

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОЦЕСУ МЕМБРАННОЇ ОБРОБКИ РІДКИХ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПОЛІДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

Г. В. ДЕЙНИЧЕНКО, доктор технічних наук, професор;

З. О. МАЗНЯК, кандидат технічних наук, доцент;

В. В. ГУЗЕНКО, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
(Харківський державний університет харчування та торгівлі)

Анотація. У статті висвітлено питання про використання мембранних процесів під час обробки рідких харчових високомолекулярних полідисперсних систем. Проаналізовано результати досліджень тривалості процесу ультрафільтрації за дистильованою водою, пектиновим екстрактом і білково-вуглеводною молочною сировиною, а також робочих характеристик ультрафільтраційних мембран. Представлені перспективні напрями для проведення процесу ультрафільтрації харчових високомолекулярних полідисперсних систем.

Ключові слова: сировина, молоко, пектин, процес, мембрана, ультрафільтрація, концентрування, вода.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Мембранні процеси обробки (зокрема ультрафільтрація) рідких харчових високомолекулярних полідисперсних систем є найбільш передовими технологіями сучасності. Проте основним чинником, що стримує широке впровадження в промисловість України ультрафільтрації (УФ), є відсутність відомостей про нові розробки вітчизняних УФ-мембран і технічні характеристики сучасних напівпроникних мембран виробництва країн ближнього зарубіжжя. Тому необхідно провести додаткові наукові дослідження і підготувати на їх основі практичні рекомендації, які сприятимуть розвитку мембранної технології на підприємствах агропромислового комплексу нашої країни [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З усіх існуючих мембранних процесів обробки для концентрування рідких харчових високомолекулярних полідисперсних систем (РВПС) більшою мірою підходить ультрафільтрація. УФ-концентрування відрізняється високою економічністю, низькою енергоємністю, зберігає нативні властивості компо-

нентів сировини, що обробляється, очищує її від низькомолекулярних речовин, бактерій, зберігає постійне значення рН [3].

Такі рідкі високомолекулярні полідисперсні системи, як білково-вуглеводна молочно сировина (знежирене молоко, скотини і сироватка з-під кислого сиру), а також пектинові екстракти, наразі широко використовуються як об'єкт баромембранного поділу. Продукти УФ-обробки цих РВПС володіють чітко визначеним набором функціональних властивостей і мають широкий спектр промислового використання. Тому вибір цієї сировини як предмета майбутнього дослідження є обґрунтованим і доцільним [4].

Формування цілей статті. Метою статті є дослідження тривалості процесу мембранної обробки рідких високомолекулярних полідисперсних систем і визначення робочих характеристик ультрафільтраційних мембран.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою проведення та подальшого удосконалення процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів і білково-вуглеводної молочної сировини із застосуванням напів-

проникних мембран ПАН-50 і ПАН-100 необхідно провести аналіз попередніх досліджень продуктивності УФ-мембран.

На першому етапі було досліджено характеристики напівпроникних мембран ПАН-50 і ПАН-100, які є мембранами другого покоління на основі співполімерів акрилонітрилу.

Відомо, що одночасно з тривалістю процесу УФ вагоме значення має температура РВПС, що розділяється. Визначення раціональних значень температури у процесі УФ дозволяє забезпечити максимальну продуктивність мембран і одночасно зберегти властивості високомолекулярних речовин, що містяться в РВПС, а також визначити температурні режими, які не впливають на структуру полімеру, з якого виготовлена УФ-мембрана.

Результати досліджень впливу температури та тривалості процесу УФ на початкову

продуктивність УФ-мембран типу ПАН наведено на рис 1. З даних рис. 1 видно, що продуктивність мембран прямо пропорційна збільшенню температури системи, що розділяється. Так, для УФ-мембрани ПАН-50 підвищення температури РВПС із 20 до 50 °С призводить до збільшення продуктивності в 1,6...1,8 раза. Збільшення температури процесу до 70 °С підвищує продуктивність мембрани ПАН-50 у 1,8...2,0 рази. Для мембрани ПАН-100 збільшення початкової продуктивності становить відповідно 1,4...1,6 раза і 1,6...1,7 раза. При цьому графічні залежності свідчать, що початкова продуктивність мембран із підвищенням температури збільшується, але тенденція її зниження протягом перших $(90...120) \cdot 60^{-1}$ с залишається незмінною. Таке положення виникає внаслідок ущільнення макропористої структури УФ-мембран.

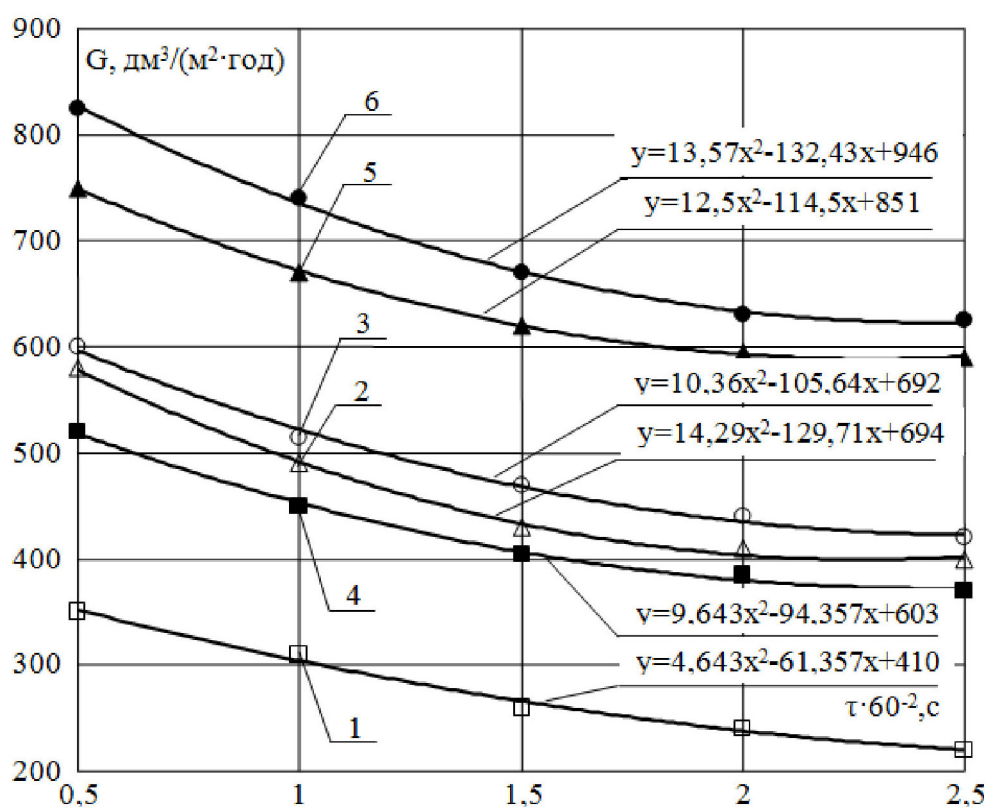


Рис. 1. Залежність продуктивності УФ-мембран ПАН-50 (1, 2, 3) і ПАН-100 (4, 5, 6) від тривалості процесу УФ дистильованої води за тиску фільтрації 0,25 МПа і температури 20 °С (1,4), 50 °С (2,5), 70 °С (3,6)

На основі одержаних експериментальних даних рис. 1 було визначено, що підвищення температури в інтервалі 10...70 °С призводить до збільшення продуктивності мембран. При цьому температура 70 °С є критичною для досліджуваних УФ-мембран, оскільки її перевищення призводить до незворотних змін у структурі мембрани, тобто до явища «відпалу». Тому найбільш раціональний робочий інтервал температур для проведення процесу ультрафільтрації РВПС з використанням дослідних УФ-мембран – 50...60 °С.

Другим етапом дослідження, було визначення характеристик процесу мембранної обробки РВПС (пектинових екстрактів та білково-вуглеводної молочної сировини) в тупиковому режимі та режимі інтенсифікації (вібраційним перемішуванням та барботуванням вихідної сировини, що обробляється).

Результати дослідження з визначення продуктивності УФ-мембран пектинових екстрактів від тривалості процесу УФ-концентрування за визначених раніше значень температури (t) та тиску (P) наведено на рис. 2 [5].

З даних одержаної залежності видно, що характер кривих залежностей має чітко виражену відмінність. За тупикового режиму протягом перших 0,5...2,0 год відбувається різке зменшення продуктивності напівпроникних мембран. Подальша УФ-обробка не призводить до істотного зниження продуктивності мембран. У режимі з вібраційним перемішуванням спостерігається дещо інший характер зміни продуктивності мембран залежно від тривалості процесу ультрафільтрації пектинових екстрактів. При цьому також зменшується продуктивність обох типів мембран, але в значно меншій мірі.

Зниження продуктивності напівпроникних мембран зі збільшенням тривалості процесу можна пояснити інтенсивним утворенням гель-шару високомолекулярних речовин на їх поверхні, що значно уповільнює процес УФ-концентрування ПЕ. У режимі з вібраційним перемішуванням повільніший характер зменшення продуктивності УФ-мембран обумовлений впливом вібраційної турбулізації на товщину поляризаційного

осаду, що утворюється на їх селективній поверхні.

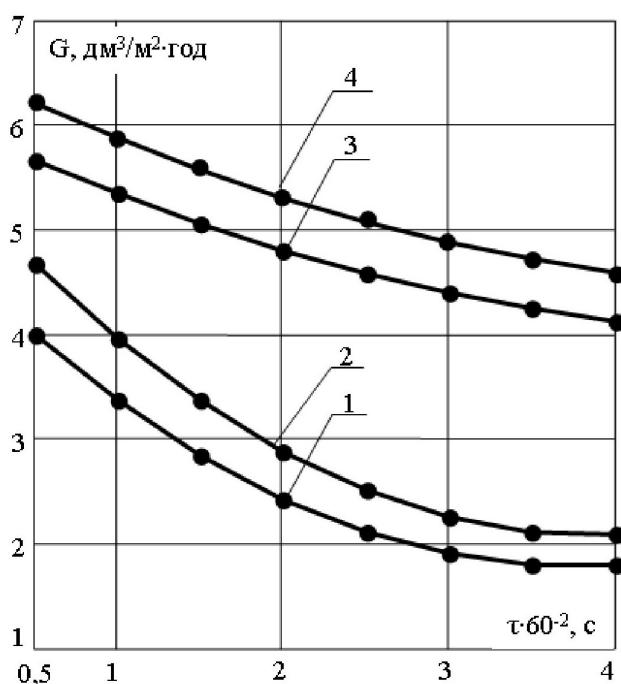


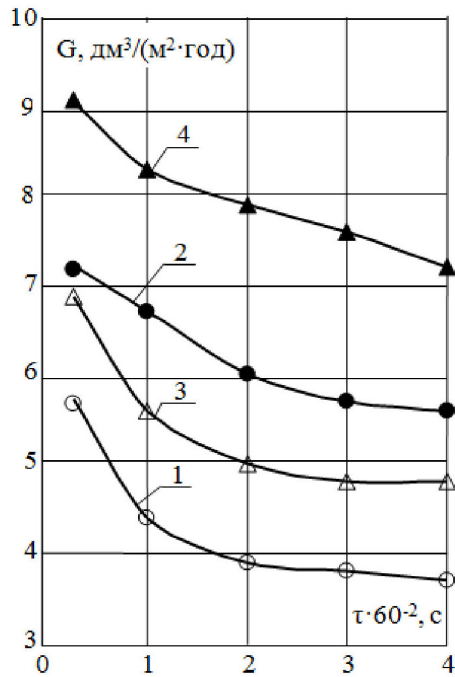
Рис. 2. Залежність продуктивності ультрафільтраційних мембран типу ПАН від тривалості процесу УФ-концентрування пектинових екстрактів за температури 50°C і тиску 0,4 МПа:

- 1, 3 – мембрана ПАН-50 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно;
- 2, 4 – мембрана ПАН-100 у тупиковому режимі та в режимі з вібраційним перемішуванням відповідно

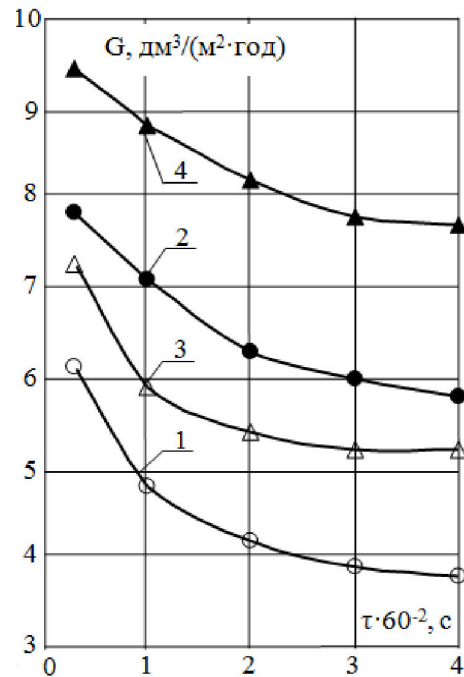
Далі проводилися дослідження з визначення впливу тривалості процесу УФ-концентрування білково-вуглеводної молочної сировини (БВМС) на продуктивність напівпроникних мембран типу ПАН за визначених раніше значень температури (t), тиску процесу (P), частоти (n) та тиску (P_1) барботування [6]. Результати досліджень наведено на рис. 3. З графічних залежностей випливає, що в тупиковому режимі ультрафільтрації БВМС протягом перших 1,5...2,0 год процесу відбувається різке зниження продуктивності дослідних мембран.

Так, за УФ сколотин (рис. 3 а) через 2 год проведення процесу продуктивність мембран ПАН-50 зменшується із 5,7 дм³/(м²·год) до 4,0 дм³/(м²·год), тобто на 1,7 дм³/(м²·год); а продуктивність мембран ПАН-100 падає з 6,9 дм³/(м²·год) та 5,0 дм³/(м²·год), тобто на

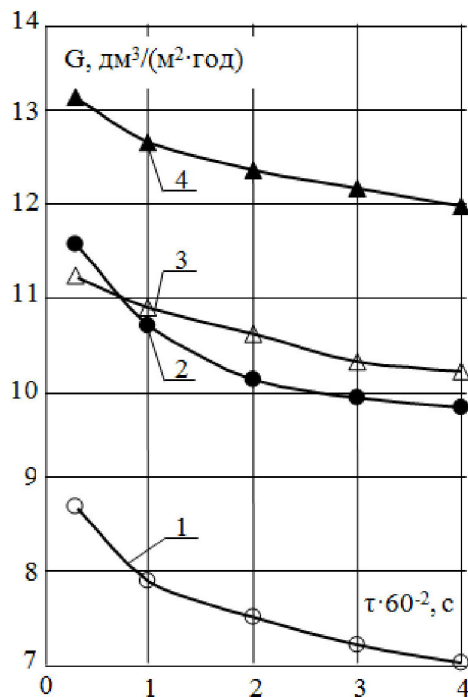
1,9 дм³/(м²·год). На наш погляд, це можна пояснити інтенсивним утворенням поляризаційного шару високомолекулярних речовин на поверхні мембрани і блокуванням пор у її пористому шарі, унаслідок чого і відбувається різке зниження продуктивності мембрани.



а) сколотини



б) знежирене молоко



в) сироватка з-під кислого сиру

Рис. 3. Залежність продуктивності (G) УФ-мембран ПАН-50 (1, 2) і ПАН-100 (3, 4) від тривалості (τ) мембранної обробки білково-вуглеводної молочної сировини в тупиковому режимі (1, 3) і в режимі барботування (2, 4) за P = 0,4 МПа; n = 0,15 хв-1; P1 = 0,58 МПа; t = 20 °C

За подальшого проведення процесу УФ продуктивність знижується монотонно і несуттєво. Так, через 4 год протікання процесу УФ продуктивність мембрани ПАН-50 становить $3,7 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, а мембрани ПАН-100 – $4,8 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, тобто ΔG у наступні 2 год УФ становить відповідно $0,3 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ та $0,2 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Це можна пояснити впливом на продуктивність мембран поляризаційного шару, що утворився.

Аналогічна картина спостерігається за УФ у тупиковому режимі двох інших видів БВМС – знежиреного молока (рис. 3 б) і сироватки з-під кислого сиру (рис. 3 в). Зниження продуктивності протягом перших 2 год процесу яскраво виражено в ході УФ знежиреного молока – ΔG становить для мембрани ПАН-50 – $2,0 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, для мембрани ПАН-100 – $2,1 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Надалі зниження продуктивності продовжує уповільнюватися і становить в останні 2 год – $\Delta G = 0,2 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ для мембрани ПАН-50 і $\Delta G = 0,1 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ для мембрани ПАН-100. За УФ-обробки сироватки з-під кислого молока зниження продуктивності мембран відбувається в перші 2 год процесу не так різко, порівняно з двома попередніми випадками. Так, значення ΔG для мембрани ПАН-100 за УФ сироватки становить $1,2 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, а для мембрани ПАН-50 $1,4 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. На нашу думку, це пояснюється значно меншим умістом у сироватці високомолекулярних речовин – білка і жиру порівняно зі склотинами і знежиреним молоком, отже, утворення гель-шару на поверхні напівпроникних мембран відбувається повільніше.

Дещо інший характер зміни продуктивності дослідних УФ-мембран від тривалості процесу ультрафільтрації спостерігається в режимі барботування. При цьому також відбувається зменшення продуктивності, але значно меншою мірою, крім того, це зменшення відбувається монотонно, без різких стрибків. Сумарне зниження продуктивності мембрани ПАН-50 за УФ склотин становить $1,4 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, за УФ знежиреного молока – $2,0 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, за УФ сироватки з-під кислого сиру – $1,6 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Для мембрани ПАН-100 ці значення відповідно до-

рівнюють $1,9 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, $1,5 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ і $1,1 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Більш повільний характер зниження продуктивності УФ-мембран, як ми вважаємо, зумовлений впливом барботування РВПС, що знижує рівень утворення поляризаційного шару високомолекулярних речовин на поверхні мембран.

Отже, дослідження УФ білково-вуглеводної молочної сировини показали, що протягом перших двох годин УФ-обробки пермеат утворюється інтенсивно, проте по мірі збільшення тривалості процесу УФ ця інтенсивність знижується, що особливо помітно протягом останньої години ультрафільтрації. При цьому барботування РВПС, що розділяються, призводить до збільшення виходу пермеата порівняно з тупиковим режимом за ультрафільтрації склотин – на 34...40 %, при ультрафільтрації сирної сироватки – на 44...46 %.

Висновки. Отже, за результатами досліджень були отримані відомості про робочі характеристики УФ-мембран типу ПАН. Доведено, що найбільш раціональними режимами експлуатації УФ-мембран є: температура системи, що розділяється, – $50...60 \text{ }^\circ\text{C}$, тривалість процесу УФ – $(1,5...2,0) \cdot 60^2 \text{ с}$. Визначені вище режими експлуатації УФ-мембран можуть бути застосовані для подальшого УФ-концентрування будь-якої білково-вуглеводної молочної сировини.

Отримані результати можуть бути використані в разі дослідження інших параметрів процесу ультрафільтрації рідких високомолекулярних полідисперсних систем, що дозволить запровадити одержані результати у виробництво харчових продуктів на об'єктах із обробки молочної сировини харчової промисловості України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дейниченко Г. В. Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, І. В. Золотухина. – Харків : Факт, 2008. – 208 с.

Dejnichenko G. V., Maznyak Z. O., Zolotuhina I. V. *Ul'trafil'tratsiyni protsesy ta tekhnolohiyi ratsional'noyi pererobky bilko-*

- vo-vuhlevodnoyi molochnoyi syrovyny [Multifiltering processes and technology rational processing of Ultrafiltration Protein-Carbohydrate Raw Milk]. Kharkiv: Fakt, 2008, 208 p. [in Ukrainian].
- Мирончук В. Г. Мембрані процеси в технології комплексної переробки сироватки : [монографія] / В. Г. Мирончук, Ю. Г. Змієвський. – Київ : НУХТ, 2013. – 153 с.
My`ronchuk V. G., Zmiyevs`ky`j Yu. G. *Membrani procesy` v texnologiyi kompleksnoyi pererobky` sy`rovatky`* [Membrane processes in technology of whey processing complex]., Kyiv: NUXT, 153 p. [in Ukrainian].
 - Брык М. Т. Мембранная технология в пищевой промышленности / М. Т. Брык, В. Н. Голубев, А. П. Чагаровский. – Київ : Урожай, 1991. – 224 с.
Bryk M. T., Golubev V. N., Chagarovskij A. P. *Membrannaja tehnologija v pishhevoj promyshlennost* [Membrane technology in the food industry]. Kyev: Urozhaj, 1991, 224 p. [in Russian].
 - Свитцов А. А. Введение в мембранную технологию / А. А. Свитцов. – Москва : Дели принт, 2007. – 208 с.
Svitcov A. A. *Vvedenie v membrannuju tehnologiju* [Introduction to membrane technology]. Moscow: Deli print, 2007. 208 p. [in Russian].
 - Гузенко В. В. Удосконалення процесу виробництва пектинового концентрата та його апаратне оформлення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В. В. Гузенко. – Харків, 2013. – 18 с.
Guzennko V. V. *Udoskonalennya protsesu vyrobnytstva pektynovoho kontsentrata ta yoho aparaturne oformlennya: avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk* / В. В. Гузенко. – Харків, 2013. – 18 с.
 - Дейниченко Г. В. Дослідження робочих параметрів напівпроникних ультрафільтраційних мембран / Г. В. Дейниченко, З. О. Мазняк, О. В. Гафуров // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Харків : ХДУХТ, 2014. – Вип. 2 (18). – С. 58–64.
Dejnichenko G. V., Maznyak Z. O., Gafurov O. V. *Progresy`vni texnika ta texnologiyi xarchovy`x vy`robny`cztv restorannogo gospodarstva i torgivli* : zb. nauk. pracz` [Progressive technique and technology of food production and trade of restaurants]. Kharkiv: State University of Food Technology and Trade, Kharkiv, Vol. 2 (18), 2014, pp. 58–64.

Г. В. Дейниченко, доктор технических наук, профессор; **З. А. Мазняк**, кандидат технических наук, доцент; **В. В. Гузенко**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (Харьковский государственный университет питания и торговли). **Исследование продолжительности процесса мембранной обработки жидких высокомолекулярных полидисперсных систем.**

Аннотация. В статье освещен вопрос использования мембранных процессов при обработке жидких пищевых высокомолекулярных систем. Представлен анализ результатов исследований продолжительности процесса ультрафильтрации по дистиллированной воде, пектиновым экстрактам, а также рабочих характеристик ультрафильтрационных мембран. Представлены перспективные пути для проведения процесса ультрафильтрации жидких высокомолекулярных полидисперсных систем.

Ключевые слова: сырье, молоко, пектин процесс, мембрана, обработка, ультрафильтрация, концентрирование, вода.

G. Deynichenko, Dc. Tech. Sci., Professor; **Z. Mazniak**, Cand. Tech. Sci., Docent; **V. Guzenko**, Cand. Tech. Sci., Senior Research Fellow (Kharkov State University of Food Technology and Trade).

Research duration of membrane treatment of liquid high molecular polydisperse systems.

Summary. The article is devoted to the analysis of the processes of membrane processing of liquid high molecular polydisperse systems, and to the possibility of introducing the membrane processes while skimmed food liquids of different origin processing for securing high quality production. Also the resource and energy effectiveness of manufacture. The theoretical studies of the importance of applying the processes of membrane processing (ultrafiltration) in the technologies of liquid high molecular polydisperse systems processing are presented. The characteristics of experimental researches of duration features of the ultrafiltration process of food liquids concentration – distilled water, pectin extracts and albumen-carbohydrate milk raw material – are introduced.

Keywords: raw material, milk, pectin, process, membrane, treatment, ultrafiltration, concentration, water.