранспорта дисперсного материала [Текст]/ Ю.А. Алтухов, К.А. Мухопад, О.А. Никитина, В.П. Тарасов// Математическое образование на Алтае. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. - С.5-11.

5. Цуканов А.А. Аналитические характеристики воздуходушных машин [Электронный ресурс] / А.А. Цуканов, В.П. Тарасов // 8-ая Всероссийская научно-техническая

конференция «Наука и молодежь – 2011». Секция «Пищевая промышленность», подсекция «Машины и аппараты пищевых производств» - Прил. к научно-образовательному журналу «Горизонты образования». – 2011.-№11.

- Электрон. дан. - Режим доступа: http://edu.secna.ru/media/f/mapp_.pdf. – Загл. с экрана.

6. Коробов В.В. Пневмотранспорт щепы [Текст] / В.В. Коробов. - М.: Лесная промышленность, 1968. -256 с.

7. Тарасов В.П. Гидравлические характеристики воздушных машин [Текст] / В.П.

Тарасов //Современные проблемы техники и технологии пищевых производств. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С. 102 – 105.

Тарасов В. П. - к.т.н., профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, тел. 3852-29-07-43,
e-mail: mapp.tar@mail.ru.