

ISSN 1994-4691



Всеукраїнський

науково-технічний

журнал

**ПРОМИСЛОВА**  
**ІДРАВЛІКА І**  
**НЕВМАТИКА**

**3(33)**

**2011**

ISSN 1994-4691



9 771994 469005

## Редакційна колегія:

Головний редактор:

к.т.н., проф. Серета Л.П. (м. Вінниця)

Перший заступник  
головного редактора:

д.т.н., проф. Зайончковський Г.Й.,  
президент АС ПГП (НАУ, м. Київ)

Заступники головного редактора:

д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ)

д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ)

к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця)

к.т.н., с.н.с. Бадах В.М. (м. Київ)

Члени редакційної колегії:

д.т.н., проф. Анісімов В.Ф. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Гарькавий А.Д. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Лисогор В.М. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д.  
(м. Вінниця)

д.т.н., проф. Бочаров В.П. (м. Київ)

д.т.н., проф. Лур'є З.Я. (м. Харків)

д.т.н., проф. Нахайчук О.В. (м. Вінниця)

д.т.н., проф. Паламарчук І.П. (м. Вінниця)

д.е.н., проф. Калетнік Г.М. (м. Вінниця)

Секретаріат:

Відповідальний секретар:

к.т.н., доц. Переяславський О.М.  
(м. Вінниця)

Заступники відповідального секретаря:

д.т.н., проф. Луговський О.Ф. (м. Київ)

к.т.н., доц. Верба І.І. (м. Київ)

Асоційовані члени редакційної колегії  
від регіонів України:

д.т.н., проф. Кузнєцов Ю.М. (м. Київ)

д.т.н., проф. Павленко І.І.

(м. Кіровоград)

д.т.н., проф. Сахно Ю.О. (м. Чернігів)

д.т.н., проф. Усов А.В. (м. Одеса)

д.т.н., проф. Батлук В.А. (м. Львів)

д.т.н., проф. Михайлов О.М.

(м. Донецьк)

д.т.н., проф. Мельничук П.П.

(м. Житомир)

д.т.н., проф. Ковальов В.Д.

(м. Краматорськ)

д.т.н., проф. Фінкельштейн З.Л.

(м. Алчевськ)

д.т.н., проф. Проволоцький О.Є.

(м. Дніпропетровськ)

к.т.н., проф. Євтушенко А.О. (м. Суми)

д.т.н., проф. Осенін Ю.І. (м. Луганськ)

д.т.н., проф. Склярєвський О.М.

(м. Санкт-Петербург, Росія)

д.т.н., проф. Панченко А.І.

(м. Мелітополь)

к.т.н. Кармугин Б.В. (м. Київ)

д.т.н. Трофімов В.А. (м. Київ)

к.т.н., доц. Жук В.М. (м. Львів)

# ПРОМИСЛОВА ГІДРАВЛІКА І ПНЕВМАТИКА

Всеукраїнський науково-технічний журнал

№3(33)  
'2011

Журнал засновано у березні 2003 р.  
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 7033, видане  
Державним комітетом інформаційної політики,  
телебачення і радіомовлення України 7.03.2003р.

Засновники: Вінницький національний аграрний університет,  
Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики

Номер друкується згідно з рішенням Вченої ради ВНАУ (протокол № 6 від 27.01.2011 р.)

Журнал рішенням президії ВАК України від 30 червня 2004 р. № 3-05/7 включено до переліку  
наукових фахових видань (булетень ВАК України, № 8, 2004 р.)

## З М І С Т

### Загальні питання промислової гідравліки і пневматики

М.К. Сукач	
Техніка для очистки дна радіоактивно забруднених водоемів .....	3
Ю.В. Колеватов, В.И. Сабельников, Э.Н. Куликов, А.Н. Серьезнов	
Направления совершенствования приводов систем нагружения летательных аппаратов при испытаниях в лабораториях прочности .....	6
С.В. Стась	
Спеціальні струменеформуючі насадки на пожежні стволи .....	9
О.Г. Гусак, О.А. Демченко, І.П. Каплун	
Перспективи використання осевих насосів для артезіанського водопостачання .....	13
И.А. Емельянова, А.С. Непорожнев, С.А. Гузенко	
Результаты комплексных исследований процесса транспортирования крупнозернистых бетонных смесей при использовании малогабаритного оборудования ....	17
О.П. Ячук	
Удосконалення конструкції гідроструменевого обладнання .....	20

### Прикладна гідромеханіка, гідромашини і гідропневмоагрегати

В.Н. Турик, В.В. Бабенко, В.А. Воскобойник, А.В. Воскобойник	
Вихревое движение в полумасштабной канавке на пластине .....	23
А.А. Шестаков	
Определение потери полного давления жидкости с учетом ее сжимаемости при внезапном расширении трубопровода .....	28
Р.А. Макаренко	
Влияние формы торцевой поверхности на структуру потока в цилиндрической вихревой камере .....	32
А.Г. Виноградов	
Застосування програмного комплексу Flow Vision для дослідження властивостей водяних завіс .....	36
В.М. Гуцин, О.В. Гуцин, Р.И. Рыбалко	
Движение частиц сыпучего материала в пневмотранспортном трубопроводе при вращательном режиме перемещения азросмесей .....	41

Асоційовані зарубіжні члени редакційної колегії:

д.т.н., проф. Попов Д.М.  
(м. Москва, Росія)  
д.т.н., проф. Єрмаков С.О.  
(м. Москва, Росія)  
д.т.н., проф. Іванов Г.М.  
(м. Москва, Росія)  
д.т.н., проф. Нагорний В.С.  
(м. Санкт-Петербург, Росія)  
д.т.н., проф. Чегодасєв Д.Є.  
(м. Самара, Росія)  
к.т.н., с.н.с. Малишев Є.А.  
(м. Москва, Росія)  
к.т.н., доц. Ащеулов О.В.  
(м. Санкт-Петербург, Росія)  
к.т.н., с.н.с. Колеватов Ю.В.  
(м. Новосибірськ, Росія)  
д.т.н., проф. Метлюк Н.Ф.  
(м. Мінськ, Республіка Білорусь)  
к.т.н., проф. Немировський І.А. (Ізраїль)  
д.т.н., проф. Врублевський А. (Польща)  
д.т.н., проф. Христов Х. (Болгарія)  
д.т.н., проф. Неделчева П. (Болгарія)

Адреса редакції:

21008, м. Вінниця  
вул. Сонячна, 3,  
Вінницький національний аграрний  
університет  
тел.: (0432) 57-42-27, 43-72-30  
e-mail: journal-pgp@ukr.net



21021, м. Вінниця, 600-річчя, 15  
Свідоцтво про внесення до Державного  
реєстру ДК № 1077  
тел. (+38 0432) 699-149

E-mail: globustam@rambler.ru

Технічний редактор О.А. Мельниченко  
Комп'ютерна верстка О.В. Ступак  
Коректор Є.Н. Гонга

Здано до набору 11.01.2011.  
Підписано до друку 31.03.2011.  
Формат 60x84/16. Папір офсетний.  
Гарнітура JOURNAL. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 21. Зак. № 11-11.  
Наклад 100 прим.

# З М І С Т

Т.М. Вітенько, Н.М. Зварич, Т.В. Зарецька <b>Енергетичні аспекти застосування гідродинамічних кавітаційних пристроїв у технологічних процесах</b> .....	47
А.Б. Бурага, О.А. Баляснікова <b>Математичне моделювання структурованих течій полімерних матеріалів</b> .....	50
Р.М. Гнатів, М.Й. Микитин <b>Розв'язок задач неусталених рухів операційним методом на основі дискретної моделі</b> .....	53
В.О. Дудюк, О.Ф. Саленко <b>Аналіз розподілу потужності випромінювання оптичного квантового генератора (ОКГ) у потоці рідини малого діаметру</b> .....	58
В.А. Батлук, Р.Ю. Сукач <b>Апарати нового покоління для очистки повітря від пилу</b> .....	60
А.А. Евтушенко, С.О. Луговая, П.Л. Ольштынський, И.Б. Твердохлеб <b>Улучшение массогабаритных характеристик динамических насосов за счет усовершенствования статорных элементов</b> .....	64
С.М. Ванев, А.С. Бережной, С.К. Королев <b>Влияние некоторых режимных параметров на оптимальную окружную скорость рабочего колеса струйно-реактивной турбины</b> .....	68
А.Н. Гулый, А.А. Поклад <b>Разработка теории подобия высокооборотных лопастных насосов</b> .....	72
П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко <b>Метод розрахунку течії рідини у кільцевій щілині при обертанні валу</b> .....	75
В.В. Чернюк, <b>Розрахунок напірних розподільних трубопроводів, прокладених у потоці рідини</b> .....	80

## Системи приводів. Технологія і обладнання машинобудівного виробництва. Мехатроніка

А.Е. Ситников, Е.И. Барилюк, Г.И. Зайончковский <b>Оценка надежности электромагнитных клапанов с учетом причинных связей их отказов</b> .....	87
М.И. Жилевич, А.В. Королькевич, В.А. Королькевич, В.С. Шевченко <b>Централизованная гидросистема для мобильных машин</b> .....	90
В.Н. Тихенко, А.А. Волков <b>Исследование динамических характеристик гидроприводов подачи стола отделочно-расточных станков</b> .....	93
Н.П. Ремарчук, В.Н. Супонев, В.И. Олексин <b>Усовершенствование гидросистемы машины для прокола грунта</b> .....	97
Ю.О. Сахно, Є.Ю. Сахно, Г.І. Тур, Я.В. Шевченко <b>Моделювання процесу стабілізації радіального положення колінвала в модернізованій гідроопорі</b> .....	101
Ю.М. Кузнєцов, О.О. Степаненко <b>Настільний фрезерний верстат з чпк для навчального процесу у виз</b> .....	105
Л.К. Поліщук, Д.В. Кислиця, Д.В. Бурденюк, Я.Г. Гуровський <b>Привод транспортера для видалення стружки з токарного верстата</b> .....	108
З.Л. Финкельштейн, Р.Ю. Ткачев <b>О компенсации утечек в гидросистемах с подпиточным одноплунжерным насосом</b> .....	111

## Механізація сільськогосподарського виробництва

О.А. Марус, Г.А. Голуб <b>Дослідження параметрів пневматичного калібратора яєць зернової молі</b> .....	115
--	-----



С.М. Ванеєв, канд. техн. наук,  
А.С. Бережной  
Сумський державний університет,  
С.К. Королев  
ОАО «Сумське НПО ім. М.В. Фрунзе»

## ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОПТИМАЛЬНУЮ ОКРУЖНУЮ СКОРОСТЬ РАБОЧЕГО КОЛЕСА СТРУЙНО-РЕАКТИВНОЙ ТУРБИНЫ

Розглянуто вплив основних режимних параметрів на оптимальну окружну швидкість робочого колеса струйно-реактивної турбіни. Побудовано графічні залежності величини оптимальної окружної швидкості від повного тиску на вході в турбіну при змінних довжині плеча ротора, коефіцієнті втрати робочого тіла, коефіцієнті опору обертання ротора. Проаналізовано кількісний вплив кожного з цих параметрів.

In the article the influence of basic regime parameters on optimum circumferential velocity of reaction-jet turbine's driving wheel considered. Graphic dependences of optimum circumferential velocity size are built on total pressure in a turbine inlet at variables length of shoulder of rotor, coefficient of working medium loss, coefficient of a rotor rotation resistance. Quantitative influence is analyzed each of these parameters.

### Введение

Струйно-реактивные турбины (СРТ) применяются как в реверсивном, так и в нереверсивном исполнениях. На рис. 1 представлена схема струйно-реактивной турбины (СРТ) в реверсивном исполнении.

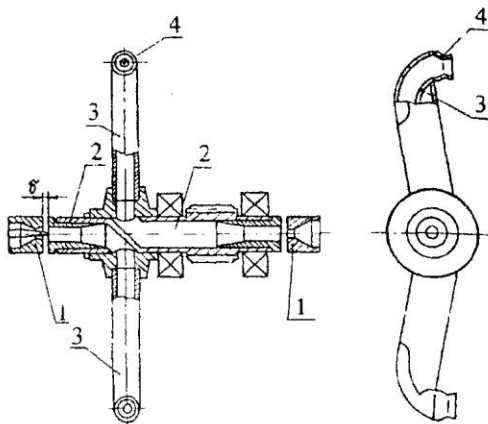


Рис. 1. Схема реверсивной струйно-реактивной турбины.

Конструктивно СРТ очень проста (см. рис. 1). Она содержит подводящее устройство (питающее сопло) 1 и ротор, состоящий из полого вала 2 и рабочего колеса, выполненного в виде двух или более радиальных трубок 3, консольно закрепленных (приваренных) на валу, на свободном конце которых имеются тангенциально направленные тяговые сопла (ТС) 4. Полости вала и трубок соединены и образуют непрерывный газовый тракт от торцевого входа в осевой канал (полость) вала до ТС.

Принцип действия СРТ заключается в преобразовании потенциальной энергии сжатого газа в кинетическую энергию сверхзвуковой струи, истекающей из тягового сопла. В результате образуется реактивная сила тяги на ТС и соответственно крутящий момент на валу турбины, а при вращении вала совершается механическая работа.

### Результаты исследований

В работах [1], [2] были рассмотрены структура потерь энергии, структура КПД и методика расчета характеристик струйно-реактивной турбины, в работе [3] получена зависимость для оптимальной (соответствующей максимуму изоэнтропного КПД) приведенной окружной скорости рабочего колеса  $\bar{U}$ .

$$(\bar{U})_{opt} = \frac{-(1-\alpha_{ym}) + \sqrt{(1-\alpha_{ym})^2 + \frac{3K_{c\sigma}(C_{cpm})_{n=0}(1-\alpha_{ym})}{L^3 G_n}}}{\frac{3K_{c\sigma} C_s}{L^3 G_n}} = \frac{L^3 G_n (1-\alpha_{ym}) \left[ \sqrt{1 + \frac{3K_{c\sigma}(C_{cpm})_{n=0}}{L^3 G_n (1-\alpha_{ym})}} - 1 \right]}{3K_{c\sigma} C_s} \quad (1)$$

где  $C_s$  — скорость при изоэнтропном расширении газа от параметров торможения на входе СРТ ( $P_n^*, T_n^*$ ) до давления окружающей среды ( $P_{окр.ср}$ );  $L$  — расстояние от центра среза тягового сопла до оси вращения;  $G_n$  — массовый расход газа через питающее сопло СРТ;  $\alpha_{ym}$  — коэффициент утечек в окружающую среду;  $K_{c\sigma}$  — комплексный коэффициент аэродинамического сопротивления вращающегося ротора;  $(C_{cpm})_{n=0}$  — скорость газа на сре-

зе ТС в пусковому режимі.

При виводі цієї формули значення  $K_{c,в}$  прийнято постійним.

Если прийняти  $\alpha_{ym} = 0$ , то рівняння (1) преобразується к виду

$$(\bar{U})_{opt} = \frac{L^3 G_n \sqrt{1 + \frac{3K_{c,в} (C_{cp,m})_{n=0}}{L^3 G_n} - 1}}{3K_{c,в} C_s} \quad (2)$$

Оптимальна окружна швидкість робочого колеса вираховується по формулі

$$U_{opt} = \bar{U}_{opt} C_s \quad (3)$$

В [3] отримана залежність  $U_{opt}$  від тиску заторможенного потоку на вході в турбину  $P_n^*$  при  $\alpha_{ym} = 0$  і постійних значеннях  $K_{c,в}$  і  $L$ .

Розглянемо вплив цих параметрів ( $\alpha_{ym}$ ,  $K_{c,в}$  і  $L$ ) на  $U_{opt}$ .

На рис. 2 показані залежності окружної швидкості  $U_{opt}$ , вирахованої по формулі (1) і відповідної максимальній значенню КПД, від тиску заторможенного потоку на вході в турбину  $P_n^*$  для повітря при температурі заторможенного потоку на вході в турбину  $T_n^* = 300$  К, діаметрі критичного сечення живлячого сопла  $d_{кр,n} = 4$  мм,  $L = 0,1$  м,  $K_{c,в} = 2 \cdot 10^{-7}$  кг · м<sup>2</sup> при варіюваній величині коефіцієнта утечек  $\alpha_{ym}$ .

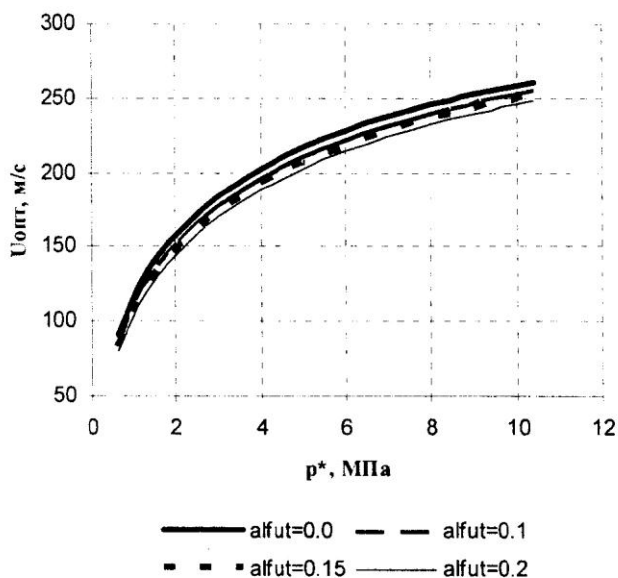


Рис. 2. Влияние коэффициента утечек на оптимальную окружную швидкість (L=0.1 м,  $k_{sw} = 2e-07$  кг · м<sup>2</sup>).

Влияние длины плеча ротора на оптимальную окружную швидкість робочого колеса СРТ при прочих равных параметрах показано на рис. 3.

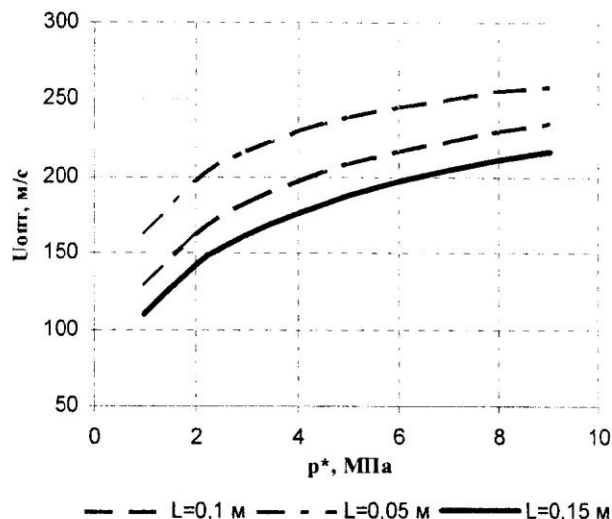


Рис. 3. Влияние плеча ротора на оптимальную окружную швидкість ( $\alpha_{fm} = 0.0$ ).

Более детально рассмотрим коэффициент аэродинамического сопротивления вращению ротора СРТ в окружающей среде  $K_{c,в}$ .

Для известных типов струйно-реактивных турбин коэффициент  $K_{c,в}$  изменяется в пределах  $K_{c,в} = (2-6,5) \cdot 10^{-7}$  кг · м<sup>2</sup> и зависит от конструктивного исполнения турбины (реверсивное или нереверсивное исполнение), размеров и формы радиальных трубок рабочего колеса и частоты вращения ротора.

Если не учитывать взаимное влияние плеч ротора СРТ, то момент аэродинамического сопротивления одного плеча ротора определяется выражением [4-6]

$$M'_{c,в} = c_x \rho_{окр.ср} \frac{d_{нар} H^4}{8} \omega_T^2 = K'_{c,в} \omega_T^2,$$

где  $c_x$  — коэффициент лобового сопротивления плеча ротора;  $\rho_{окр.ср}$  — плотность окружающей среды;  $H$  — длина плеча ротора;  $d_{нар}$  — наружный диаметр трубки плеча ротора.

Для двухплечевого ротора

$$M''_{c,в} = \frac{c_x \rho_{окр.ср} d_{нар} H^4}{4} \omega_T^2 = K''_{c,в} \omega_T^2 \quad (3)$$

В этом случае, как видно, коэффициент аэродинамического сопротивления определяется только геометрическими размерами плеч, их формой, плотностью окружающей среды и не зависит от скорости вращения ротора. Однако экспериментальные исследования показывают, что вследствие взаимного влияния плеч, когда они движутся в спутном потоке друг за другом, коэффициент  $K_{c,в}$  зависит от угловой скорости вращения ротора (рис. 4).

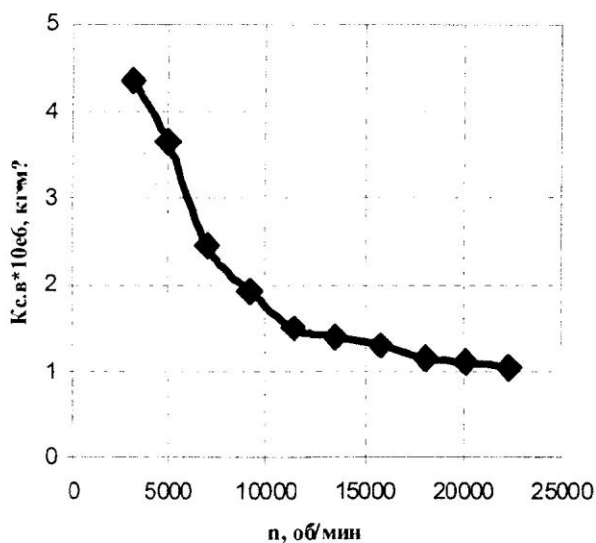


Рис. 4. Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления от частоты вращения ротора СРТ.

Величина  $K_{c.v}$  была определена в результате прокрутки ротора на экспериментальном стенде, позволяющем измерить момент аэродинамического сопротивления  $M_{c.v}$ . Она определялась по формуле

$$K_{c.v} = M_{c.v} / \omega^2.$$

Как видно, коэффициент аэродинамического сопротивления существенно зависит от скорости вращения ротора СРТ и принятие его постоянным в расчетах может привести к большим погрешностям. Например, для титанового ротора (рис. 1), подвергающегося прокрутке,  $K_{c.v}$ , подсчитанный по формуле (4), будет равен

$$K_{c.v}^n = \frac{c_x \rho_{окр.ср} d_{нар}^4 H^4}{4} = \frac{0,6 \cdot 1,205 \cdot 0,014 \cdot 0,107^4}{4} = 3,317 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

На рис. 5 представлены зависимости мощности, затрачиваемой на аэродинамическое сопротивление при вращении ротора, изображенного на рис. 1, от частоты вращения при прокрутке его от электродвигателя и для гладкого диска. Для исследуемого ротора  $N_{c.v}$  определялась по формуле

$$N_{c.v} = M_{c.v} \cdot \omega.$$

Результаты испытаний для гладкого диска взяты из работы [7], в которой  $N_{c.v}$  вычисляется по формуле

$$N_{c.v} = \beta_{c.v} \cdot \rho_{окр.ср} \cdot \left( \frac{\omega_T \cdot H}{100} \right)^3 (2H)^2 \left( 1 + 5 \frac{d_{нар}}{2H} \right), \text{ кВт},$$

где  $\beta_{c.v}$  — коэффициент мощности трения о диск [7];

$$\beta_{c.v} = \frac{60}{Re^{0,28}};$$

Re — число Рейнольдса, определяемое по формуле

$$Re = \frac{2H^2 \omega_T}{\nu} = \frac{2H^2 \omega_T \rho_{окр.ср.}}{\mu};$$

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости;  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости.

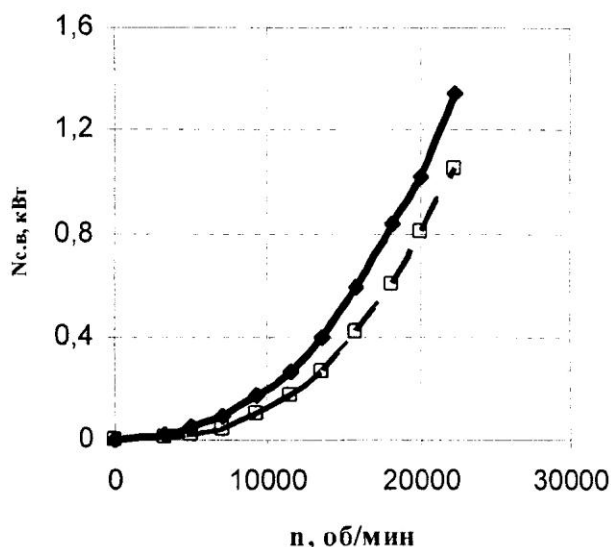


Рис. 5. Зависимость мощности аэродинамического сопротивления от частоты вращения ротора.

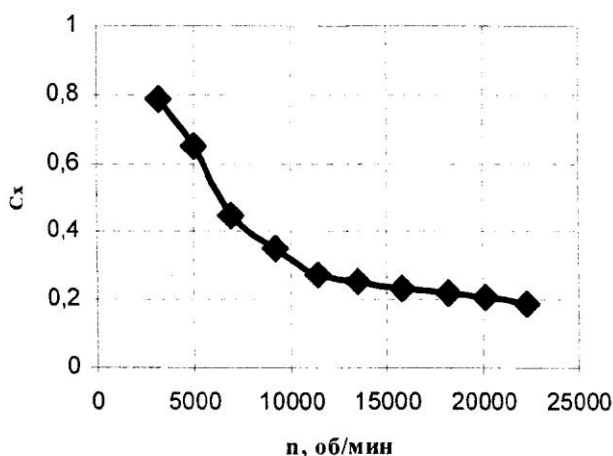


Рис. 6. Зависимость коэффициента лобового сопротивления от частоты вращения ротора СРТ.

Как видно из графика, потери энергии на аэродинамическое сопротивление для ротора СРТ существенно больше, чем для гладкого диска. Поэтому заключение ротора СРТ в корпус в виде гладкого полого диска может дать положительный эффект.

Представляется целесообразным, по аналогии с результатами испытаний гладких дисков и обтекания тел различной формы потоком воздуха, выделить безразмерный коэффициент, учитывающий потери на аэродинамическое сопротивление. По структуре формул и с учетом безразмерных комплексов, принятых в аэродинамике, таким коэффициентом для ротора СРТ является коэффициент лобового сопротивления  $C_x$ . Зависимость этого коэффициента от частоты вращения ротора показана на рис. 6.

Из рисунка видно влияние  $P_n^*$  и  $K_{c.в.}$  на величину  $U_{opt}$ : чем больше  $P_n^*$  и меньше  $K_{c.в.}$ , тем больше  $U_{opt}$ .

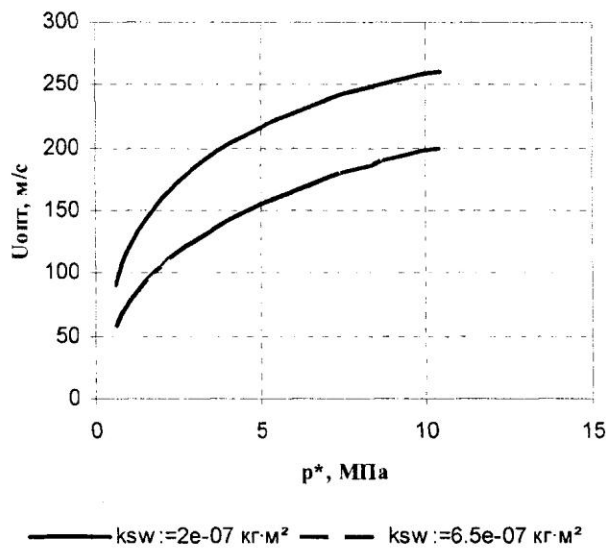


Рис. 7. Зависимости окружной скорости  $U_{opt}$  от  $P_n^*$  и  $K_{c.в.}$ .

### Выводы

Подводя итог, можно сказать, что на величину оптимальной окружной скорости рабочего колеса СРТ существенно влияет значение коэффициента сопротивления вращению  $K_{c.в.}$ , зависящего от геометрических параметров ротора и частоты вращения, и, в меньшей мере, значение коэффициента утечек  $\alpha_{ym}$ .

### Литература

1. Ванев, С.М. Структура потерь энергии и КПД струйно-реактивной газовой турбины // Вісник Сумського державного університету. Серія технічні науки. — Суми. — 2001. — № 9(30)—10(31). — С. 207—214.
2. Ванев, С.М. Расчет характеристик струйно-реактивной турбины // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение. — К. — 1999. — Вып. 36. — С. 263—269.
3. Ванев, С.М., Королев, С.К., Бережной, А.С. Расчет оптимальной окружной скорости рабочего колеса струйно-реактивной турбины // Вісник Сумського державного університету. Серія технічні науки. — 2009. — № 4. — С. 22—29.
4. Саяпин, В.В. Оптимизация параметров пневмопривода со струйным двигателем // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. — М.: Машиностроение. — 1984. — Вып. 10. — С. 58—63.
5. Саяпин, В.В., Марочкина, И.А. Оптимизация параметров струйного двигателя по критерию минимума расхода газа // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления. — М.: Машиностроение, 1987. — Вып. 13. — С. 96—102.
6. Исследование и экспериментальные работы по отработке и оптимизации пневматических приводов со струйно-реактивным двигателем для шаровых кранов: Отчет о НИР (ВНИИкомпрессормаш) / Рук. темы С.К.Королев. — N ГР0870042515, инв. N 02870088015. — Суми, 1987. — 180 с.
7. Наталевич, А.С. Воздушные микротурбины. — М.: Машиностроение, 1970. — 264 с.

Надійшла 28.09.2010 р.