

6. Bansal, A.K., Mitra, A., Arora, R.P., Gupta, T. and Singhvi, B.S.M., 2007. Biological treatment of domestic wastewater for aquaculture, *J. Agri. Bio. Sci.*, 2, 6-12.
7. Duncan, M. 2003. *Domestic wastewater treatment in developing countries*, UK, Cromwell Press.
8. Khambete, A.K., Christian R.A., 2014. Ranking Sewage Treatment Plants with the Application of Fuzzy Composite Programming. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3 (2), 116-120.
9. Lloyd, B.I., Leaner, A.R., Vorkas, C.A. and Gugnesharajah, R.K., 2003. Underperformance evaluation and rehabilitation strategy for waste stabilization ponds in Mexico, *Water Science and Technology* 48 (2), 35-43.
10. Mohammed A. I., Hayder T.H., 2013. Stabilization pond for wastewater treatment. *European Scientific Journal*, 9 (14), 278
11. Nweze, N.O. and Chumboh, G.F., 2006. Physical and chemical characteristics, algal flora and coliform content of the University of Nigeria, Nsukka sewage treatment plant oxidation pond, *Nigerian Journal of Botany*, 19 (1), 103-116.
12. Prachi N.W., Sameer, U.S., 2014. Performance Evaluation of 25MLD Sewage Treatment Plant (STP) at Kalyan, *American Journal of Engineering Research* 3 (3), 310-316.

Manuscript of entered release 27.03.15

УДК 62-97: 620.9: 621.1

В.В. СУРТАЄВ, канд. техн. наук, доц., В.С. ОСИПЧУК, студент
Криворізький національний університет

РОЗВИТОК ГАЛУЗІ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

В результаті огляду і аналізу встановлено, що перспективною альтернативою традиційним джерелам енергії являється геотермальна енергетика. Геотермальна енергія дозволяє отримувати необхідну людству енергію завдяки теплоті надр Землі. Чим більше віддалений від центра Землі певний внутрішній шар, тим нижче його температура. Але навіть самий верхній шар Землі (біля 10-ти кілометрів) містить кількість теплоти, якої достатньо для забезпечення всіх енергетичних потреб людини. Через розлами в корі теплота проникає на поверхню планети. Потенціал геотермальної енергії величезний і невичерпний. Залишається лише навчитися використовувати те, що так великодушно дарує природа. Потенціал надр Землі дозволяє покрити усі потреби людини в енергії. Розглянуті теоретичні і практичні питання введення геотермальних станцій. Розглянуті схеми, устаткування і технології геотермальної енергетики в Україні і інших країнах.

Доступність і мінімум витрат на відбір пари й гарячої води з поверхні Землі давно цікавлять дослідників. Однак, у більшості країн теплота Землі прихована глибоко в її надрах. Розробку глибинних джерел теплоти почали порівняно недавно й практично одночасно в таких країнах як США, Японія, Ісландія, Китай, Філіппіни, Англія, Франція, ФРН. Найбільше досягнень у даному напрямку мають США та Франція. Промислове освоєння геотермальних ресурсів у світі почалося після створення й пуску в Італії в 1916 р. геотермальної електростанції потужністю 7,5 МВт із трьома турбінами фірми «Франко Тозі» потужністю по 2,5 МВт кожна. Однак широке промислове будівництво геотермальних електростанцій було розгорнуто тільки в 60-х рр. у США, Новій Зеландії, Японії, Ісландії й ін. країн.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. . Джерела геотермальної енергії можуть розрізнятися залежно від способу виділення енергії (у вигляді сухої або вологої пари, підземних вод, сухих порід або магми). Використання даного виду енергії пов'язане з виконанням ряду вимог. Зокрема, наприклад, необхідно враховувати рівень твердості або мінералізації підземних вод. Теплота Землі може бути використана як джерело отримання електроенергії або використовуватись безпосередньо для опалення приміщень. Задача геотермальних станцій полягає у перетворенні геотермальної енергії в електричну. Успішна робота геотермальних станцій можлива при високих температурах підземних вод, а це означає, що встановлювати такі споруди можливо тільки в певних сейсмоактивних зонах. Найбільшою кількістю геотермальних станцій на сьогоднішній день володіють такі держави, як США, Італія, Ісландія, Японія, Кенія (лідер галузі на Африканському континенті). Існують кілька видів геотермальних станцій: станції що працюють на сухому парі (перетворення здійснюється за допомогою турбіни), станції із сепаратором і станції, робота яких заснована на застосуванні бінарного циклу (взаємодія гарячої й більш прохолодної води). Останній тип є найбільш розповсюдженим в світі, що пояснюється здатністю таких установок використовувати не занадто гарячі води (нижче 190 °С). Остання обставина дозволяє користуватися теплотою Землі набагато більшої кількості країн [1].

До недоліків геотермальної енергії слід віднести обмеженість можливостей отримувати значні обсяги енергії Землі країнами світу, що розташовані у не вулканічних районах планети.

Крім того, при використанні геотермальної енергії необхідно подбати про захист навколишнього середовища, що може постраждати внаслідок викидів відпрацьованої води [4].

Аналіз досліджень і публікацій. За прогнозами експертів, у наступні кілька десятирічків років в світі буде спостерігатись позитивна тенденція зростання масштабу використання геотермальної енергії, що однак буде супроводжуватись зниженням обсягів виробництва енергії альтернативними джерелами взагалі й деякими конкретними видами зокрема. Таким чином, геотермальні ресурси зможуть збільшити свою частку у світовому балансі виробництва енергії, але їх первісне відставання від інших джерел альтернативної енергії не дозволить залишити останнє місце в даному особливому рейтингу (принаймні, дослідники передбачають такий розподіл до 2030 року) [1-3].

Викладення матеріалу та результати досліджень. Доступність і мінімум витрат на відбір пари й гарячої води з поверхні Землі давно цікавлять дослідників. Однак, у більшості країн теплота Землі прихована глибоко в її надрах. Розробку глибинних джерел теплоти почали порівняно недавно й практично одночасно в таких країнах як США, Японія, Ісландія, Китай, Філіппіни, Англія, Франція, ФРН. Найбільше досягнень у даному напрямку мають США та Франція. У Парижі, наприклад, працює дев'ять геотермальних джерел. За допомогою свердловин видобувається гаряча вода, що надходить на опалення будинків. До недоліків даної технології варто віднести те, що воду, яка віддала теплоту, не можна зливати на поверхню Землі або скидати в річки, тому що вона містить велику кількість солей і різних домішок [1, 4].

У АТ «Наука» на основі розробок «Енергетичного інституту ім. Г. М. Кржижановського» за напрямом горизонтальних гравітаційних сепараторів запропоновані й виготовляються на російських заводах високоефективні геотермальні сепаратори (див. табл. 2). Ці сепаратори встановлені в модульних енергоблоках Верхньо-Мутновської ГеоТЕС і на першій черзі Мутновської ГеоТЕС. Сепаратори забезпечують рекордну якість пари (вологість на виході не вище 0,05 %), що значно знижує ерозію турбінних лопаток [5-11].

Можлива сумарна потужність таких ГеоТЕС у Росії визначається, в основному, потребою в електроенергії вулканічних районів Камчатки й деяких Курильських островів (усього близько 1 млн. кВт). Питомі капіталовкладення в будівництво електростанцій саме такого типу становлять 1000-1200 дол./кВт, а сумарні питомі інвестиції із включенням витрат на розвідку родовища, буріння свердловин і облаштування геотермального промислу - 2000-2500 дол./кВт. Собівартість електроенергії після періоду окупності приблизно вдвічі нижче, ніж на розташованих у цих районах ТЕС на органічному паливі.

На рис. 4 представлено варіант ГеоТЕС для родовища пароводяної суміші або геотермальних розсолів з використанням конденсаційних турбін з одно- або багаторазовим розширенням геотермального флюїду. Якщо на родовищах пароводяної суміші температура відсепарованої води досить висока (вище 100 °С), то можливо шляхом розширення (скидання тиску розширювача 9 (див. рис. 4) отримати додаткову пару, що спрямовується на проміжний вхід турбіни. Останнє дозволяє отримати додаткову роботу і, тим самим, підвищити ККД енергоустановки. Таких каскадів теоретично може бути кілька. На практиці, однак, можливість застосування таких схем обмежується відкладення солей в елементах устаткування в результаті підвищення концентрації солей вище границі розчинності.

Таблиця 2

Технічні характеристики геотермальних сепараторів виробництва РФ [5]

Тип сепаратора	Тиск пари, МПа	Паровміст ППС* на вході, %	Вологість пари на виході, %, не більше	Продуктивність пари, т/год., не більше	Гідрравлічний опір	Маса, кг
C-55	0,5-0,9	15-100	0,05	55,0	0,1	7500
C-85				85,0		9500
C-115				115,0		10 500
СП-180 (парозбірник)				180,0		17 000
СВ-45 (двоступінчастий)				45,0		9700
P- 23 (розширювач)				0		23,0

На родовищах пароводяної суміші раніше всього утворюються відкладення кремінної кислоти, розчинність якої швидко зменшується при зниженні температури. На родовищах геотермальних

розсолів, що добуваються з карбонатних колекторів (Північний Кавказ) при розширенні розсолів виділяється розчинений CO_2 , що призводить до порушення вуглекислотної рівноваги й утворенню відкладень кальциту, магнезиту і т.ін. Тому застосування схем з розширювачами можливо лише при відсутності масивних відкладень солей або при використанні регулярного очищення устаткування. Розширювачі є порівняно дешевими об'ємними апаратами і, тому їхнє застосування практично не збільшує капіталовкладення, що залишаються на рівні 1000 дол./кВт [5].

На рис. 5 зображено ГеоТЕС з використанням низькокиплячих чистих або сумішевих РТ. Щоб уникнути відкладення солей, що виникають при розпарюванні геотермальних розсолів, схеми з розширювачами, застосовується схема з використанням низькокиплячих РТ. Схема рис. 5 діє наступним чином: геотермальний розсіл з підйомної свердловини 1 надходить у теплообмінник-парогенератор 2 (який звичайно виконується у вигляді двох кожухотрубчастих апаратів - випарника і підігрівача (економайзера)). Після охолодження до граничної температури, обумовленої умовою відсутності відкладень солі, розсіл повертається у шар по нагнітальній свердловині 3 (рис. 4).

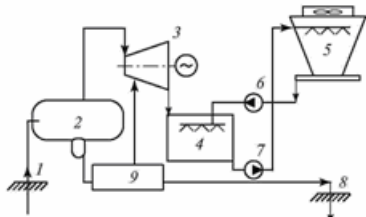


Рис. 4. Схема ГеоТЕС з конденсаційною турбіною і розширенням геотермального флюїда [5]: 1 - підйомна свердловина; 2 - сепаратор; 3 - конденсаційна турбіна; 4 - конденсатор; 5 - градирня; 6 - циркуляційний насос; 7 - конденсатний насос; 8 - нагнітальна свердловина; 9 - розширювач

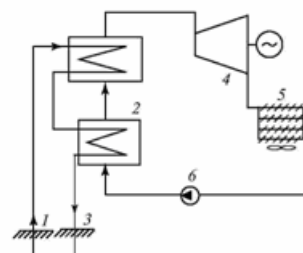


Рис. 5. Схема ГеоТЕС з використанням низькокиплячих РТ [5]: 1 - підйомна свердловина; 2 - теплообмінник парогенератор; 3 - нагнітальна свердловина; 4 - турбіна; 5 - конденсатор; 6 - циркуляційний насос

У зв'язку з високою вартістю свердловин, для збільшення витрати геотермального розсолу іноді застосовуються заглибні насоси, розташовують на глибині до 200 м у піднімальній свердловині, а для зворотного накачування практично завжди використовується нагнітальний насос перед реінжекційною свердловиною 3.

Витрата електроенергії на привід цих насосів іноді досягає 20% від вироблення електроенергії [5].

В якості РТ таких ГеоТЕС використовують холодоагенти (вуглеводні: пропан, бутан, фреони, останнім часом розглядається можливість застосування водоамічної суміші). Рідке РТ підігрівается й випаровується в парогенераторі 2 і подається на вхід турбіни 4.

Розширення пари низькокиплячих РТ у турбіні відбувається (на відміну від водяної пари) відповідно до T, s - діаграми, в частині сухої пари, що пов'язано з аномальним видом правої гілки кривої насичення, в T, s - діаграмі - ентропія зменшується при зниженні температури, тому з турбіни виходить суха пара.

Якщо його температура значно вище температури конденсації, обумовленою звичайно температурою повітря, доцільно повернути надлишкове тепло в цикл, для чого додатково використовують рекуперативний теплообмінник (невказаний на схемі), що встановлюється перед конденсатором 5, що звичайно є повітроохолоджуємим через дефіцит охолоджувальної води.

Зконденсоване РТ циркуляційним насосом 6 подається на вхід парогенератора (при наявності через нього) [5].

Першу в світі геотермальна енергоустановка за такою схемою із фреоном-22 в якості РТ була виготовлена в 1956 р. і випробувана на Паратунському родовищі термальних вод на Камчатці.

Устаткування для таких ГеоТЕС із різними РТ виготовляє ряд фірм у США, Японії, Італії, Австрії. У наш час промисловий випуск енергомодулів потужністю 0,5-3 МВт із низькокиплячими РТ здійснюється фірмою «Ормат» (Ізраїль).

Загальна потужність ГеоТЕС, побудованих у багатьох країнах з використанням даних енергомодулів, перевищує 350 МВт.

На Кіровському заводі був спроектований енергомодуль потужністю 1,5 МВт на озонобезпечному фреоні-42b.

Роботи зі створення спеціальної турбіни ведуться у ВАТ «Наука» [1-3, 5-7].

В останні роки приділяють особливу увагу до використання водоаміачної суміші в якості РТ.

Інтерес зумовлений зміною температури суміші в процесі парутворення, що, спочатку, при більш низькій температурі викіпає, в основному, аміак і в міру зменшення його концентрації температура киплячої суміші зростає.

У результаті вдається зблизити криві охолодження геотермального розсолу й нагрівання й парутворення водоаміачної суміші в I, t-діаграмі, що призводить до зниження незворотних втрат ексергії при теплообміні й підвищенню ККД циклу ГеоТЕС.

Крім того, шляхом зміни концентрації аміаку в суміші можливо ефективно використати ту саму турбіну на геотермальних родовищах з температурами розсолів 80-200 °С. Вартість енергомодулів фірми «Ормат» складає близько 1000 дол. за 1 кВт [1, 3, 5-7].

ГеоТЕС комбінованого циклу з паровою турбіною у верхньому циклі й низькокипячим РТ у нижньому циклі.

Для більше повного використання теплового потенціалу геотермальної пароводяної суміші доцільно використати комбіновану теплову схему, зображену на рис. 6.

Схема рис. 6 працює так: з підйомної свердловини 1 пароводяна суміш подається в сепаратор 2, звідки пар спрямовується у протитискову парову турбіну 3, після виходу з турбіни пар надходить у конденсатор 4, що є парогенератором низькокипячого РТ, а конденсат, що утворюється використовують на станції.

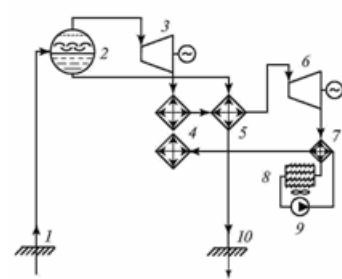


Рис. 6. Схема ГеоТЕС комбінованого циклу [5]: 1 – підйомна свердловина; 2 – сепаратор; 3 – парова турбіна; 4 – конденсатор; 5 – пароперегрівач; 6 – бінарна турбіна; 7 – рекуператор; 8 – повітряний конденсатор; 9 – живильний насос; 10 – нагнітальна свердловина

Отсепарований гарячий геотермальний розсіл подається в пароперегрівач низькокипячого РТ 5, після чого повертають в шар по нагнітальній свердловині 10. Перегріта пара низькокипячого РТ подається на вхід бінарної турбіни 6, після розширення в якій іде в рекуператор 7, де охолоджується і йде в повітряний конденсатор 8.

Зконденсоване низькокипяче РТ живильним насосом 9 подається на попередній підігрів у рекуператор 7 і потім у парогенератор 4.

Така схема дозволяє використати теплоту відсепарованого розсолу для перегріву низькокипячого РТ, що дозволяє збільшити ККД ГеоТЕС.

Особливо ефективно застосування даної схеми при низьких температурах повітря, тому що завдяки низьким температурам замерзання низькокипячих РТ (нижче -50 °С) можливо здійснювати конденсацію при негативних температурах.

Для умов Мутновського родовища пароводяної суміші (середньорічна температура повітря - 5 °С) вироблення електроенергії на комбінованій ГеоТЕС збільшується на 20 % у порівнянні із традиційним конденсаційним циклом.

Відповідний патент отримано спільно АТ «Наука» і «Енергетичним інститутом ім. Г.М. Кржижановського». Устаткування ГеоТЕС комбінованого циклу випускається ізраїльською фірмою «Ормат», і встановлено на геотермальних станціях на Філіппінах і в Індонезії.

У Росії за даною схемою планується побудувати 4-й блок Верхньо-Мутновської ГеоТЕС загальною потужністю 6 МВт [2, 3, 5-11].

Промислове освоєння геотермальних ресурсів у світі почалося після створення й пуску в Італії в 1916 р. геотермальної електростанції потужністю 7,5 МВт із трьома турбінами фірми «Франко Тозі» потужністю по 2,5 МВт кожна.

Однак широке промислове будівництво геотермальних електростанцій було розгорнуто тільки в 60-х рр. у США, Новій Зеландії, Японії, Ісландії й ін. країн [1-3, 5-7].

Сумарна встановлена потужність діючих на кінець 1990 р. ГеоТЕС у всіх країнах світу оцінюється в 7,3 млн кВт.

Найбільший прогрес у даній галузі досягнуто у США, на Філіппінах, у Мексиці, Італії, Японії, причому тільки на створення нових технологій за останні 20 років витрачено близько 2 млрд дол. США. (див. табл. 3) [1-3, 5-7].

Таблиця 3

Потужність геотермальних електростанцій (за станом на кінець 1990 р.) [1-3, 5]

Країна	Рік випуску	Кількість електроустановок		Сумарна потужність ГеоТЕС, МВт		Макс. одинична потужність агрегатів ГеоТЕС, МВт
		експлуатація	будівництво	експлуатація	будується	
США	1960	126	10	2920	602	140
Філіппіни	1977	41	-	2956	-	55
Мексика	1973	17	15	700	325	110
Італія	1913	41	14	456	298	26
Японія	1967	10	4	229	138	55
Ісландія	1969	12	1	208	30	35
Нова Зеландія	1958	14	4	260	116	30
Індонезія	1979	6	5	145	223	30
Сальвадор	1975	4	5	108	75	27
Кенія	1981	3	-	45	-	15
Нікарагуа	1982	2	-	70	-	35
Туреччина	1974	3	1	24	5	10
Швеція	-	1	-	20	-	20
КНР	1970	19	5	18	14	7
СРСР	1967	3	11	11	232	6

Відповідно до національної програми розвитку геотермальної електроенергетики США в найближчі 15-20 років очікується подвоєння потужності ГеоТЕС кожні 5 років. Основними виробниками й постачальниками основного й допоміжного устаткування для ГеоТЕС є концерн «Міцубісі» (Японія), а також фірми: «Франко Тозі», «Аскальдо» (Італія). Техніко-економічні параметри ГеоТЕС змінюються в дуже широких межах і істотно залежать від геологічних характеристик родовищ. Верхньою межею є вартість встановленої потужності 2500-3000 дол./кВт.

У цьому випадку собівартість отриманої електроенергії становить не менш 0,20-0,25 дол./кВт·год.. Однак більшість введених у дію ГеоТЕС значно дешевше (1200-2000 дол./кВт).

Собівартість електроенергії, отриманої на ГеоТЕС у даному випадку, наближається до собівартості, отриманої на вугільних ТЕС [1-3, 5].

Деякі характеристики перспективних для ГеоТЕС районів України представлені у табл. 4.

Таблиця 4

Прогнозні ресурси геотермальної енергії на території України для енергетики [1-3, 5]

Район, родовище	Інтервал глибин, км	Середня температура порід, °С	Площа покладів, км ²	Геологічні запаси теплової енергії	Видобувні запаси при коефіцієнті видобутку 20%	КККД перетворення, %	Можлива потужність ГеоТЕС, тис МВт
Закарпаття	3-6	210-250	50-130	8,5	29,0	1,7	5,8
Прикарпаття	4-7	200	600	6,7	23,0	1,3	4,6
Крим	4-7	200-220	300-500	15,3	52,4	3,1	10,5
Східноукраїнська область	5-7	185-217	660-2800	70,0	240	14,0	48,0
Всього				100	344	20	70

Значними ресурсами геотермальної енергії володіє Крим, для якого найбільш перспективними є Тарханкутський і Керченський півострови, де наявні найбільші геотермічні градієнти, а температура гірських порід у цих районах на глибинах 3,5-4 км може досягати 160-1800 °С.

Техніко-економічний аналіз перших експериментальних ГеоТЕС з врахуванням геологорозвідувальних робіт вказує на вартість величиною до 5000 дол. США/кВт. Надалі, при виході на серійні блоки потужністю по 10-25 МВт питома вартість станцій знизиться до 2-2,5 тис. дол.

США/кВт. ГеоТЕС з потужністю 100 МВт і більше будуть коштувати від 1200 до 2000 дол. США/кВт [1-3, 5-11].

Висновки і шляхи подальших досліджень. Виходячи із зазначеного і на основі оцінки технічних можливостей ГеоТЕС і обмежень по екологічних і економічних причинах, можливо зробити наступні висновки про розвиток геотермальної електроенергетики передбачається.

Розвиток технологій очистки мінералізованих геотермальних вод є однією з важливих умов широкого запровадження ГеоТЕС;

Технічні особливості геотермальної електроенергетики (обмежені значення верхніх температур циклів і висока мінералізація геотермальних теплоносіїв) вимагають звернути увагу дослідників на проведенні експериментів на дослідних ГеоТЕС порівняно невеликої потужності для відпрацювання технологій і відповідного устаткування;

Далеко невичерпана необхідність досліджень використання стійких до корозії матеріалів, а наявність розчинених газів вимагає розробляти додаткові системи газовиділення і утилізації, що супроводжується збільшенням витрат потужності на власні потреби до 50% і вище.

Список літератури

1. Геотермальная энергетика-Википедия: http://ru.wikipedia.org/wiki/%C3%E5%E8%F2%E5%F0%EC%E0%EB%FC%ED%E0%FF_%FD%ED%E5%F0%E3%E5%F2%E8%EA%E0
2. Гетермальная энергетика. http://ru.wikipedia.org/wiki/Гетермальная_энергетика.
3. LGE: http://www.eninnet.ru/lge/geotes_r.htm
4. Охрана окружающей среды // Учебник для технических специальностей вузов / Под ред. **С.В. Бегова** - М.: Высшая школа, 1991.
5. Геотермальные электростанции (ГеоТЭС): <http://gisee.ru/regionsupport/articles/low-energy/19412/>
6. Гетермальное энергоснабжение. www.esco.co.ua/journal/2005_11/art07_28.htm.
7. Геотермическая электростанция. БСЭ, т. 6.
8. **Выморков Б.М.** Геотермальные электростанции. – М.-Л., 1966. Конеченков А.. Энергия тепла Земли // Конеченков А., Остапенко С. Электропанорама. – 2003. – №7-8.
9. **Поваров О.А., Васильев В.А., Томков Ю.П., Томаров Г.В.** Геотермальные электрические станции с комбинированным циклом для северных районов России. <http://www.transgasindustry.com>.
10. **Занин А.И.** Паровые турбины. / **А.И. Занин, А.С. Соколов** - М.: Высшая школа, 1988.
11. **В.И. Кирюхин** Парові турбіни малої потужності КТЗ // **В.И. Кирюхин, Н.М. Тараненко, Е.П. Огурцова** и др. // М.: Энергоатомиздат, 1987

Рукопис подано до редакції 17.03.15

УДК 622.807.1

В.А. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІЗОКІНЕТИЧНОСТІ РУХУ ПОТОКУ ПОВІТРЯ В ПОРОЖНИНІ ПИЛОПРИБИРАЛЬНОГО НАСАДКА

Серед комплексу санітарно-гігієнічних заходів боротьби з пилом прибирання виробничих приміщень займає важливе місце. Видалення осілого пилу за допомогою промислових пилососних установок забезпечує високі санітарно-гігієнічні умови праці і підвищує продуктивність. Ефективна і економічна робота промислових пилоприбиральних установок в значній мірі залежить від робочого органу – пилоприбирального насадка, в порожнині якого відбуваються складні аеродинамічні процеси. Втрати тиску в порожнині пилоприбирального насадка складають значну частину від загальних втрат тиску у системі трубопроводів пилоприбиральних систем. Зменшення цих втрат можна спостерігати в такій конструкції насадка, який має рівновеликі площі всмоктувальної щілини, вихідного патрубка і довільних перетинів порожнини корпусу. Тобто, коли в порожнині насадка буде дотримуватися принцип ізокінетичності руху повітряного потоку. Для досягнення цього принципу зменшення довжини всмоктувальної щілини повинно відбуватися за рахунок звуження порожнини, обмеженої вертикальними поверхнями, виконаних по дугах двох кіл, а ширину всмоктувальної щілини необхідно збільшувати до діаметра патрубка між клиновидними вертикальними поверхнями, що розширюються. Аналітичне дослідження довільних площ перетинів порожнини насадка та експериментальні виміри швидкості повітряних потоків у цих перетинах показали, що для досягнення в ньому принципу ізокінетичності необхідно, щоб перехід від всмоктувальної щілини до вихідного патрубка здійснювався за овальним сполученням горизонтальних і вертикальних поверхонь корпусу, виконаних вищевказаним способом.