

УДК 628.16

Меддур М. М., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ФІЗИЧНА ВЛАСТИВІСТЬ ОСАДУ ТА ЙОГО ВИДАЛЕННЯ ІЗ ФІЛЬТРУЮЧОЇ ЗАСИПКИ

Наведені питання, що стосуються адгезії осаду та його видалення із фільтруючої засипки.

Ключові слова: адгезія, осад, очищення води, промивання.

До основних факторів, які впливають на процес очищення води, можна віднести властивість осаду, а саме роботу ланки «осад – поверхня фільтруючої засипки». Взаємодія завислих частинок з поверхнею фільтруючої засипки іноді називають «прилипанням», або адгезією. Основним критерієм оцінки осаду слід вибрати сили адгезії, які повинні забезпечувати його утримання в товщі фільтруючої засипки. Адгезію часто трактують як молекулярний зв'язок двох дотичних різнорідних фаз. Однак це поняття не відображає всієї складності процесів, що відбуваються при адгезії.

Для того, щоб навчитися керувати явище адгезії, необхідно детально вивчити кожен з складових сил адгезії, розкрити її природу, умови та особливості прояву, а також встановити фактори, які викликають зміну сил, що обумовлюють адгезію.

Адгезію класифікують за такими ознаками:

- властивість середовища;
- сили, що визначають адгезію;
- число прилиплих частинок;
- зміна адгезії в процесі відриву;
- напрям сили відриву.

В початковий період адгезії при кінетичному прилипанні в рідкому середовищі діє гідродинамічний фактор. Під час наближення однієї частинки до поверхні фільтруючої засипки виникає витіснення рідини до критичної, коли кінетичне прилипання переходить у статистичне. Відповідно гідравлічний фактор впливає на взаємодію частинок з поверхнею фільтруючої засипки, а отже, на їх контакт та на процес видалення зважених часток.

Сили адгезії мікроскопічних частинок в рідкому середовищі складаються з молекулярного тяжіння і сил відштовхування тонкого шару

рідини в зоні контакту. Мікроскопічні частинки прилипають не тільки за рахунок молекулярних сил, але і під дією гідродинамічної сили води (інерційні сили) та інших причин.

Адгезію можна класифікувати за числом взаємодіючих частинок. Якщо частинок небагато, то вони найчастіше не контактують між собою і утворюють на поверхні так званий моношар (рис. 1, а). Якщо частинок багато, то утворюється шар, що складається з одного або декількох рядів часток, які вступають у контакт. При адгезії моношару (рис. 1, а) сила відриву діє на кожну частку і, якщо $F_{\text{відриву}} > F_{\text{адгезії}}$, буде відбуватися відрив прилиплених частинок від поверхні [2]. При адгезії шарів (рис. 1, б) сила діє на всі частинки, що утворюють шар чи шари. Адгезійні якості затриманих забруднень суттєво впливають як на процес фільтрування, так і на десорбцію їх із фільтруючої засипки [1].

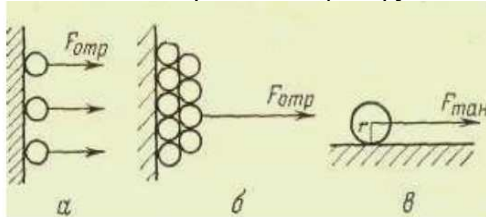


Рис. 1. Можливі випадки відриву частинок: а) моношару, б) шару нормальної сили; в) окрема частинка тангенціальною силою

Під час фільтрування зважені частинки ущільнюються в часі, цей ефект можна описати рівнянням Ньютона [6]

$$\xi = \frac{P}{\eta},$$

де ξ – швидкість ущільнення осаду; P – гідродинамічний тиск; η – динамічна в'язкість осаду.

На самому початку фільтрування, коли вода потрапляє ще у чисту фільтруючу засипку, адсорбція з'єднань виникає в молекулярному шарі, проходить так звана фізична адсорбція, яка обумовлена силами притягання між молекулами. Після утворення мономолекулярного шару процес затримання забруднень збільшується.

Третя перешкоджає тангенціальному переміщенню частинок, а адгезія – переміщенню частинок в напрямку, перпендикулярному до фільтруючої поверхні. Для відриву частинок необхідно подолати, головним чином, силу статичного прилипання. Тому під дією гідродинамічних сил, які виникають внаслідок руху води в пористому середовищі, зважені частинки, подолавши сили щеплення, можуть відірватись і виноситись фільтруючим потоком води [5].

Збільшення швидкості фільтрування призводить до збільшення проникання забруднень у товщу фільтруючої засипки, тим самим призводить до скорочення фільтроциклу, про що свідчить швидке зростання втрат напорів. Втрати напорів впродовж фільтроциклу відображають ступінь закупорки міжзернового простору фільтруючої засипки (рис. 2).

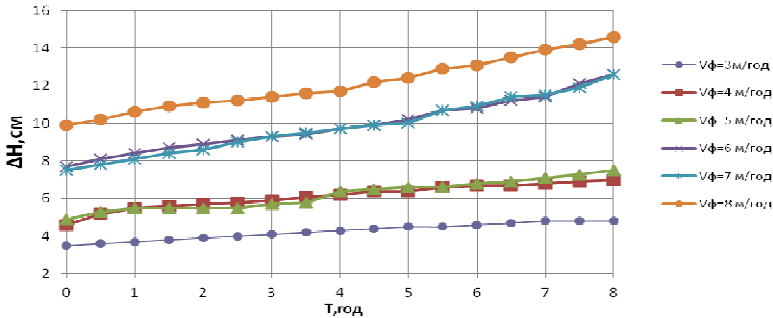


Рис. 2. Приріст втрат напорів за час фільтроциклу $T_{\phi} = 8$ год при різних швидкостях фільтрування

На початку фільтрування працює тільки так звана «активна частина» фільтруючої засипки – це 20-30% від загальної висоти засипки. По мірі накопичення осаду в перших шарах засипки повнота затримання забруднень поступово падає і частина осаду під дією гідродинамічних сил потоку переміщається далі в товщу засипки спостерігається явище масопереносу. По досягненні граничних втрат напорів необхідно провести мивання осаду із фільтруючої засипки для відновлення затримуючої здатності засипки [3].

Видалення осаду – це кількісна зміна затриманих часток в товщі фільтруючої засипки під дією водяного (промивного) потоку.

Видалення часток залежить від співвідношення між силами адгезії, аутогезії, ваги домішок та гідродинамічної дії промивного потоку. На частинку в потоці діють сили тяжіння Ван-дер-Вальса і сили опору, які обумовленні в'язкістю середовища [3].

Першою стадією процесу відриву є ковзання частинки, тобто подолання не тільки сил прилипання, але й тертя.

Для того, щоб оцінити оптимальну швидкість відриву адгезиву із поверхні фільтруючої засипки, необхідно дослідити силу, яка необхідна для руйнування адгезійного з'єднання між адгезивом і субстратом.

Ця сила діє перпендикулярно до фільтруючої поверхні на частинку, що прилипла, визначає величину адгезійної взаємодії. Якщо ця сила направлена тангенціально до поверхні, то при відриві частинок змінюється статистичне тертя.

Умова, при якій можливий відрив частинок, висвітлюється наступ-

ною формулою

$$F_{відр} \geq \beta F_{адг} + (1 - \beta) F_{терм},$$

де $F_{відр}$, $F_{адг}$, $F_{терм}$ – сили відриву, адгезії, тертя;

β – частина сили відриву, яка втрачається на подолання сил адгезії.

При силі відриву, яка направлена перпендикулярно до поверхні $\beta=1$ і $F_{відр} \geq F_{адг}$; якщо сила направлена тангенціально, то $\beta=0$ і $F_{відр} \geq F_{терм}$. Тертя прилиплих частинок визвано адгезією: $F_{терм} = \mu F_{адг}$, μ – коефіцієнт тертя.

Для визначення необхідної швидкості або оптимальної інтенсивності промивного потоку, яка необхідна для відриву частинок, слід вивчити сили, які діють на частинку, яка прилипла до фільтруючої засипки, зі сторони потоку. На частинку діють сили, які притискають частинку до поверхні засипки, і сили, які прагнуть відірвати її. Сили, які притискають її, – це вага частинки в воді і сила адгезії. Сили, які відривають, – це лобова і підіймаюча сили, які утворюються промивним потоком [7].

$$F_{лоб} = c_x d^2 v_{відр}^2 / 2g,$$

$$F_{нід} = c_y d^2 v_{відр}^2 / 2g,$$

де c_x – коефіцієнти опору лобового зусилля;

c_y – коефіцієнти опору підіймального зусилля;

d – діаметр частинок;

$v_{відр}$ – швидкість, при якій виникає відрив частинок.

Силу відриву затриманих забруднень можна вирахувати за формулою [3]

$$V_{відр} = I / 10^{-3} \cdot m,$$

де $V_{відр}$ – швидкість відриву часток, м/с;

I – інтенсивність промивання, л/(с·м²);

m – пористість, в частках.

При видаленні забруднень із фільтруючої засипки росте дотичне напруження на поверхні зерен, при цьому збільшується і відстань між зернами.

При видаленні забруднень з великою інтенсивністю промивного потоку збільшується висота фільтруючого шару, де все менше відбувається контактування зерен між собою, що негативно впливає на регенерацію засипки фільтра [5].

Вимив забруднень виникає практично миттєво, що видно із рис. 3. Це зумовлено тим, що при певній швидкості (критичній) спостерігається рівновага між силами (втрати напору в середині шару та власної ваги фільтруючої засипки), після проходження цієї критичної швидкості фільтруючий шар розширюється до оптимальної величини. Пік на

кривій (рис. 3) і є причиною гідродинамічної нестійкості фільтруючої засипки.

Чіткий пік концентрації забруднень, який спостерігається на рис. 3, пов'язаний із тим, що їх вимивання відбувається у турбулентному потоці, де формується центральне ядро відірваних із центральної частини засипки, забруднень. Значення цих піків залежать від інтенсивності промивання, розподілу забруднень по висоті засипки, швидкості фільтрування, і кількості затриманих забруднень [4].

Таблиця

Характеристика потоку промивної води

Час промив., с	Q, л/с	I, л/(с·м ²)	Вміст Fe, мг/дм ³	V _{відр.} , м/с
при Vφ = 3 м/год				
0	0,40	22,6	3,05	6,83
15	0,36	20,2	39,89	5,88
30	0,41	20,1	9,77	5,87
45	0,36	20,3	3,22	5,95
60	0,33	18,6	2,17	5,49
75	0,32	18,1	1,88	5,34
при Vφ = 4 м/год				
0	0,31	27,0	14,60	7,93
20	0,47	26,6	61,05	7,68
40	0,42	23,6	4,72	6,82
60	0,39	22,2	3,72	6,40
80	0,38	21,3	2,65	6,21
при Vφ = 5 м/год				
0	0,28	15,6	1,99	5,14
20	0,18	13,5	69,19	4,45
40	0,24	13,3	9,41	4,42
60	0,23	13,0	3,72	4,41
80	0,21	12,1	1,96	4,11
100	0,21	11,8	1,79	4,07
120	0,20	11,5	0,75	4,11
при Vφ = 6 м/год				
0	0,23	13,2	1,5	4,37
20	0,23	13,2	113,22	4,43
40	0,20	11,5	15,26	3,95
60	0,20	11,0	1,67	3,87
80	0,19	10,6	0,89	3,85

На основі даних таблиці побудовані графічні залежності видалення забруднень від часу та інтенсивності промивного потоку.

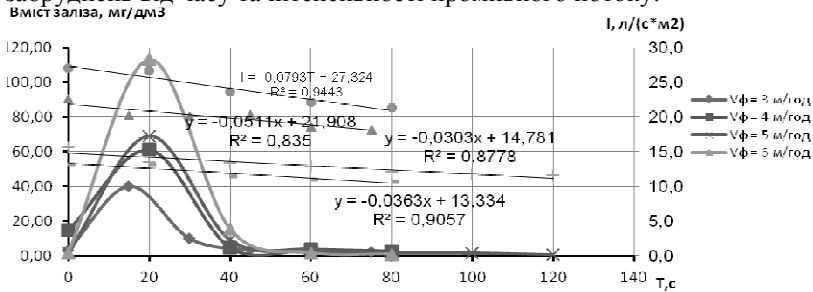


Рис. 3. Видалення забруднень із фільтруючої засипки відповідно до інтенсивності промивання

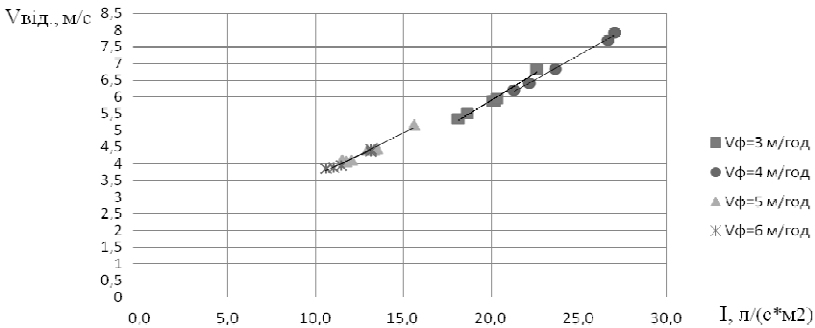


Рис. 4. Залежність швидкості відриву забруднень від інтенсивності промивання

Висновок. Таким чином, регенерація фільтруючої засипки відіграє важливу роль у надійній та стабільній роботі водоочисних фільтрів. При низькій її ефективності зростають накопичення забруднень, збільшується темп приросту втрат напору і скорочується фільтроцикл. Із рис. 4 видно, що із збільшенням інтенсивності промивання збільшується і швидкість відриву забруднень, але графічні залежності рис. 3 доказують наступне, що при великих інтенсивностях на відрив забруднень витрачається великий об'єм промивної води, але ефективність такого відмивання фільтруючої засипки не завжди є задовільною, це дає змогу стверджувати про існування оптимальної інтенсивності, яка забезпечить ефективне відмивання засипки з меншою втратою об'єму промивної води. При дослідженні оптимальних інтенсивностей промивання велику роль відіграє вивчення фізичної властивості осаду та

складових промивного потоку, які діють на зважену частинку під час регенерації фільтруючої засипки.

1. Зимон А. Д. Адгезия пыли и порошков / А. Д. Зимон. – М. : Химия, 1976.
2. Гонтар Ю. В. Модифицированная модель осветления воды при фильтрации зернистые среды / Ю. В. Гонтар // Химия и технология воды. – 1987. – Т. 9, № 6. – С. 487-490.
3. Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою / В. О. Орлов. – Рівне: НУВГП, 2005. – С. 163.
4. Дослідження кінетики виносу гідроксиду заліза із засипки піно полістирольних фільтрів / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, С. О. Куницький, М. М. Медур // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2012. – № 4(6) 2011-1(7). – С. 14.
5. Кульський Л. А. Использование адгезионных и адсорбционных процессов для удаления из воды взвесей и микроорганизмов / Л. А. Кульський, М. М. Ротмистрова. – Киев : Наукова думка, 1973.
6. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии / Н. Н. Маслов. – М. : Высш. школа, 1968. – 629 с.
7. Мирцхулава Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости / Ц. Е. Мирцхулава. – М. : Колос, 1967. – 179 с.

Рецензент: д.т.н., професор Орлов В. О. (НУВГП)