

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ В МЕЖАХ НАПРЯМНОГО АПАРАТА ВІДЦЕНТРОВО-ДОЦЕНТРОВОГО СТУПЕНЯ**

*І.О. Ковальов, професор;  
Д.В. Казнієнко, аспірант,  
Сумський державний університет, м. Суми;*

*У роботі викладено особливості проведення чисельного експерименту з визначення параметрів потоку у межах напрямного апарата комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня. Описано процес проектування та дослідження кількох варіантів зворотних лопатей. Проведено поступовий аналіз енергетичних характеристик потоку та визначено оптимальний варіант геометрії зворотних лопатей, що задовольняє умову відсутності додатної колової складової абсолютної швидкості потоку на виході з напрямного апарата.*

**Ключові слова:** *чисельний експеримент, енергетичні параметри, напрямний апарат, доцентрова ґратка, комбінований процес енергопередачі, циркуляція швидкості, теоретичний напір, зворотні лопаті, відцентрово-доцентровий ступінь.*

*В работе изложены особенности проведения численного эксперимента по определению параметров потока в направляющем аппарате комбинированной центробежно-центростремительной ступени. Описан процесс проектирования и исследования нескольких вариантов обратных лопаток. Проведен последовательный анализ энергетических характеристик потока и определен оптимальный вариант геометрии обратных лопаток, который удовлетворяет условию отсутствия окружной составляющей абсолютной скорости потока на выходе с направляющего аппарата.*

**Ключевые слова:** *численный эксперимент, энергетические параметры, направляющий аппарат, центростремительная решетка, комбинированный процесс энергопередачи, циркуляция скорости, теоретический напор, обратные лопатки, центробежно-центростремительная ступень.*

### **ВСТУП**

У цій науковій статті розглянуто постановку, проведення та аналіз результатів чисельного експерименту з визначення енергетичних параметрів потоку в межах напрямного апарата комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня.

### **МЕТА РОБОТИ**

Визначення енергетичних характеристик потоку та картини течії у межах напрямного апарата комбінованого ступеня фізично дослідженого зразка за допомогою проведення чисельного експерименту. Дослідження кількох варіантів зворотних лопатей напрямного апарата та визначення оптимального, з точки зору параметрів, потоку.

### **Визначення параметрів потоку в межах напрямного апарата відцентрово-доцентрового ступеня. Доведення. Ілюстрації**

Розроблення та експериментальні дослідження комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня описано у працях [1] та [2].

Аналіз результатів проведених випробувань показав, що досягнути підвищення напірності ступеня насоса типу ЦНС шляхом організації комбінованого процесу енергопередачі, а саме відцентрово-доцентрового, на даному етапі дослідження цієї проблеми не вдалося. Навпаки,

експериментальним шляхом виявлене деяке зниження напору та суттєве підвищення споживаної потужності.

Ці явища вказують на те, що існують суттєві відмінності між теоретично спроектованими та реально існуючими параметрами потоку в проточній частині комбінованого ступеня.

Нагадаємо, що теоретичний напір насосного ступеня залежить фактично від різниці циркуляцій швидкості потоку на виході та вході в цю ратку:

$$H_T = \frac{\omega}{2\pi g} (\Gamma_2 - \Gamma_1). \quad (1)$$

Відсутність циркуляції швидкості на вході ( $\Gamma_1=0$ ) – найперша з умов створення максимального теоретичного напору. Це передбачає, що потік на лопаті насосного ступеня, в нашому випадку – доцентрового, входить радіально (з нульовою закруткою).

Ураховуючи особливості форми та реальні габарити проточної частини комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня, спроектованого на попередньому етапі дослідження, виникають деякі сумніви щодо реального забезпечення вищевказаної умови.

З метою визначення реальних параметрів току в напрямному апараті комбінованого ступеня прийнято рішення провести розрахунок за допомогою чисельного моделювання в універсальній версії програмного продукту ANSYS CFX.

При розрахунку густина рідини була прийнята за сталу величину. Моделювання турбулентних течій здійснювалося за допомогою рівнянь Рейнольда, для замикання яких використовується модель турбулентності k- $\epsilon$ .

Проведення чисельного експерименту у рамках цього дослідження складалося з кількох етапів: підготовки просторової геометричної моделі, побудови розрахункової сітки та введення вихідних даних для розрахунку і власне розрахунку.

Розрахункова сітка (рис.1) була створена у програмному продукті ANSYS Workbench і налічувала 1 289 тис. комірок. Для належного опису прилежових шарів поблизу твердих стінок було створено 10 шарів призматичних комірок.

Елементом напрямного апарата комбінованого ступеня, який впливає на остаточне формування потоку, є вінець зворотних лопатей. Дослідження саме цієї частини напрямного апарата передбачене у запланованому експерименті. Розрахунок параметрів потоку проводиться у два етапи. На першому етапі розрахунку на вході в напрямний апарат задається масова витрата відцентрового ступеня комбінованого робочого колеса. На другому етапі на вході в напрямний апарат задаються компоненти швидкостей відцентрового ступеня, а результати першого етапу використовуються як початкові наближення остаточного результату розрахунку.

У ході експерименту було досліджено кілька варіантів виконання геометрії зворотних лопатей напрямного апарата.

Варіант №1 спроектовано на етапі аналітичного проектування проточної частини комбінованого ступеня. Геометрію зворотних лопатей та картину течії потоку варіанта №1 зображено на рис.2 та рис.3 відповідно.

Візуальний аналіз картини течії варіанта №1 дозволяє зробити висновок, що на виході з напрямного апарата потік має додатну компоненту швидкості  $V_{U1}$ , що призводить до виникнення на вході в доцентровий ступінь додатної закрутки (циркуляції  $\Gamma_1$ ) потоку. Це, у свою чергу, призводить до зменшення теоретичного напору доцентрового ступеня у конструкції комбінованого робочого колеса.

З метою зменшення параметра  $V_{U1}$  спроектовано варіант №2 на базі попереднього. Геометрію зворотних лопатей та картину течії потоку варіанта №2 зображено на рис.4 та рис.5 відповідно.

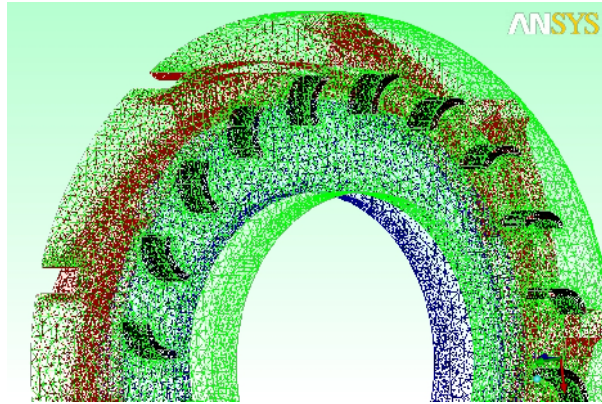


Рисунок 1 – Розрахункова сітка досліджуваного об'єму

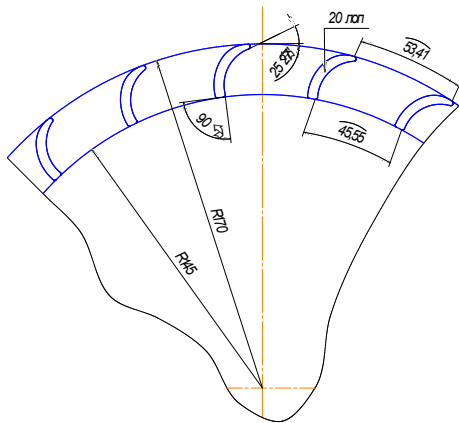


Рисунок 2 – Геометрія зворотних лопатей (варіант №1)

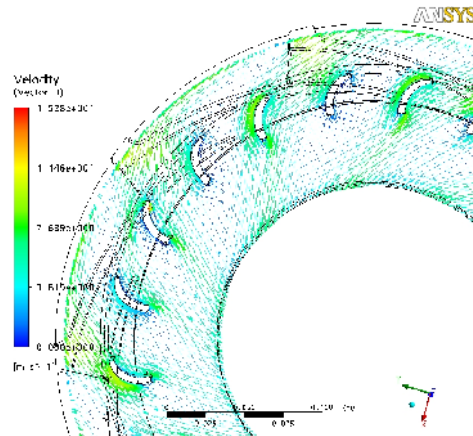


Рисунок 3 – Картина течії потоку (варіант №1)

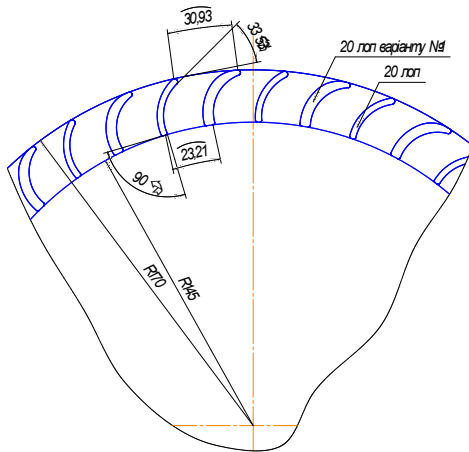


Рисунок 4 – Геометрія зворотних лопатей (варіант №2)

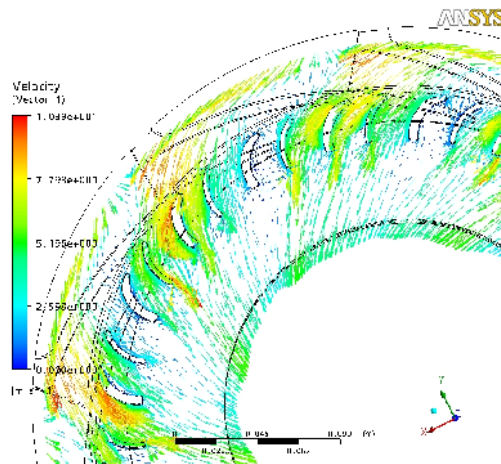


Рисунок 5 – Картина течії потоку (варіант №2)

Розрахунок параметрів варіанта № 2 виявив деяке зменшення значення  $V_{U1}$  та незначне підвищення втрат повного тиску у системі зворотних лопатей. Як бачимо з аналізу картини течії, за такої геометрії існує деяка нерівномірність потоку на вході в лопатеву ґратку, а також виникають зони вихроутворення, що в цілому негативно впливає на енергетичні параметри потоку.

З метою виключення вищевказаних негативних явищ, а також подальшого зниження параметра  $V_{U1}$ , було спроектовано варіант №3 проточної частини напрямного апарата. Геометрію зворотних лопатей та картину течії потоку варіанта №3 зображено на рис.6 та рис.7 відповідно.

Розрахунок параметрів цього варіанта показав суттєве зниження параметра  $V_{U1}$  у порівнянні з варіантом №2. При цьому спостерігаються досить добра рівномірність потоку та зникнення зон вихроутворення.

Подальшою метою дослідження було повне виключення додатного параметра  $V_{U1}$  та забезпечення прийнятної рівномірності потоку на зворотних лопатях напрямного апарата.

З цією метою було створено варіант №4 та варіант №5, геометрії зворотних лопатей, та картини течії яких зображено на рис.8, рис.9, рис.10 та рис.11 відповідно.

Значення основних енергетичних параметрів, необхідних для порівняння варіантів №1 - №5, зведено до табл. 1.

*Таблиця 1 – Енергетичні параметри потоку на зворотних лопатях напрямного апарата*

		$t$ , мм	, град	$V$ , м/с	$V_U$ , м/с	$V_m$ , м/с	$H$ , м
Вар. №1	вхід	53,4	25°27'	6,1	5,0	2,1	-0,38
	вихід	45,6	90°	4,7	2,2	2,5	
Вар. №2	вхід	30,9	33°53'	6,0	5,0	2,1	-0,53
	вихід	23,2	90°	4,6	1,5	2,5	
Вар. №3	вхід	21,4	48°49'	5,0	3,9	2,1	-0,5
	вихід	18,2	96°39'	3,6	0,3	2,5	
Вар. №4	вхід	21,4	50°26'	6,0	5,0	2,1	-0,9
	вихід	18,2	102°8'	4,5	0,25	2,5	
Вар. №5	вхід	21,4	55°36'	5,6	4,4	2,1	-0,9
	вихід	18,2	102°55'	4,0	-0,3	2,5	

*У табл. 1*

$t$  – крок лопатевої ґратки по колу;

– кут установки лопатей;

$V$  – абсолютна швидкість потоку;

$V_U$  – осереднене значення колової складової абсолютної швидкості потоку;

$V_m$  – осереднене значення витратної складової абсолютної швидкості потоку;

$H$  – втрати напору на зворотних лопатях напрямного апарата.

Аналіз проведених розрахунків дає змогу визначити найбільш прийнятний із розглянутих варіант геометрії зворотних лопатей напрямного апарата комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня. Це варіант №5, який задовольняє умову виключення додатного значення циркуляції  $\Gamma_1$  на вході у доцентрову лопатеву ґратку ( $V_U = -0,3$  м/с) та забезпечує прийнятну рівномірність потоку в межах зворотних лопатей напрямного апарата. Всі наведені розрахунки проведено при номінальній витраті серійного проміжного ступеня насоса ЦНС – 180 м<sup>3</sup>/год.

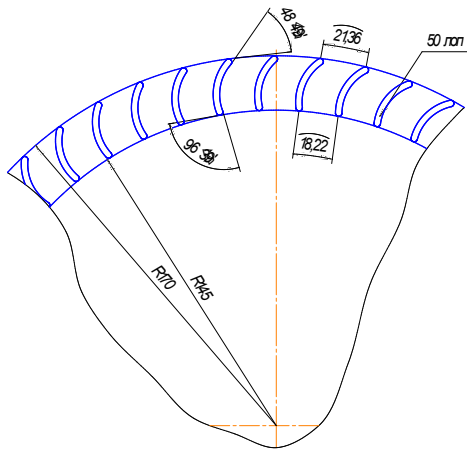


Рисунок 6 – Геометрія зворотних лопатей (варіант №3)

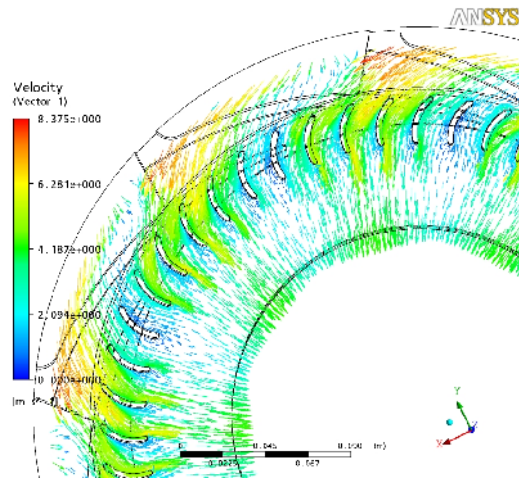


Рисунок 7 – Картина течії потоку (варіант №3)

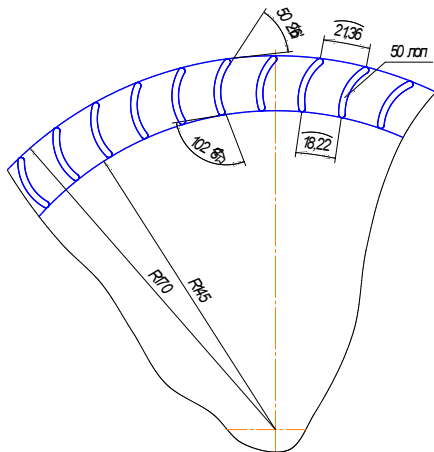


Рисунок 8 – Геометрія зворотних лопатей (варіант №4)

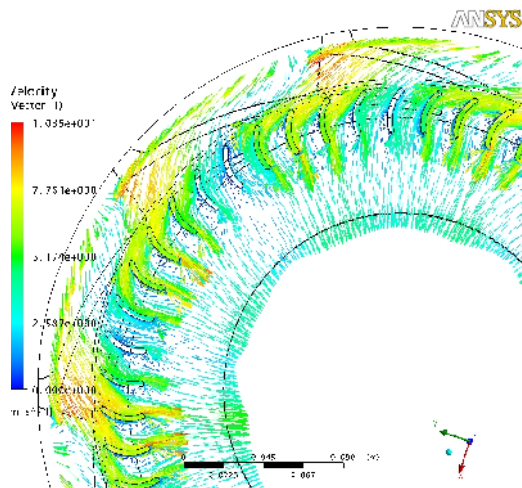


Рисунок 9 – Картина течії потоку (варіант №4)

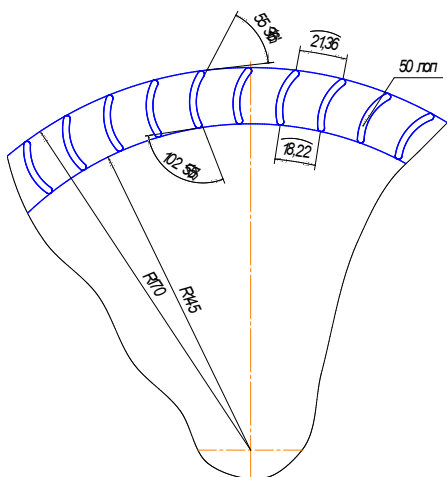


Рисунок 10 – Геометрія зворотних лопатей (варіант №5)

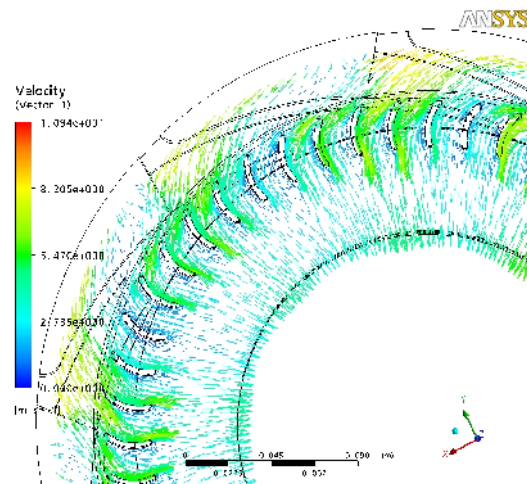


Рисунок 11 – Картина течії потоку (варіант №5)

## ВИСНОВОК

За допомогою чисельного експерименту досліджено декілька варіантів зворотних лопатей напрямного апарата комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня. Визначено характер впливу зміни геометрії протічної частини напрямного апарата на енергетичні показники потоку. Спроектовано та досліджено варіант геометрії зворотних лопатей, при застосуванні якого виконується умова відсутності додатної складової  $V_{U1}$  швидкості потоку на вході у доцентрову ґратку комбінованого ступеня.

## SUMMARY

### DETERMINATION OF PARAMETERS OF STREAM IN SENDING VEHICLE OF THE CENTRIFUGAL-CENTRIPETAL STAGE

*I.O. Kovalyov, D.V. Kozniyenko,  
Sumy State University, Sumy*

*The article deals with the peculiarities of the numerical experiment to determine the parameters of the flow directing device of the combined centrifugal and centripetal stage. The process of designing and study of several options for reverse shoulder blades is studied. A serial analysis of energy flow characteristics is carried out and the optimal variant of inverse geometry blades, which satisfies the condition of zero circumferential component of absolute flow velocity at the outlet from the guide vane is determined.*

**Key words:** *numerical simulation, the energy parameters, guiding device, the centripetal grid, combined process of energy transfer, the circulation speed, the theoretical head, back blade, centrifugal-centripetal stage.*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальов І.О. Визначення основних співвідношень для створення комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня динамічного насосу лопатевого типу / І.О. Ковальов, Д.В. Казнієнко // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. -2007. - №3. – С. 18-23.
2. Ковальов І.О. Проектування, виготовлення та експериментальні дослідження комбінованого відцентрово-доцентрового ступеня / І.О. Ковальов, Д.В. Казнієнко // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. -2009. - №4. – С. 45-49.
3. Ильясов А.Е. Аэродинамические характеристики центростремительного вентилятора с быстроходностью  $n_s=130$  / А.Е. Ильясов, Б.К. Муслин, В.Т. Сулича // Республ. межведомств. научно-техн. сб. “Гидравлические машины” - Харьков: Вища школа, 1978. - Вып. 12. - С. 89-92.
4. Ильясов А.Е. Влияние геометрии входных элементов на характеристики центростремительного вентилятора / А.Е. Ильясов, Н.П. Никитина // Моделирование гидроаэродинамических процессов в транспортных машинах и технологическом оборудовании. - Ворошиловград, 1984. - С. 47-61.
5. Овсянников Б.В. Теория и расчет насосов жидкостных ракетных двигателей. - Москва: Оборонгиз, 1960. - С. 47.

*Надійшла до редакції 7 квітня 2011 р.*