

УДК 628.113: 628.16.06

Назаров С. М., к.т.н., доцент, Солодкий О. Д., к.т.н., доцент
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОМИВНОЇ СИСТЕМИ СІТЧАСТИХ СТРУМЕНЕРЕАКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ ВЕЛИКОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Наведені результати оптимізації енергетичних параметрів промивної системи сітчастих струменереактивних фільтрів (ССФ) продуктивністю 0,5 м³/с в різних умовах їх застосування.

Ключові слова: сітчастий струменереактивний фільтр, область застосування, потужність, сітка.

Сітчасті струменереактивні фільтри (ССФ), які використовуються для сміттєзатримування і рибозахисту на річкових водозаборах [1, С. 75], є найбільш ефективними при їх встановленні у порівняно вузьких водотоках. Енергоощадна методика розрахунку ССФ при їх проектуванні [2] дає можливість мінімізувати витрати енергії в процесі їх роботи на водозаборах та зменшити собівартість води, що подається споживачам. За даною методикою для характерних умов встановлення ССФ на водозаборах з обмеженими відносною витратою водозабору \bar{Q} та відносною шириною водотоку \bar{L} визначаються конструктивні параметри промивного пристрою сіток (діаметр промивних отворів d_o та крок їх розташування t), які забезпечують найменшу потужність N , витрачену при роботі фільтрів.

На попередніх етапах досліджень з використанням даної методики [3; 4; 5; 6] були розроблені критерії для оцінки умов застосування і виділення областей застосування ССФ (область їх раціонального комплексного **РК**, умовно-припустимого **УП** та недоцільного **Н** застосування); визначені раціональні типи сіток квадратного плетіння для фільтрів, що разом із забезпеченням достатнього ступеню рибозахисту обумовлюють сприятливі енергетичні умови їх роботи; визначені оптимальні відносні енергетичні параметри (витрата \bar{q} , напір \bar{H} в промивній системі та основний енергетичний показник роботи ССФ \bar{N}) фільтрів малої (ССФ-50) та середньої (ССФ-200) продуктивності для характерних умов їх встановлення на водотоках. Були встановлені основні закономірності оптимізації базових конструктивних

параметрів ($d_o=0,005$ м; $t=0,03$ м) промивного пристрою для «переведення» умов роботи фільтрів в більш сприятливу область їх застосування. Встановлені характер і ступінь впливу параметрів сітки (коефіцієнт живого перерізу C та швидкість втікання води в сітку v_c) на основний енергетичний показник роботи фільтрів.

Для двохсекційних руслових водозаборів продуктивністю $1 \text{ м}^3/\text{с}$ є доцільним встановлення на кожній секції водоприймального оголовка сітчастих струменереактивних фільтрів продуктивністю 500 л/с (ССФ-500).

Метою даних досліджень є встановлення областей застосування ССФ-500 та їх оптимальних енергетичних параметрів в характерних умовах встановлення сітчастих струменереактивних фільтрів.

Розрахунок енергетичних параметрів ССФ проводився за програмою «SSF-2», вузлові моменти алгоритму якої наведені в [5].

Вихідні параметри для розрахунку були прийняті з наступних міркувань. Оскільки основною ознакою області **РК** є можливість живлення промивної системи ССФ основним низьконапірним насосом НС-І, області **УП** – високонапірним основним насосом, області **Н** – спеціальним промивним насосом, за основні насоси на водозаборі були прийняті найбільш відповідні для технологічних схем водозаборів з ССФ-500 низьконапірний насос марки Д2500-62 (при $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, $H_{нн}=32$ м, $N_{нн}=200$ кВт) та високонапірний насос марки Д2000-100 (при $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, $H_{вн}=104$ м, $N_{вн}=680$ кВт). Граничні напір та витрата в промивній системі фільтрів для області **РК** становили відповідно $H=25$ м ($\bar{H}=0,76$) та $q=0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ ($\bar{q}=0,03$), а для області **УП** – $H=25$ м ($\bar{H}=0,86$) та $q=0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ ($\bar{q}=0,05$). Решта конструктивних та швидкісних вихідних параметрів були прийняті аналогічно до попередніх досліджень: кількість плеч промивного пристрою $z=2$, $d_o=0,005$ м, $t=0,03$ м, частота обертання промивного пристрою $\omega=0,3\text{с}^{-1}$, швидкість руху води всередині промивного пристрою $v_\phi=5 \text{ м/с}$, параметри малогустих сіток квадратного плетіння – сітки C_4 (розмір вічка $a=0,005$ м; діаметр дроту $b=0,0012$ м; коефіцієнт живого перерізу $C=0,649$), C_5 ($a=0,006$ м; $b=0,0012$ м; $C=0,694$), C_6 ($a=0,0028$ м; $b=0,0004$ м; $C=0,762$). Швидкості втікання води у сітку ($v_c=0,1 \text{ м/с}$; $0,25 \text{ м/с}$) приймалися виходячи з вимог до таких для руслових водозаборів при різній межній швидкості у руслі [7, С. 59].

Умови роботи ССФ у водотоках характеризувались, як і в попередніх дослідженнях, фіксованими значеннями $\bar{Q}=0,025; 0,05; 0,1; 0,2$ та $\bar{L}=5;10;20;40$, що відповідають характерним реальним умовам

встановлення ССФ, та значенням об'ємної концентрації забруднень у воді $\xi=0,0001$.

Крім енергетичних параметрів, в результаті розрахунків були визначені деякі конструктивні параметри ССФ, необхідні для їх проектування: діаметр D_c та висота h_c фільтра, діаметр труб промивного пристрою d_ϕ , кут повороту промивних отворів відносно радіального напрямку δ .

«Переведення» умов роботи ССФ-500 в більш сприятливу область при оптимізації значень d_o і t в припустимих межах ($d_o=0,003\dots0,007$ м, $t=0,03\dots0,05$ м) відбувалось переважно в напрямку зменшення значення \bar{q} шляхом зменшення значення d_o проти базового та (або) збільшення значення t проти базового.

Результаті визначення областей застосування ССФ-500 з мало густими сітками при різних швидкостях втікання в них води наведені в таблиці 1.

Табличні дані характеризують ступінь сприятливості умов водозаборів для встановлення ССФ-500. Вони підтверджують встановлені раніше закономірності впливу параметрів сітки та умов водозаборів на енергетичні параметри ССФ, які визначають їх область застосування. В умовах водозаборів, що охоплюються областю **РК**, основний енергетичний показник до оптимізації параметрів знаходився в межах $0,000059\dots0,009189$, а після оптимізації – в межах $0,000054\dots0,017260$. Підвищення верхньої межі діапазону зумовлено розширенням області **РК** і охопленням нею умов водозаборів із зменшеною в результаті оптимізації витратою q . «Переведення» умов роботи ССФ з області **УП** в область **РК** не обов'язково приводить до зменшення витраченої потужності і основного енергетичного показника, адже відповідність умов роботи ССФ критеріям цієї області в першу чергу визначається знаходженням параметра q в межах граничного для області значення. Дані, наведені в таблиці 2, свідчать, що зменшення витраченої при роботі ССФ потужності завжди відбувається при оптимізації параметрів, наслідком якої не є «переведення» умов роботи фільтра в більш сприятливу область, а оптимізація, результатом якої є таке «переведення», пов'язана із зменшенням значення q при деякому збільшенні значень H та N .

Відсоткове розповсюдження областей застосування ССФ-500 (рис. 1) наглядно свідчить про енергетичну перевагу фільтрів з входною швидкістю $v_c=0,25$ м/с, які переважно проектують суто для сміттєзатримування. При комплексному використанні фільтра ССФ-500 вибір типу сітки слід проводити на підставі техніко-економічних роз-

рахунків, по результатах яких можна зробити вибір між забезпеченням необхідного ступеню рибозахисту (технічний аспект якого краще забезпечується звичайно на сітках з меншим розміром вічок) та забезпеченням роботи ССФ в більш енергоощадному режимі.

Таблиця 1

Області застосування ССФ-500 з малогустими сітками
на водозаборах з поверхневих джерел

\bar{L}		5		10		20		40	
\bar{Q}	Сітка	До опт.	Після опт.	До опт.	Після опт.	До опт.	Після опт.	До опт.	Після опт.
$v_c=0,1$ м/с									
0,025	C_4	рк	рк	рк	рк	Н	Н	Н	Н
	C_5	рк	рк	рк	рк	Н	уп	Н	Н
	C_6	рк	рк	рк	рк	уп	уп	Н	Н
0,05	C_4	рк	рк	уп	уп	Н	Н	Н	Н
	C_5	рк	рк	рк	рк	Н	Н	Н	Н
	C_6	рк	рк	рк	рк	Н	Н	Н	Н
0,1	C_4	уп	уп	Н	Н	Н	Н	Н	Н
	C_5	уп	рк	Н	уп	Н	Н	Н	Н
	C_6	рк	рк	Н	уп	Н	Н	Н	Н
0,2	C_4	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
	C_5	Н	уп	Н	Н	Н	Н	Н	Н
	C_6	Н	уп	Н	Н	Н	Н	Н	Н
$v_c=0,25$ м/с									
0,025	C_4	рк	рк	рк	рк	рк	рк	рк	рк
	C_5	рк	рк	рк	рк	рк	рк	рк	рк
	C_6	рк	рк	рк	рк	рк	рк	рк	рк
0,05	C_4	рк	рк	рк	рк	рк	рк	уп	уп
	C_5	рк	рк	рк	рк	рк	рк	уп	уп
	C_6	рк	рк	рк	рк	рк	рк	уп	рк
0,1	C_4	рк	рк	рк	рк	уп	уп	Н	Н
	C_5	рк	рк	рк	рк	уп	уп	Н	Н
	C_6	рк	рк	рк	рк	уп	рк	уп	уп
0,2	C_4	рк	рк	уп	уп	Н	Н	Н	Н
	C_5	рк	рк	уп	рк	Н	Н	Н	Н
	C_6	рк	рк	уп	рк	уп	уп	Н	Н

Таблиця 2

Енергетичні параметри промивної системи ССФ-500 в умовах $\bar{Q} = 0,1$ при $v_c = 0,25$ м/с

	Сітка	Енергетичні параметри										
		До оптимізації				Після оптимізації				Відносні		
		$H, \text{ м}$	$q, \text{ м}^3/\text{с}$	$N, \text{ кВт}$	$OЗ^*$	$H, \text{ м}$	$q, \text{ м}^3/\text{с}$	$N, \text{ кВт}$	$OЗ^*$	\bar{H}	\bar{q}	$\bar{N} \cdot 10^{-2}$
5	C_4	2,106	0,00565	0,12685	РК	1,042	0,00779	0,08974	РК	0,0325	0,0156	0,0449
	C_5	1,620	0,00479	0,08527	РК	0,802	0,00661	0,06104	РК	0,0251	0,0132	0,0305
	C_6	1,225	0,00397	0,06808	РК	0,606	0,00547	0,05291	РК	0,0189	0,0109	0,0265
10	C_4	7,210	0,01045	0,74785	РК	3,567	0,01441	0,51291	РК	0,1115	0,0288	0,2565
	C_5	5,546	0,00887	0,49025	РК	2,744	0,01223	0,33685	РК	0,0857	0,0245	0,1684
	C_6	3,936	0,00711	0,29244	РК	1,947	0,00981	0,20512	РК	0,0608	0,0196	0,1026
20	C_4	38,051	0,02401	8,96941	УП	32,967	0,02414	7,81256	УП	0,3169	0,0483	3,9063
	C_5	29,271	0,02038	5,85774	УП	8,402	0,02376	4,29368	УП	0,0807	0,0475	2,1468
	C_6	19,812	0,01597	3,12076	УП	22,130	0,01458	3,18274	РК	0,6915	0,0292	1,5914
40	C_4	89,006	0,03672	32,07486	Н	44,043	0,05064	21,88508	Н	0,4235	0,1013	10,9425
	C_5	68,469	0,03118	20,94412	Н	33,881	0,04298	14,29078	Н	0,3258	0,0859	7,1454
	C_6	46,343	0,02443	11,10875	УП	40,151	0,02455	9,67569	УП	0,3861	0,0491	4,6518

ОЗ* – область застосування ССФ



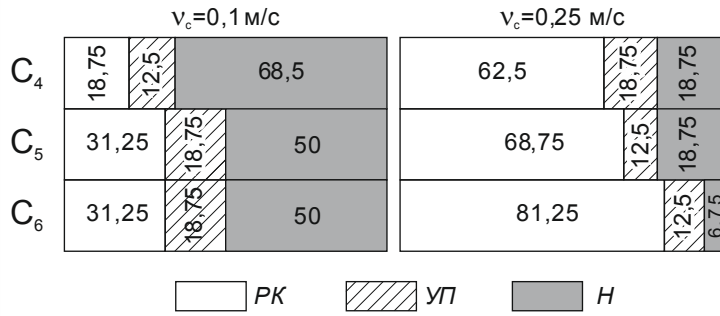


Рис. 1. Розповсюдження (у %) областей застосування ССФ-500 із сітками різної густини

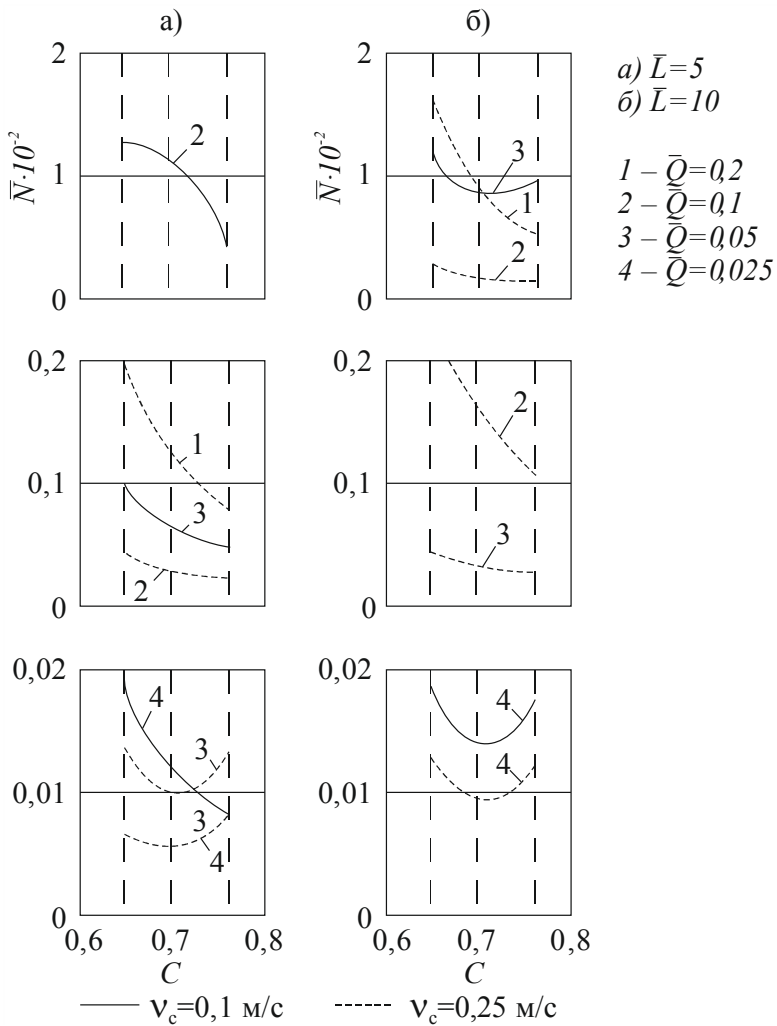


Рис. 2. Графіки $\bar{N} = F(C)$ в межах області PK застосування ССФ-500

Характер та ступінь впливу коефіцієнту живого перерізу сітки та швидкості втікання води у сітку на основний енергетичний показник роботи фільтрів ілюструють графіки залежностей, наведені на рис. 2. Вони підтверджують очікувану енергетичну перевагу сіток із більшим значенням коефіцієнту C , хоча в ряді випадків перехід до сітки C_6 з найбільшим значенням C прогнозує збільшення енерговитрат при роботі фільтра, що пояснюється достатньо малим розміром вічок такої сітки. Перехід від сітки C_4 до сітки C_5 зменшує витрачену потужність в області **РК** в середньому на 36%, що дає додаткову річну економію електроенергії при роботі одного ССФ-500 близько 632490 кВт-год.

Аналіз графіків не дає можливості зробити висновок про вирівнювання кривих, що характеризують витрати енергії для фільтрів з різною вхідною швидкістю в умовах малих \bar{Q} , як це було зроблено на підставі аналізу таких графіків для ССФ малої продуктивності [5]. Однак для фільтрів великої продуктивності, як бачимо з рис. 2, при малих \bar{Q} спостерігається деяке зближення таких кривих та їх подібність, причому розбіжність у витратах енергії для фільтрів з різними сітками є незначною. При іншому масштабуванні осей графіків можна досягти й спрямлення кривих. Це дає підставу зробити припущення про можливість при проектуванні ССФ-500 в умовах малих \bar{Q} приймати тип сітки а в деяких випадках й швидкість входу у сітку з міркувань рибозахисту та сміттєзатримування без врахування витрат енергії. Втім це питання потребує додаткового аналізу і окремого розгляду.

Характер графіків відповідає фізико-математичній моделі очищення ССФ затопленими струменями, яка отримала підтвердження експериментальними дослідженнями [8] і яка покладена в основу енергоощадної методики розрахунку цих фільтрів. В таблиці 3 наведені вибіркові варіанти вихідних даних та результатів розрахунків енергетичних та інших параметрів ССФ-500, які пояснюють характер графіків залежностей $\bar{N} = f(C)$ і характеризують фізичну сутність процесів при гідравлічному очищенні сітки ССФ. Назви параметрів та розрахункові залежності для їх визначення наведені в алгоритмі розрахунків за енергоощадною методикою [5]. Табличні дані висвітлюють механізм впливу параметрів сітки на основний енергетичний показник. При переході від сітки C_4 до менш густої сітки C_5 зменшується коефіцієнт забруднення сітки f , втрати напору на сітці ΔH та потужність, що втрачається на сітці N_c , яка є часткою загальної

потужності N , що втрачається при роботі ССФ. При переході ж до сітки C_6 , яка має ще більший коефіцієнт живого перерізу однак значно менші розміри вічок, параметри f , ΔH , N_c , N зростають.

Таблиця 3

Вибіркові варіанти вихідних даних та результатів розрахунку енергетичних параметрів ССФ-500 в умовах $\bar{Q} = 0,05$

Параметр	Вихідні дані					
	5			10		
\bar{L}	0,25					
v_c , м/с	0,25					
сітка	C_4	C_5	C_6	C_4	C_5	C_6
a , м	0,005	0,006	0,0028	0,005	0,006	0,0028
b , м	0,0012	0,0012	0,0004	0,0012	0,0012	0,0004
d_0 , м	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
t , м	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Параметр	Результати розрахунків					
Δ , м	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
K_n	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845	0,845
K_c	0,864	0,923	1,018	0,864	0,923	1,018
K_Δ	0,767	0,767	0,767	0,767	0,767	0,767
S_{\min} , м	0,130	0,126	0,120	0,217	0,210	0,200
$S_{\text{опт}}$, м	0,130	0,127	0,135	0,219	0,220	0,230
χ	2,59	2,57	2,34	2,88	2,51	2,15
f	0,227	0,198	0,388	0,238	0,200	0,360
ΔH , м	0,00224	0,29149	0,00389	0,00232	0,00186	0,00345
N_c , кВт	0,010920	0,009090	0,019122	0,011371	0,009146	0,016954
A , м ² /с	0,092	0,081	0,074	0,155	0,140	0,127
H , м	0,375	0,291	0,246	1,065	0,875	0,713
q , м ³ /с	0,00467	0,00398	0,00349	0,00787	0,00691	0,08594
N_n , кВт	0,017209	0,011400	0,008408	0,082267	0,059268	0,041575
N , кВт	0,028129	0,020490	0,027530	0,093638	0,068414	0,058529
D_c , м	0,990	0,958	0,912	0,990	0,958	0,912
$\bar{N} \cdot 10^{-2}$	0,0141	0,0102	0,0138	0,0462	0,0342	0,0293

Табличні дані також дозволяють пояснити й зміну основного енергетичного показника із зміною умов водозабору. При збільшенні

відносної ширини водотоку \bar{L} та відносної витрати водозабору \bar{Q} структура течії в руслі біля ССФ змінюється в напрямку віддалення вираженої транзитної течії від поверхні ССФ. Тому в цих умовах зростає дальність відведення промивними затопленими струменями забруднень і мальків від сітки S_{omm} , напір в промивній системі H та витрачена на створення промивних струменів потужність N_p , що є також складовою частиною потужності N .

Проведеними дослідженнями

1. Виділені області застосування на водозаборах фільтрів ССФ-500 з малогустими сітками, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень при їх проектуванні.

2. Встановлені характер та ступінь впливу типу сітки та швидкості втікання в неї води на витрати енергії при роботі ССФ-500. Ці дані дають можливість забезпечити необхідну ступінь сміттєзатримання та рибозахисту в енергоощадному режимі.

Проведені дослідження завершують цикл робіт, пов'язаний з визначенням областей застосування сітчастих струменереактивних фільтрів різної продуктивності та пошуком їх оптимальних енергетичних та конструктивних параметрів в умовах водотоків з малою об'ємною концентрацією забруднень у воді. Це дає можливість провести порівняння результатів досліджень для ССФ різної продуктивності і в разі необхідності обґрунтовано вибрати тип ССФ для певної технологічної схеми річкового водозабору.

1. Булава М. Н. Водозабірні і гідротехнічні споруди / Булава М. Н., Кудін С. М. – Київ : Вища школа, 1974. – 229 с. **2.** Назаров С. М. Оптимальні параметри системи промиву сітчастих струменереактивних фільтрів / Назаров С. М. // Гідромеліорація і гідротехнічне буд-во. – 1992. – Вип. 19. – С. 83–86. **3.** Назаров С. М. Визначення області раціонального застосування сітчастих струменереактивних фільтрів за параметрами їх промивної системи / Назаров С. М., Пугачов Є. В. // Гідромеліорація і гідротехнічне буд-во. – 2005. – Вип. 30. – С. 199–206. **4.** Назаров С. М. Вплив параметрів сітки на енергетичні показники роботи сітчастих струменереактивних фільтрів / Назаров С. М. // Гідромеліорація і гідротехнічне буд-во. – 2009. – Вип. 34. – С. 230–237. **5.** Назаров С. М. Визначення областей застосування та основного енергетичного показника роботи сітчастих струменереактивних фільтрів з малогустими сітками / Назаров С. М., Магель В. М. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Зб. наук. праць. 2012. – Вип. 4(60). – С. 70–79. **6.** Назаров С. М. Оптимізація енергетичних параметрів промивної системи сітчастих струменереактивних фільтрів середньої продуктивності / Назаров С. М. // Вісник Національного університету водного господарства

та природокористування. Зб. наук. праць, 2014. – Вип. 4(68). – С. 173–183.
7. Державні будівельні норми України. Водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-74: 2013. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 280 с. **8.** Назаров С. Н. Экспериментальное определение граничной поверхности тока у сетчатого барабанного водоприемника / Назаров С. Н., Сафонов Н. А. // Новые исследования по сетям и сооружениям систем водоснабжения: Межвуз. темат. сб. тр. – Л. : ЛИСИ, 1985. – С. 88–95.

Рецензент: д.т.н., проф. Ковальчук В. А. (НУВГП)

**Nazarov S. M., Candidate of Engineering, Associate Professor,
Solodkyi O. D., Candidate of Engineering, Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

OPTIMIZATION OF POWER PARAMETERS OF WATER-WASHING SYSTEM OF MESH JET-REACTION FILTERS BY LARGE PRODUCTIVITY

Results for the optimization of power parameters of water-washing system of mesh jet-reaction filters (MJRF) by 0,5 m³/sec productivity under different condutions of its using are given.

Keywords: mesh jet-reaction filter, area of use, relative power, mesh.

Назаров С. Н., к.т.н., доцент, Солодкий А. Д., к.т.н., доцент
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫВНОЙ СИСТЕМЫ СЕТЧАТЫХ СТРУЕРЕАКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ БОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Приведены результаты оптимизации энергетических параметров промывной системы сетчатых струереактивных фильтров (ССФ) производительностью 0,5 м³/с в разных условиях их использования.

Ключевые слова: сетчатый струереактивный фильтр, область использования, мощность, сетка.
