

ЕФЕКТИ НА ТРАНСМЕМБРАННОТО ПУЛСИРАЩО НАЛЯГАНЕ ПРИ УЛТРАФИЛТРАЦИОННИ ПРОЦЕСИ В ТРЪБИ

Мариана Мараджиева

Доцент, д-р инж., УАСГ, кат. “Хидравлика и Хидрология”
София, 1046 1 “Хр. Смирненски”, E-mail: marmar_fhe@uacg.bg

Резюме

Ефектът на ултрафилтрационните процеси под налягане като производителност, степен на пречистване и т.н. зависи до голяма степен от следните характеристики на процеса: концентрация на разтворени вещества във входния поток, температура на потока, рН на средата, вид на разтворените вещества и работно налягане [1]. Последният фактор – работно налягане дава големи възможности за управление и контрол на процесите при различни технологии на пречистване на битови и промишлени отпадни води. Едновременно с това се осигурява значително по-дълъг експлоатационен живот на скъпо струващите мембрани при сравнително постоянни технологични параметри. В статията е описан опитът на автора за управление и регулиране на пулсациите на работното налягане от двете страни на мембраната при синхронизация на честотата на пулсация [2]. Нарушаването на тази синхронизация води до малки диференциални разлики в наляганията на ултрафилтратата и концентрата и обезсмисля процеса. Както е известно, по-голяма ефективност се наблюдава при ниски скорости, респ. Рейнолдсови числа, докато при турбулентни течения ефектът намалява. Резултатите са получени по експериментален път в лабораторията за хидравлични изследвания ЦНИЛХИ при УАСГ и НИС при ВХТИ – Бургас с ръководител доц. М. Мараджиева. Тези резултати дават възможност за сравнения на крайния ефект по предложения метод и други методи [5], свързани с пречистването на питейни води. Експерименталните изследвания могат да послужат за основа на бъдещи проучвания и нови технологични схеми [4].

1 Въведение

Концентрационната поляризация е явление, съпровождащо всички мембранни процеси. То води до повишаване на концентрацията на задържаните компоненти върху повърхността на мембраната, в резултат на което мембранныят процес става практически неефективен. За отстраняването на нежелателните ефекти се прибягва до различни методи:

- **Обратно промиване**

В този случай нормалният стационарен мембранен процес периодично се замества с процес на обратно промиване, при което посоката на движение се променя. При това се налага прекъсване на нормалната експлоатация, докато трае обратното промиване.

- **Пулсационно промиване**

Този процес води до отстраняване на геловия слой върху повърхността на мембраната и елиминира нежелателните последици от концентрационната поляризация.

Съществуват няколко схеми за пулсационно промиване:

1/ Постоянно вътрешно налягане и пулсиращо външно налягане.

При тази схема технологичният процес не е непрекъснат и обратното промиване се осъществява по времето, когато:

$$P_{\text{външно}} > P_{\text{вътрешно}}$$

Следствие на прекъснатия характер на технологичния процес производителността намалява значително.

2/ Периодични трептения във външния контур.

При тази схема производителността на процеса се увеличава значително, тъй като се налага спиране на технологичния процес за отделни периоди: t_1, t_2, \dots , т.н. в зависимост от предварително зададения периодичен закон.

3/ Едновременни трептения и в двата контура – фиг. 2.с и 2.d.

При тази схема работната площ на диаграмата (p,t) е най-голяма, като същевременно се постига обратно промиване – фиг. 2.d. В този случай задължително трябва да се осъществят трептения и в двата контура-вътрешен и външен. Необходимо условие в този случай е постигането на синхронизация на честотите от двете страни на мембраната.

Изброените дотук методи интензифицират масопреноса от повърхността на мембраната към пространството, заето от разделяната смес, като едновременно с това не се прекъсва за дълго технологичния процес. Обикновено при осъществяване на някоя от изброените схеми основният режим на движение е ламинарен, а течността от двете страни на мембраната се разглежда като нютонова. Само при изключителни случаи на масопренос при силно вискозни концентрати се налага течността да се третира като ненютонова. Процесът на масопренос през мембраната при турбулентен режим се оказва практически неизгоден, тъй като е свързан с големи загуби, а оттук и с преразход на енергия. Съществуват и други методи за намаляване на концентрационната поляризация [1], чиято реализация засега се ограничава в рамките на лабораторни изследвания. Например за намаляване на ефекта на концентрационната поляризация в последно време се използват магнитни, ултразвукови и електрически полета. Технологична схема за ултрафилтрация на промишлени отпадни води с магнитна обработка е разгледана в последния параграф на настоящата статия.

2 Експериментални изследвания

Процесът, описан в пункт 3/ на предишния параграф беше изследван експериментално в хидравличната лаборатория ЦНИЛХИ към УАСГ. Бяха използвани тръбни ацетат –целулозни мембрани на фирмата Paterson and Candy – Англия с вътрешен диаметър $\Phi 12,5$ мм, тип T4/A.

За моделен разтвор бе използван разтвор на декстран с молекулно тегло 40 000. На специално създадена за експериментите инсталация – фиг. 1 бяха изследвани пулсациите от двете страни на мембраната.

Всички сигнали за налягането в концентрата и ултрафилтратата се отчитат с пиезосъпротивителни датчици на фирмата Кистлер (Швейцария) и се записват в компютърна система. За измерването на дебита на концентрата и ултрафилтратата се използват ротаметри. Моделният разтвор на концентрата е с концентрация $c_0 = 5\%$ и с плътност и кинематична вискозност съответно:

$$\rho = 1098 \text{ kgm}^{-3} \text{ и } \nu = 1,11 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}. \text{ Условието при стационарното движение}$$

при повишено работно налягане $\Delta p = 0,46 \text{ MPa}$ се използват по-нататък за сравнение на ефекта при пулсации и различни трансмембранни скорости.

При теоретичните изследвания [2] имат значение разликите в осмотичните налягания на концентрата и ултрафилтратата:

$$\Delta\pi_{\omega} = \pi_2 - \pi_1$$

където:

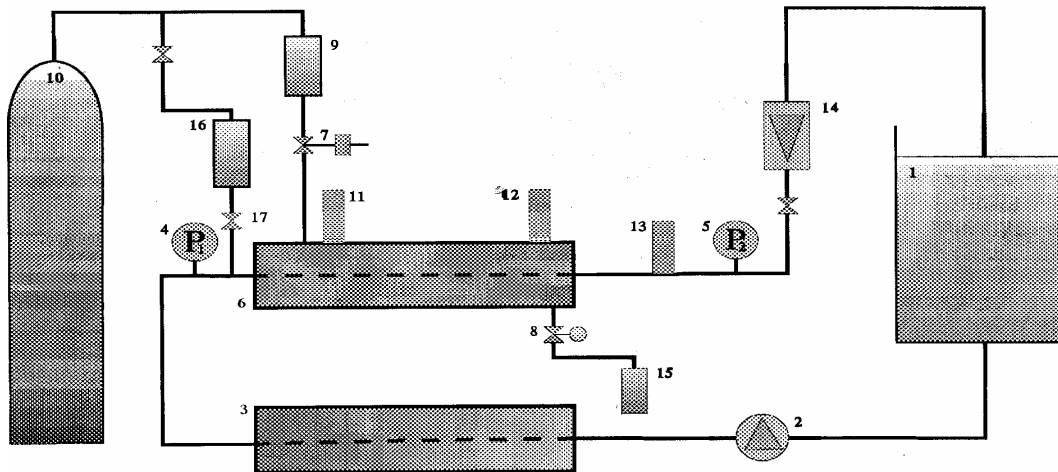
π_2 е осмотичното налягане на концентрата; π_1 е осмотичното налягане на ултрафилтратата.

В случая беше използвана следната експериментална формула:

$$\Delta\pi_{\omega} = A' \cdot C_{\omega}^n \quad (1)$$

Експерименталните коефициенти, установени от опитните изследвания са:

$A' = 7 \div 10 \text{ MPa}$; $n = 1.7 \div 2$; $C_{\omega} \approx 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ е коефициентът на дифузия; $\Delta\pi_{\omega}$ е разликата в осмотичните налягания на концентрата и ултрафилтратата.



1 резервоар под налягане
4 манометър
7 електромагнитен вентил

10 бутилка със сгъстен въздух

13 датчик за налягането в концентрата

16 контейнер за концентрат

2 помпа
5 манометър
8 електромагнитен вентил
11 датчик за налягането в ултрафилтратата в началото
14 ротаметър за концентрата
17 електромагнитен вентил за концентрата

3 топлообменник
6 мембранен модул
9 ултрафилтрат и съд за ултрафилтрат, създаващ пулсациите
12 датчик за налягането в ултрафилтратата в края
15 ротаметър за ултрафилтратата

Фигура 1

Експериментална инсталация за пулсация на налягането при ултрафилтрация

3 Резултати

Резултатите от тестовите примери с трансмембранно пулсиращо налягане са показани на фигура 2. Всички сигнали, получени от датчици 11, 12, 13 се въвеждат в компютърна система с помощта на аналогово-цифров преобразувател и могат да се следят на екрана на компютъра и да се записват. Променяха се следните характеристики на процеса: честоти, средна скорост u_0 , амплитуда и налягане. Наляганията на концентрата и ултрафилтратата (permeate pressure) при стационарен процес отговарят на случай 2.a и са отбелязани съответно с 1 и 2. Входното (захранващо) налягане е означено с 3 на същата фигура. При нестационарния процес резултатите са показани на фигура 2.b, като с позиции 1 и 3 са отбелязани съответно входните налягания за ултрафилтратата (permeate) и захранващото налягане (feed pressure). Аналогични резултати при различни захранващи налягания на ултрафилтратата и различни честоти са показани на фигури 2.c и 2.d.

Крайните резултати от експеримента и изследванията на други автори [3] са обобщени в таблица 1. В същата таблица са дадени резултати от числени изследвания на автора съгласно теорията за осцилиращия градиент на трансмембранното налягане [2], с отчитане на осмотичното налягане по експерименталната формула (1).

случай 1 – фигура 2.a						
$u_0 = 0.117ms^{-1}$; $Re = 1317$; работно налягане $\Delta p = 0.46MPa$						
Честота [Hz]	Амплитуда [cm] съответно за:		Трансмембранен поток $(v_w)_{max} [ms^{-1}] \times 10^{-5}$		Средно подобрение в потока $flux[\%]$	
	захранващо налягане	налягане в ултрафилтратата	експеримент	числено решение [2]	експеримент	числено решение [2]
-	-	-	0.5495	0.5401	-	-
Нестационарен случай с работно налягане $\Delta p = 0.35MPa$						
случай 2 – фигура 2.b						
$u_0 = 0.180ms^{-1}$; $Re = 2027$						
5	-	10.5	0.5895	0.5802	11.3	11.05
случай 3 – фигура 2.c						
$u_0 = 0.180ms^{-1}$; $Re = 2027$						
3	15.1	26.9	0.88893	0.880191	25.2	24.6
случай 4 – фигура 2.d						
$u_0 = 0.180ms^{-1}$; $Re = 2027$						
1.5	15.1	36.8	0.9504	0.902351	38.2	30.1
случай 5 – сравнение с [3]						
$u_0 = 0.91625cm \min^{-1}$; $Re = 1806$; $2R = 1.31cm$; работно налягане $\Delta p = 500 \text{ psig} \approx 5atm = 0.5MPa$ $c_0 = 0.1$; $\beta = 0.98$; $\Delta\pi = const$						
1 в захранващия поток	0.1867	-	-	-	средно подобрение [%]	
					[3]	числено решение [2]
					43.8	35.4

Таблица 1
Обобщени резултати

Резултатите в таблица 1 могат да се интерпретират като една възможност за подобряване на трансмембрания поток (добив на ултрафилтрат) при предварителна синхронизация на амплитудите и честотите на ултрафилтрат и концентрата. Този ефект се получава при предварително установено работно налягане, в случая - $\Delta p \approx 0.5 \text{ MPa}$. В резултат ефектът е около 35% според числените изследвания на автора и 44% според числените изследвания, извършени от S.Ilias и R.Govin [3].

Ясно е, че експерименталната формула (1) показва по-малък процент, съответно, добив на ултрафилтрат от теоретичните изследвания, извършени в [3]. Също следва да се имат пред вид дименсиите, използвани в таблицата, а именно, единиците на Δp са 500 psig , което е измерено в US единици за налягане (*pounds per square inch gage*) и отговаря приблизително на 5 atm или 0.5 MPa .

Резултатите от експерименталните изследвания са показани на следващата фигура 2 и илюстрират периодичните трептения в двата контура, което предизвиква повишена работна площ на диаграмата (p, t) и същевременно се наблюдава процес на обратно промиване - фиг. 2.d.

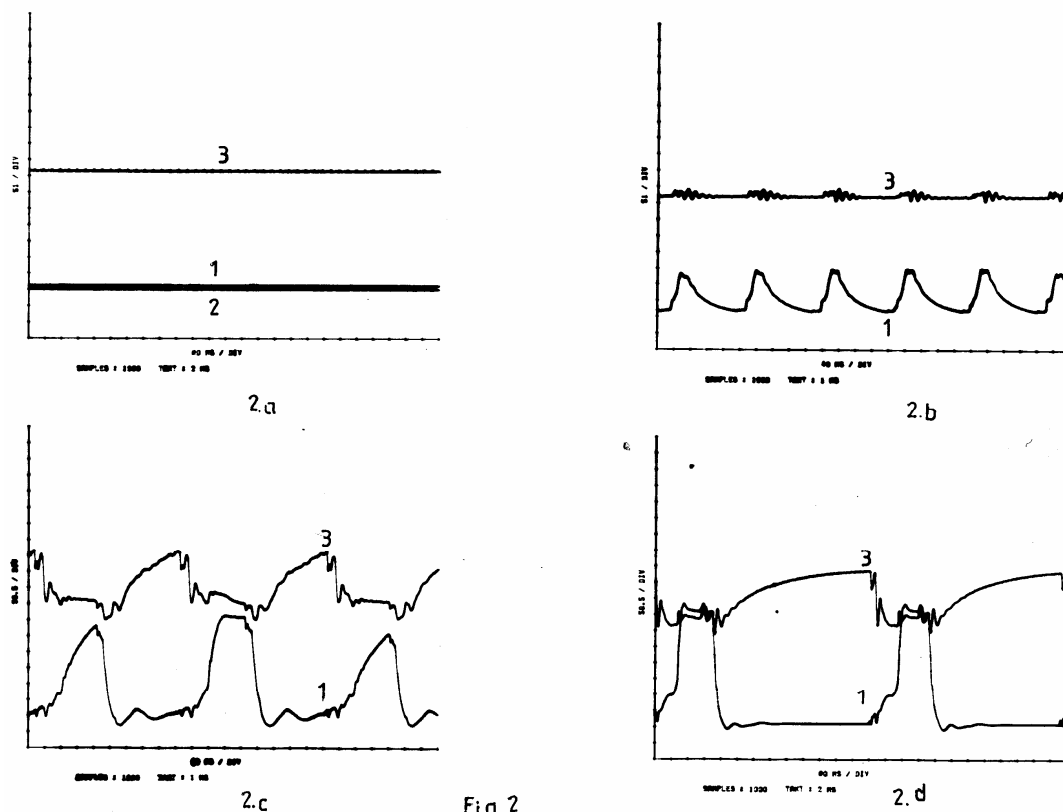


Fig. 2

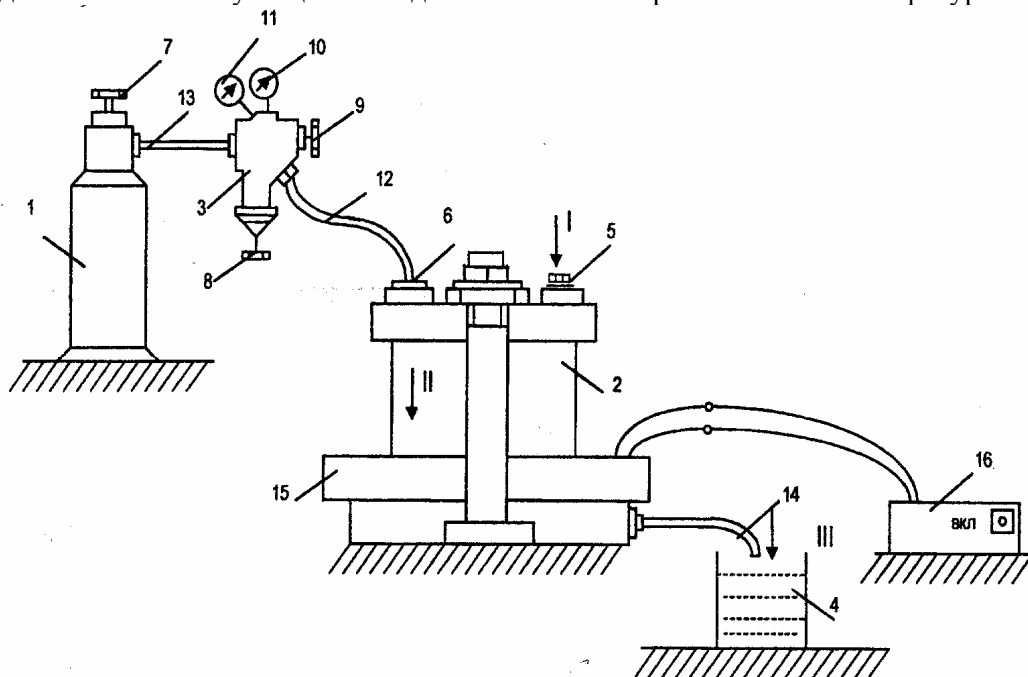
Фигура 2 Резултати от експерименталните изследвания в хидравлична лаборатория ЦНИЛХИ (УАСГ)

1 - налягане в концентрата; 2 - налягане в ултрафилтрат; 3 - повишено налягане в концентрата (захранващо налягане).

4 Изводи и препоръки

Резултатите от експерименталните изследвания показват, че при подходяща синхронизация на честотите може да се получи желаний ефект за отстраняване на поляризацията и да се постигне максимална производителност, т. е. добив на ултрафилтрат. Освен това синхронизацията изисква регулиране на контролните параметри при ултрафилтрацията чрез измерване на дебита с ротаметър и следене на честотите на пулсацията с електромагнитни вентили с цел синхронизация от двете страни на мембраната. Поради невъзможност за изследване на процесите, свързани с обратната осмоза по теоретичен път, те често пъти не се отчитат или се разглеждат по доста приблизителни начини [3].

Експерименталната формула (1), включена в теоретичния модел, описва по-точно ултрафилтрационните явления през промишлените мембрани. Транспортните процеси могат да бъдат значително по-ефективни при условие, че се отстрани концентрационната поляризация. За целта се използват и други начини- например методът, описан в [4]. По същество той се свежда до модификация на синхронизацията на честотите при ултрафилтрация и се прилага при преработка на промишлени отпадни води. В случая се изисква допълнителна електромагнитна обработка, която увеличава производителността на трансмембрания процес с около 20%. Използува се ефектът на допълнителните пулсации на водния поток в електромагнитно поле – фигура 3.



Фигура 3

Технологична схема на ултрафилтрация на промишлени отпадни води с магнитна обработка

1 - бутилка за високо налягане; 2 - баромембранен модул; 3 - редуцир-вентил; 4 - мерителен цилиндър; 5 - болтова капачка; 6 - шуцен; 7 - кран за подаване на високо налягане; 8,9 - кранове, свързани с редуцир-вентила; 10,11 - манометри; 12,13 - въздуховоди; 14 - шуцен; 15 - бобина; 16 - токоизправител; I - отпадна вода; II – ретентейт (концентрат); III – пермиейт (пречистена вода)

Обобщавайки казаното дотук, може да се заключи, че допълнителните разходи, свързани с вибратори от описаните видове са оправдани, като се вземат предвид съвременните технологични изисквания, свързани с качествата на водните ресурси. Икономическата оценка показва, че най-евтин е вариантът с електромагнитни вентили – фигура 1, докато схемата на фигура 3 осъществява процеса в зависимост от концентрацията на замърсителя и неговия дебит. Освен това процесът се прекъсва по време на магнитната обработка.

През последните няколко години се използват нови технологични схеми за идентификация на ултрафилтрацията при питейни водоснабдителни системи [5]. Тези схеми се базират на допълнителни модули, включващи процеси на обратна осмоза, допълнително третиране чрез озон и гранулиран активен въглерод. Производителността на питейните пречиствателни станции достига до 160 хил. м³ дневно в Англия и до 265 хил.м³ дневно в Съединените Щати. Пред вид на скъпото оборудване, свързано с въвеждането на тези нови технологии, те все още се намират в период на експериментални изследвания.

Използувана литература

- [1] Мавров, В.С., И. Добревски, А. Димовски.
Мембрани и мембранни процеси при налягане, София, Техника, 1994.
- [2] Мараджиева, М.Н., Контролни измервания на работни параметри на инсталация за ултрафилтрация, НИПС при УАСГ, София, 1991-1992.
- [3] S. Ilias, R.Govin., Analysis of Flow Pulsation in Cross Flow Ultrafiltration. Proceedings ICOM'90, Chicago 1990, vol. 1.
- [4] Стойчев, П., Ултрафилтрационно пречистване след електромагнитна обработка на води, замърсени с багрила, Юбилейна Научна Сесия на УАСГ, том 7, София, 2002.
- [5] Ultrafiltration System Warms to the Ultra Options, WATER 21, December 2002.