ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 2

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

МЕМБРАННЫЕ И НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ МАСЕЛ: СОВРЕМЕННЫЙ ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

К.С.Рахмонов
Бухарский государственный технический университет. Бухара. Узбекистан.
Б.Х. Бобоева
Бухарский государственный технический университет. Бухара. Узбекистан.
Д.Х Бозоров.
Бухарский государственный технический университет. Бухара. Узбекистан.

Аннотация. В статье проанализированы научные основы и промышленные возможности мембранных технологий очистки растительных масел, прежде всего ультрафильтрации, нанофильтрации и нанофильтрации, стойкой к органическим растворителям. Показано, что мембранные процессы позволяют удалять фосфолипиды, коллоиды, пигменты, свободные жирные кислоты и продукты окисления при пониженных температурах и с меньшим расходом химических реагентов. По данным литературы, удерживание фосфолипидов обычно составляет 90-99 %, снижение содержания пигментов - 85-98 %, удерживание свободных жирных кислот - 60-85 %, а по пероксидам - 70-90 %. Ключевыми ограничениями остаются концентрационная поляризация, fouling, химическая нестойкость и компромисс между селективностью и проницаемостью. На основе технологической схемы, аналитической таблицы и графиков обоснованы преимущества мембранной очистки и условия ее внедрения в производство.

Ключевые слова: мембранная фильтрация, нанофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация в органических растворителях, растительное масло, fouling, селективность, поток.

Annotatsiya. Maqolada o‘simlik moylarini tozalashning membrana texnologiyalari, eng avvalo, ultrafiltratsiya, nanofiltratsiya va organik erituvchilarga chidamli nanofiltratsiyaning ilmiy asoslari va sanoat imkoniyatlari tahlilAdabiyot ma’lumotlariga ko‘ra, fosfolipidlarning ushlanib qolishi odatda 90-99 foizni, pigmentlar miqdorining kamayishi 85-98 foizni, erkin yog‘ kislotalarining ushlanib qolishi 60-85 foizni, peroksidlar bo‘yicha esa 70-90 foizni tashkil etadi.t ma’lumotlariga ko‘ra, fosfolipidlarning ushlanib qolishi odatda 90-99 foizni, pigmentlar miqdorining kamayishi 85-98 foizni, erkin yog‘ kislotalarining ushlanib qolishi 60-85 foizni, peroksidlar bo‘yicha esa 70-90 foizni tashkil etadi. Asosiy cheklovlar sifatida kontsentratsion qutblanish,

ISSN 3030-3907

ifloslanish, kimyoviy beqarorlik va selektivlik bilan o‘tkazuvchanlik o‘rtasidagi muvozanat saqlanib qolmoqda. Texnologik sxema, tahliliy jadval va grafiklar asosida membranali tozalashning afzalliklari va uni ishlab chiqarishga joriy etish shartlari asoslab berildi.

Kalit so‘zlar: membranali filtrlash, nanofiltrlash, ultrafiltrlash, organik erituvchilardagi nanofiltrlash, o‘simlik moyi, ifloslanish, selektivlik, oqim.

Annotation. The article analyzes the scientific foundations and industrial possibilities of membrane technologies for the purification of vegetable oils, primarily ultrafiltration, nanofiltration and nanofiltration resistant to organic solvents. It has been shown that membrane processes make it possible to remove phospholipids, colloids, pigments, free fatty acids and oxidation products at low temperatures and with less consumption of chemicals. According to the literature, phospholipid retention is usually 90-99%, pigment reduction is 85-98%, free fatty acid retention is 60-85%, and peroxides are 70-90%. The key limitations remain concentration polarization, fouling, chemical instability, and the trade-off between selectivity and permeability. Based on the technological scheme, analytical table and graphs, the advantages of membrane purification and the conditions for its introduction into production are substantiated.

Keywords: membrane filtration, nanofiltration, ultrafiltration, nanofiltration in organic solvents, vegetable oil, fouling, selectivity, flow.

ВВЕДЕНИЕ.

В масложировой промышленности задача глубокой очистки сырья напрямую связана с технологической эффективностью, безопасностью готового продукта и экологической нагрузкой. Традиционные схемы рафинации - гидратация, нейтрализация, адсорбционная очистка и дезодорация - эффективны, но обычно требуют повышенных температур, нескольких стадий и сопровождаются заметными потерями масла.

Поэтому в последние годы мембранные процессы вновь рассматриваются в пищевых технологиях как платформа разделения с низкой термической нагрузкой. В тематическом обзоре 2022 года мембранная технология показана как перспективное решение для стадий degumming, dewaxing, decolorization и deacidification растительных масел; при этом подчеркивается, что разбавление растворителем повышает поток, однако устойчивость мембранного материала к растворителю остается решающим фактором.

Обзоры 2024-2025 годов демонстрируют новые тенденции, связанные с модификацией мембран, антифоулинговыми покрытиями, заряженными селективными слоями и нанодобавками, направленными на улучшение баланса между селективностью и проницаемостью. В связи с этим

ISSN 3030-3907

систематизация сведений по мембранной очистке масел в структуре IMRAD, соответствующей требованиям ОАК, является актуальной.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

Работа выполнена как аналитический обзор. В качестве основных источников использованы статьи 2006-2026 годов с международных научных платформ Sciencedirect, MDPI, Frontiers, Springer, J. Am. Oil Chem. Soc., Food and Bioproducts Processing и других. Критерии отбора: (1) прямая связь с мембранной очисткой или стадиями degumming/deacidification/desolventizing; (2) наличие технологических параметров или показателей эффективности; (3) возможность применения к пищевым и масложировым системам.

В ходе анализа были выделены следующие показатели: тип мембраны, состав материала, размер пор или MWCO, рабочее давление, целевая группа загрязнителей, селективность и факторы fouling. Данные сведены в сравнительную таблицу, после чего построены графики по типичным рабочим диапазонам и эффективности разделения.

В качестве методологического подхода использованы описательно-статистическое обобщение, сравнительный анализ и технологическая интерпретация. Поскольку исследование не является экспериментальным, а направлено на систематизацию зарубежных результатов, выводы трактуются как ориентирующие рекомендации для промышленного внедрения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Физико-химическая сущность мембранного разделения основана на различиях в молекулярных размерах, форме, заряде, растворимости в среде и взаимодействии с поверхностью мембраны. Для ультрафильтрации основным механизмом является sieving, тогда как для нанофильтрации и OSN существенную роль играют растворение-диффузия и доннановское ограничение.

Сопоставление литературы показывает, что для пищевых систем в модифицированных мембранах доминируют три тенденции: повышение гидрофильности, введение наночастиц и химическое упрочнение тонкого селективного слоя. В обзоре 2024 года модифицированные мембраны для пищевого сектора оценены как практически значимое направление, особенно в аспекте снижения fouling и увеличения срока службы.

На практике очистки масел мембраны в первую очередь эффективны для отделения фосфолипидов и коллоидов. Сравнение классических и современных источников показывает, что на стадии degumming ультрафильтрация часто обеспечивает удерживание фосфолипидов выше 90

ISSN 3030-3907

%; в ряде систем показатель достигает 95-99 %. Особенно устойчивые результаты наблюдаются при предварительном нагреве сырого масла или мисцеллы, снижении вязкости и оптимизации гидродинамики потока.

Нанофильтрация полезна для удаления низкомолекулярных окрашивающих компонентов, продуктов окисления и части свободных жирных кислот. В рассмотренных источниках приводятся диапазоны 85-98 % для пигментов, 70-90 % для пероксидов и 60-85 % для свободных жирных кислот. Эти показатели существенно зависят от химии мембраны, природы растворителя и режима давление-температура.

В статье Food and Bioproducts Processing 2024 года показано, что мембранная предварительная обработка сырой мисцеллы необходима перед OSN-десолвентизацией. Это важно как для сохранения высокоценной триглицеридной фракции, так и для стабилизации последующего этапа регенерации растворителя.

С технологической точки зрения NF-мембраны обычно имеют размер пор 0.5-2.0 нм или MWCO 200-1000 Да и работают при давлении 5-40 бар. Поэтому их рассматривают как промежуточную платформу между UF и RO. Именно эта промежуточность позволяет в масложировых системах не полностью, но управляемо задерживать окрашенные и окисленные низкомолекулярные компоненты.

Однако основным узким местом процесса остается fouling. В современном обзоре 2025 года три ключевых ограничения нанофильтрационных мембран выделены отдельно: компромисс между селективностью и потоком, fouling и химическая нестойкость. Для масляных систем особенно характерны органический fouling, концентрационная поляризация и поверхностная адсорбция.

Для промышленного внедрения целесообразна комбинированная схема: грубая механическая очистка или гидратация, далее UF для отделения фосфолипидов и коллоидов, затем NF или OSN для снижения содержания пигментов, FFA и продуктов окисления. Такая последовательность снижает нагрузку на мембраны и повышает суммарную селективность.

С аналитической точки зрения преимущество мембранной очистки состоит в снижении теплового воздействия, сохранении части полезных минорных компонентов и уменьшении количества отходов - soapstock, отработанного адсорбента и загрязненных стоков. Вместе с тем для каждого вида масла - хлопкового, подсолнечного, рапсового, соевого - требуется индивидуальный подбор растворителя, температуры и материала мембраны.

ISSN 3030-3907

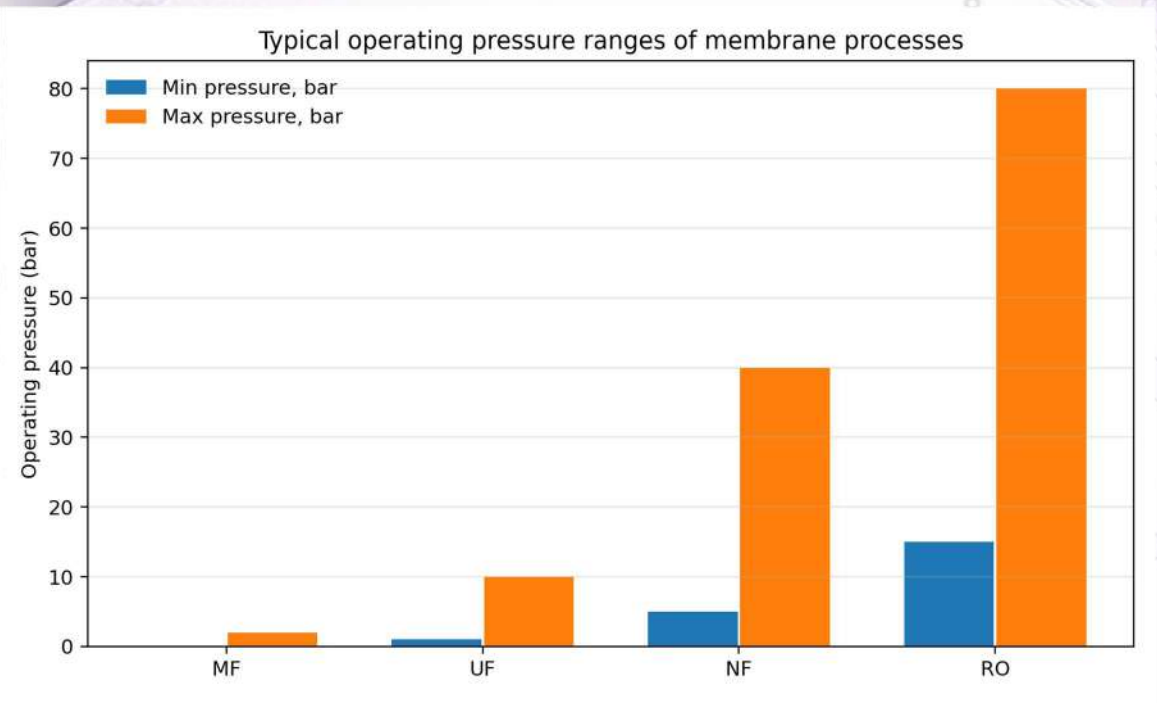


Рисунок 1. Типичные диапазоны рабочего давления мембранных процессов

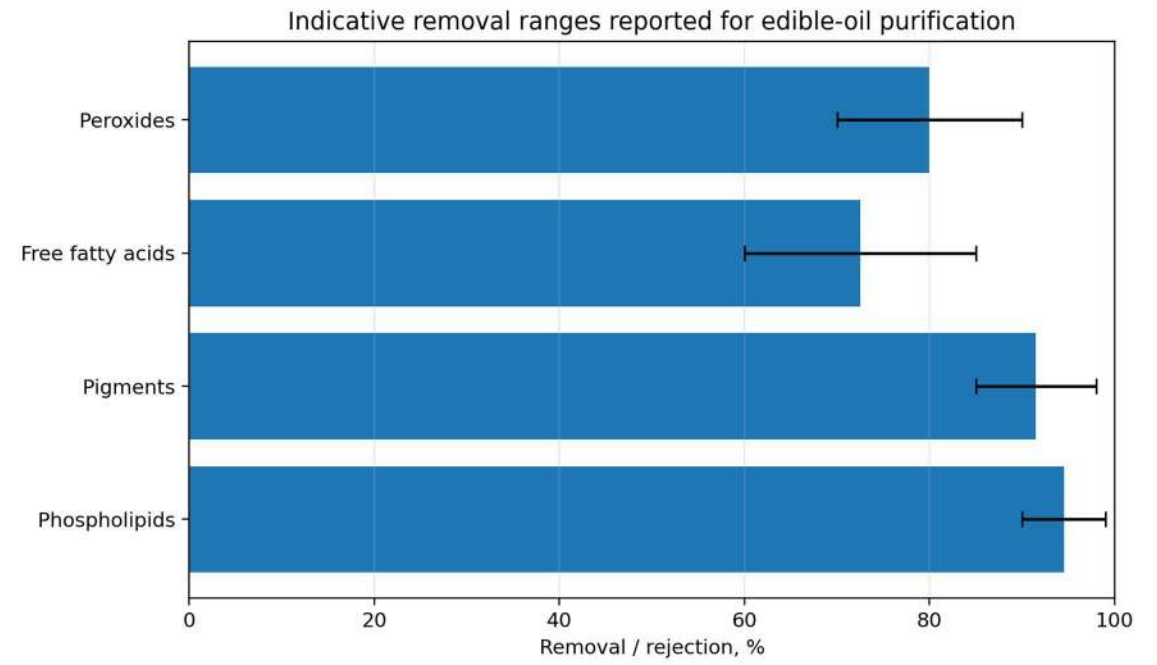


Рисунок 2. Диапазоны эффективности разделения, приведенные в литературе

ISSN 3030-3907

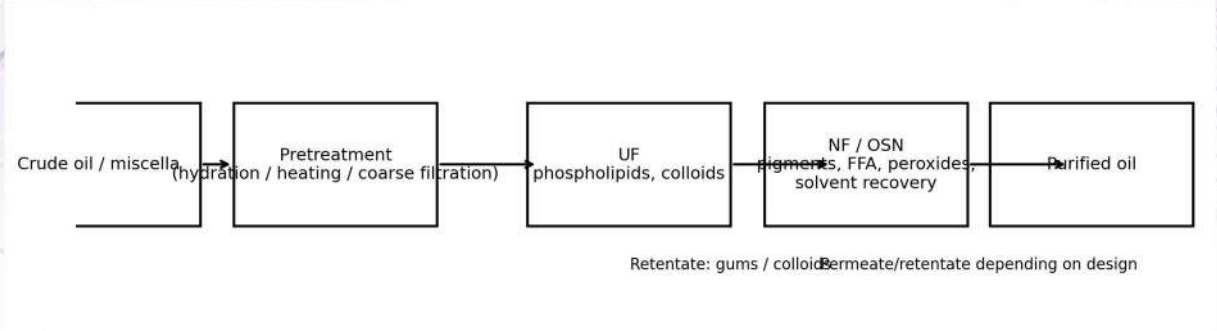


Рисунок 3. Рекомендуемая многостадийная схема мембранной очистки масел

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Анализ зарубежных источников показывает, что мембранные и нанофильтрационные технологии являются перспективным направлением глубокой очистки масел с меньшим расходом энергии и реагентов по сравнению с традиционной рафинацией.

Наиболее надежные практические результаты получены при отделении фосфолипидов и коллоидов методом ультрафильтрации; нанофильтрация эффективна для снижения содержания пигментов, продуктов окисления и части свободных жирных кислот.

Для промышленного внедрения критически важны три условия: химическая стойкость мембраны, стратегия управления fouling и многоступенчатая предварительная обработка. Следовательно, дальнейшие исследования должны быть направлены на solvent-resistant композитные мембраны, антифоулинговые модификации и оценку длительной работы в реальных масложировых системах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБСУЖДЕНИЕ.

Термодинамические и гидродинамические факторы также напрямую влияют на результат мембранного разделения. В масляной среде с высокой вязкостью ламинаризация потока способствует утолщению приграничного слоя у поверхности мембраны, что приводит к концентрационной поляризации и кажущемуся снижению потока. Поэтому в промышленных модулях предпочтительны spiral-wound, tubular и cross-flow режимы.

Повышение температуры обычно уменьшает вязкость и увеличивает поток, но одновременно может ускорять окислительные процессы. Поэтому мембранная очистка масел проектируется в логике «мягкого термического режима»: улучшение качества достигается не нагревом как таковым, а селективным мембранным транспортом.

Современные исследования по NF и OSN показывают, что выбор между полиамидными, полисульфоновыми, PVDF и solvent-resistant композитными слоями должен основываться не только на селективности, но

ISSN 3030-3907

и на химической совместимости, возможности промывки и механической устойчивости. Особенно в системах мисцеллы с гексаном, этанолом или смешанными растворителями необходимо учитывать риск набухания и структурной деградации.

С экологической точки зрения мембранные технологии способны снижать нагрузку на сточные воды, уменьшать расход адсорбентов и контролировать образование soapstock. Это соответствует принципам ESG и ресурсосберегающего производства. Однако такие преимущества экономически оправданы лишь при достаточном ресурсе мембранных модулей и оптимизированных CIP-режимах.

В экономических оценках мембрану часто считают дорогим стартовым оборудованием, но в полной себестоимости необходимо учитывать также тепловую энергию, реагенты, потери нейтрального масла и обращение с отходами. Поэтому корректная оценка мембранной технологии должна выполняться не по отдельной операции, а по всей цепи рафинации с использованием life-cycle подхода.

Зарубежная практика показывает, что высокие лабораторные показатели селективности при масштабировании могут снижаться из-за неравномерного распределения потока между модулями, изменчивости состава сырья и удлинения интервалов очистки. Следовательно, дальнейшие исследования должны быть направлены не только на создание новых мембран, но и на вопросы масштабирования, мониторинга и цифрового управления процессом.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.

Для хлопкового и подсолнечного масел практично сочетать предварительную гидратацию или мягкий водный pretreatment с UF-модулем, а затем подключать NF, если содержание пигментов и продуктов окисления остается высоким. Для соевых и рапсовых мисцелл более перспективны схемы с OSN в органическом растворителе.

В системе мониторинга необходимо контролировать как минимум следующие индикаторы: поток пермеата, падение давления, кислотное число, содержание фосфора, перекисное число, цветовой показатель и flux recovery после CIP. Именно эти параметры позволяют объективно оценивать эффективность мембранного модуля и уровень загрязнения.

Ключевой методический вывод состоит в том, что мембранная технология не является универсальным «одностадийным» решением для очистки масел; наилучший результат она дает в интеграции с pretreatment-стадиями. Такая интеграция повышает селективность, снижает fouling и уменьшает эксплуатационные риски.

ISSN 3030-3907

Таблица 2.

Сравнительная оценка традиционных и мембранных методов

Показатель	Традиционная рафинация	Мембранный подход	Комментарий
Температурная нагрузка	Высокая	Относительно низкая	Ниже риск термодеструкции
Химические реагенты	Больше	Меньше	CIP оценивается отдельно
Потери нейтрального масла	Средние-высокие	Потенциально ниже	Зависит от сырья и режима
Основная проблема	Soapstock и отработанный адсорбент	Fouling и стоимость модуля	Требуется интеграция процесса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manjula, S., & Subramanian, R. Membrane technology in degumming, dewaxing, deacidifying, and decolorizing edible oils. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2006, 46(7), 569-592.
2. Koseoglu, S. S., & Engelgau, D. E. Membrane applications and research in the edible oil industry: an assessment. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1990, 67(4), 239-249.
3. Rashid, K. T., Shihab, J. M., & Toma, M. A. A review on membrane technology application for vegetable oil purification processes. International Journal of Food Engineering, 2022.
4. do Nascimento, N. N., Paraíso, C. M., Molina, L. C. A., Dzyazko, Y. S., Bergamasco, R., & Vieira, A. M. S. Innovative Trends in Modified Membranes: A Mini Review of Applications and Challenges in the Food Sector. Membranes, 2024, 14(10), Article 209, 25 p.
5. Al Kholif, M., Ali, M. A., Hilal, N., et al. Comprehensive updates on recent advances, fouling mechanisms and mitigation strategies for nanofiltration membranes. Environmental Technology & Innovation, 2024.
6. Subramanian, R., et al. Integrated membrane process for pretreating and desolventizing crude miscella for vegetable oil extraction. Food and Bioproducts Processing, 2024.

ISSN 3030-3907

7. Su, M., Zhang, Y., Liu, S., Wang, Y., & Li, T. Challenges and solutions for nanofiltration membranes in water treatment. Frontiers in Chemical Engineering, 2025, Article 1695014.
8. Pan, F. G., et al. Research progress on the genesis and removal methods of phospholipids in vegetable oils. Grasas y Aceites, 2024.

ISSN 3030-3907