



**«XV Сағынов оқулары
Білім, ғылым және өндіріс интеграциясы»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық
конференциясының
ЕҢБЕКТЕРІ
3-бөлім**

**ТРУДЫ
Международной научно-практической
конференции
«XV Сагиновские чтения.
Интеграция образования, науки и производства»
Часть 3**

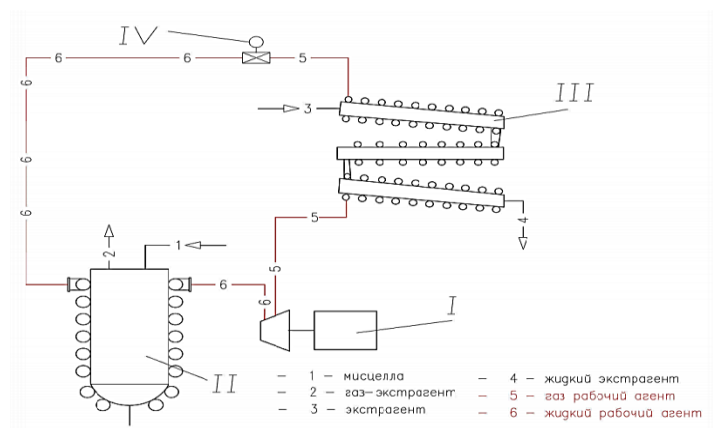
**PROCEEDINGS
International scientific and practical conference
« XV Saginov readings.
Integration of education, science and production»
Part 3**

16-17 июня
маусым
june
2023

Қарағанды

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО НАСОСА CO₂-УСТАНОВКИ

Схема применения теплового насоса в предлагаемой CO₂-экстракционной установке показана на рис. 1



I-компрессор теплового насоса;
II-сепаратор для отделения масла от экстрагента;
III- конденсатор;
IV-регулирующий (дрессельный) вентиль

Рис.1. Схема применения теплового насоса в предлагаемой CO₂-экстракционной установке

На рис. 2. (а и б) показаны схема и процесс работы теплового насоса экспериментальной CO₂-установки на *i(h)-lgP* диаграмме.

Перегрев пара от точки 1 до точки 2 происходит в трубопроводах, идущих к компрессору K_M . Процесс 1-2 - изобара с подъемом температуры до перегрева t_2 (на диаграммах обычно температуры наносятся в °C). Перегрев на 5,10 и более градусов предусматривается в расчете схемы для обеспечения надежной работы компрессора.

Линии постоянных энтропий позволяют в любых координатных диаграммах найти точку 3' на пересечении изоэнтропы 2-3' с изобарой конденсации P_K . Давление P_K определяется по требуемой температуре нагрева теплоносителя для теплового потребителя.

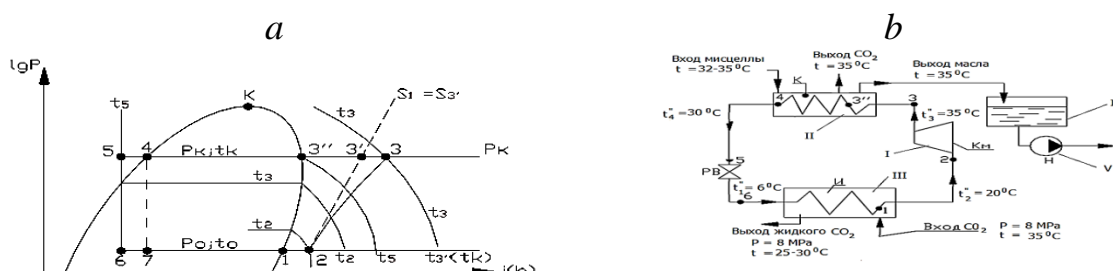


Рис.2. *i(h)-lgP* диаграмма (а) и принципиальная схема (б) работы теплового насоса для экспериментальной установки CO₂-экстракции

Перейти от точки 3' к точке 3 помогает индикаторный КПД сжатия реального компрессора η_i . Этот КПД можно рассчитать с достаточной точностью, по приблизительной оценке, $\eta_i = \frac{T_0}{T_k}$

В идеальном компрессоре при сжатии энтальпия рабочего вещества изменяется на $\Delta i_{id} = i_{3'} - i_2$, а в действительном компрессоре она возрастает на $\Delta i_d = \frac{i_{id}}{\eta_i}$

Таким образом, энтальпия точки 3: $i_3 = i_2 + \Delta i_d = i_2 + \frac{i_{3'} - i_2}{\eta_i}$

Перегретый пар в состоянии 3 подается с достаточно высокой температурой t_3 в конденсаторе, где сначала охлаждается по изобаре до сухого насыщенного состояния (точка 3'') и затем конденсируется до жидкого состояния (точка 4), отдавая при этом суммарную тепловую энергию q_k . Величина q_k равна сумме энергии, полученной при кипении хладагента в испарителе, q_0 и энергии, эквивалентной работе сжатия хладагента в реальном компрессоре, l_b . Работа сжатия хладагента называется внутренней работой l_b и определяется по разнице энтальпий $l_b = i_3 - i_2$.

Таким образом, теплота, отданная в конденсаторе хладагентом и полученная теплоносителем, $q_k = q_0 - l_b = i_3 - i_4$, кДж/кг.

Процесс дросселирования проходит практически адиабатно, поэтому с большой точностью процесс 5-6 считают изоэнтальпийным, т.е. $i_5 = i_6 = \text{const}$. Точка 6 находится на пересечении изоэнтальпийной линии (в координатах i - lgP это вертикаль) с изобарой P_0 . При этом хладагент частично испаряется.

В испарителе жидкость кипит с температурой t_0 (ниже, чем температура низкопотенциального источника), отбирая теплоту парообразования от теплоотдатчика:

Расчет цикла теплового насоса выполняем в следующей последовательности:

1. Выбираем температурные напоры между греющими и нагревательными средами в конденсаторе и испарителе. Они указаны на рис. 2. (б);

2. Выбираем хладагент. В качестве рабочего агента используем R-21, который относится к высоким классам безвредности, отличается низкой себестоимостью, довольно высоким значением коэффициента трансформации тепла, а его объёмный расход допускает применение поршневых и центробежных компрессоров. Степень сжатия и давление конденсации легко регулируются.

3. Выбираем температуру перегрева рабочего агента $t_2' = 20^\circ \text{C}$.

4. Оцениваем КПД сжатия реального компрессора $\eta_i = \frac{T_0}{T_k} = \frac{293}{308} = 0,95$

5. Определяем параметры всех характерных точек.

6. Определяем коэффициент трансформации или преобразования тепла - μ .

Этот коэффициент показывает отношение теплопроизводительности теплового насоса к затраченной для этого работе: $\mu = \frac{q_t}{l}$

Таким образом μ можно подсчитать, используя параметры из таблицы расчета: $\mu = \frac{q_t}{l} = \frac{i_3 - i_5}{i_3 - i_2} \eta_m = \frac{347 - 178}{347 - 307} 0,9 = 3,8$

В числителе дроби - разность энтальпий включает теплоту парообразования q_0 и теплоту, эквивалентную внутренней работе компрессора, а в знаменателе - только затраты работы (с учетом η_m). Таким образом, коэффициент трансформации тепла (иногда его называют коэффициентом тепловой эффективности или коэффициентом преобразования теплового насоса) получается больше единицы, т.е. тепловая эффективность $>100\%$. Однако не следует путать коэффициент трансформации с КПД установки.

Удельный расход работы реального теплового насоса:

$$\varepsilon_t = \frac{l}{q_t} = \frac{i_3 - i_2}{(i_3 - i_5)\eta_m} = \frac{347 - 307}{(347 - 178) \cdot 0,9} = 0,26$$

Обратная величина удельной работы является коэффициентом трансформации тепла: $\frac{1}{\varepsilon_t} = \frac{q_t}{l} = \mu$

7. Рассчитываем мощность электропривода для компрессора теплового насоса: $N = \varepsilon_t \cdot Q_t = 0,26 \cdot 5,44 = 1,41 \text{ кВт}$

где Q_t - тепловая нагрузка теплового насоса, кВт; ε_t - удельный расход работы реального теплового насоса. Мощность электродвигателя выбирают с запасом на 10... 15% от расчетной величины.

Оценка эффективности теплового насоса, характеризующаяся значением коэффициента преобразования тепла, составляет 3,8 раза, что позволяет значительно снизить энергетические расходы на конденсацию и поддержание необходимой температуры при удалении экстрагента.

Список использованных источников:

1. Суперкритическая CO_2 – экстракция глабридина из корней солодки, Х.Ф. Джураев, Б.Т. Мухаммадиев, Ш.У. Мирзаева, Ф.С. Кулдошева, Международная научно-практическая заочная конференция «Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения». Краснодар: 2020. С. 45-52.

2. Мишкевич Э.Ю., Касьянов Г.И. Применение CO_2 -технологий в производстве безалкогольных напитков, предназначенных для повышения адаптационных возможностей организма человека к холоду //Ползуновский вестник. 2019. № 4. – С. 52-57.

3. Г.И. Касьянов, В.С. Коробицын Извлечение ценных компонентов из растительного сырья методами до- и сверхкритического CO_2 -экстракции Монография Краснодар 2010., С. – 8-33.

МАССОПЕРЕНОС ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ CO₂ ЧЕРЕЗ ЗЕРНИСТЫЙ СЛОЙ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

По результатам исследования разработана упрощенная математическая модель экстракции растительных ингредиентов сверхкритической CO₂. Она сводится к двум системам гиперболических уравнений, относящихся к основным характеристикам процесса, а именно, 1) концентрации масла в флюиде в микроскопических каналах зернистого слоя частиц и 2) выделение начального запаса масла из частиц.

Целью данного исследования является создание и рассмотрение математических моделей массопереноса при фильтрации сверхкритической CO₂ через зернистый слой обрабатываемого растительного материала. Этот процесс, т.е. фильтрация через зернистый слой растительного материала, представляет собой довольно - таки сложный многофакторный процесс, осуществление которого как в лабораторных, так и в промышленных масштабах требует значительных временных затрат. Математические модели дают возможность выбора наиболее оптимальных условий (ресурсо- и энергосбережение) ведения процесса для достижения поставленных целей. [1,2,3,4,5]

Рассмотрим математическую модель массопереноса на примере молотых семян арбуза. В процессе экстракции масло, содержащееся в косточках растворяется в СКФ, диффундирует по межклеточным каналам к границам частиц зернистого слоя, оттуда уносится фильтрационным потоком СК-CO₂.

Согласно модели SC в частицах зернистого слоя выделяются две зоны: в ядре масло из растительных клеток ещё не начало вырабатываться, а межклеточные каналы заполнены СК CO₂ с равновесной концентрацией растворенного масла θ_z ; в зоне истощения масло из ячеек полностью выработано, а концентрация в межклеточных каналах изменяется от θ_z на подвижной границе $z=f(t)$ до меньшего значения θ_α при $z= \alpha$. Перепад концентраций $\theta_z - \theta_\alpha$ является движущей силой диффузионного переноса масла по межклеточным каналам от ядра к поверхности частицы. Доказано [4,5], что диффузионное сопротивление области истощения много больше сопротивления диффузионного пограничного слоя, возникающего во внутрипоровом пространстве на границе частицы и процесс диффузии в истощенной зоне можно считать квазистационарным. Это позволяет отождествлять величины θ_α и C выразить через разность концентраций $\theta_z - C$ скорость движения R фронта истощения и диффузионный поток q, кг/м² с единицы поверхности частицы во внутрипоровое пространство:

$$-(a - R)R \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\varepsilon Da}{(\theta)_0} (\theta_z - C) \quad [1]$$

$$q = \frac{\varepsilon DR}{(a-R)a} (\theta_z - C) \quad [2]$$

где ε - объемная доля межклеточных каналов внутри частицы,
 D – коэффициент молекулярной диффузии,
 a - радиус частицы, м.

Проведением критериального анализа процесса экстракции было показано, что в типичных ситуациях емкостными и дисперсионными эффектами во внутрипоровом пространстве можно пренебречь в сравнении с емкостью частиц засыпки и конвективным переносом. Следовательно, уравнение для концентрации с раствора масла в СКФ при его фильтрации через зернистый слой выглядит так:

$$v \frac{\partial C}{\partial Z} = 3 \frac{1-e}{a} q \quad [3]$$

Величина $(1-e) a^{-1}$ представляет собой площадь поверхности частиц засыпки в единице объема пористого слоя. Уравнения [1] и [3] совместно дадут систему уравнений для определения неизвестных функций $C(Z,t)$ и $R(Z,t)$

$$-R(a - R) \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{\varepsilon Da}{(\theta)_0} (\theta_z - C) \quad [4] \quad v \frac{\partial R}{\partial t} = 3 \frac{\varepsilon D(1-e)E}{a^2(a-R)} (\theta_z - C) \quad [5]$$

Уравнения [4] и [5] представляют собой результирующую формулировку модели экстракции масла из монодисперсного зернистого слоя. Переход с сохранением прежних обозначений к безразмерным переменным C , R , t , Z за счет нормировки их на θ_z , a , t_{sc} , Z_{sc} соответственно.

$Z_{sc} \frac{va^2}{3\varepsilon D(1-e)}$, $t_{sc} = \frac{a^2(\theta)_0}{\varepsilon D\theta_z}$, позволяет получить следующего задачу для нахождения C_1 R

$$-R(1 - R) \frac{\partial R}{\partial t} = 1 - C, R(\theta, Z) = 1 \quad [6]$$

$$(1 - R) \frac{\partial C}{\partial Z} = R(1 - C), C(t, 0) = 0 \quad [7]$$

Задача допускает аналитическое решение, которое можно использовать для расчета динамики экстракции масла в зернистом слое заданной высоты H . Отношение добытого к моменту времени t масла к его начальным запасам определяется универсальной зависимостью $Y(\tau, \bar{H})$,

$$\gamma = \frac{y}{\rho}, \quad \tau = \frac{vt\theta_z}{\rho H}, \quad \bar{H} = \frac{3H(1-e)}{la^2v} \varepsilon D, \quad [8]$$

здесь $y(t)$, кг/м³ – масса извлеченного масла за время t , отнесенная к объему зернистого слоя; $\rho = (\theta)_0(1 - e)(1 - \varepsilon)$ - масса масла в единице объема зернистого слоя до начала процесса.

До сих пор мы рассматривали монодисперсный зернистый слой, состоящий из сферических частиц одного размера. Следующим шагом в моделировании процессов СК экстракции реального растительного сырья (например, косточки арбуза) является учет полидисперсности зернистого

слоя. Для этого необходимо иметь данные о распределении частиц слоя по размерам. Она задается с помощью плотности $f(\alpha)$ объемного распределения частиц, так что величина $f(\alpha) d\alpha$ представляет собой отношение суммарного объема частиц с размерами в диапазоне $\alpha - (\alpha+d\alpha)$, к суммарному объему всех частиц.

Очевидно, что глубина проработки частиц зависит в данном случае не только от времени и пространственной координаты, как для монодисперсного слоя, но и от размера a данной частицы, $R=R(t, Z, a)$. В то же время концентрация масла $C=C(t, Z)$ в фильтрационном потоке остается функцией только t и Z . Уравнение [4], описывающее продвижение границы истощения, очевидно сохраняет свой вид и в случае полидисперсного слоя. Здесь необходимо учитывать уже не одно, а семейство уравнений зависящих от a , как от параметра. Для нахождения общего потока масла во внутрипоровое пространство необходимо просуммировать потоки от каждой из частиц. Тогда уравнение [3] для концентрации примет вид:

$$v \frac{\partial C}{\partial Z} = (1 - e)\epsilon D(\theta_2 - C) \int_0^{\infty} \frac{R}{a-R} f(a) \frac{da}{a^2} \quad [9]$$

Таким образом, для нахождения функций $R(t, Z, a)$ и $C(t, Z)$ имеется параметрическое семейство уравнений [4] и дифференциально – интегральное уравнение [9].

Выяснено, что для зернистого слоя с явно выраженной полидисперсностью, процесс СКЭ имеет двухстадийный характер, присущий модели BIG. Следовательно, учет полидисперсности в модели SC позволяет объяснить резкую смену темпа извлечения без привлечения дополнительных гипотез, лежащих в основе модели BIG. Для подтверждения адекватности полидисперсной модели была проведена серия лабораторных опытов по извлечению масла из молотых косточек арбуза для различных распределений частиц по размерам. Наблюдалось во всех случаях удовлетворительное совпадение опытных и теоретических кривых темпа выхода масла [9]. Эти экспериментальные данные будут обсуждаться в дальнейших публикациях.

Список использованных источников:

1. Р.Н.Максудов, А.Г.Егоров, А.Н.Мазо и др. Математическая модель экстрагирования семян масличных культур сверхкритическим CO₂. Сверхкритич. флюиды: Теория и практика, 2008, № 2, С. 20.
2. Прянишников В.В., Касьянов Г.И., Производство и применение CO₂-экстрактов в пищевой промышленности Saarbruchen, Deutschland: Lambert, 2012. –С. 200.
3. K. Gafurov, B. Muhammadiyev, Sh. Mirzaeva, F. Kuldosheva, Obtaining extracts from plant raw materials using carbon dioxide, Пищевая наука и технология, Научно-производственный журнал Одесса, Том 14 № 1 (2020), С. 47-53.
4. Стасьева О.Н., Латин Н.Н., Касьянов Г.И., CO₂-экстракты Компании «Караван» — новый класс натуральных пищевых добавок. КНИИХП, 2005. -324 с.
5. Sh.U. Mirzaeva, Extraction of Glycyrrhizic Acid from Licorice Root using CO₂, International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Volume 6, Issue 4, April 2019, India, - P. 8939-8946.

Довгань С.В., Арефьева О.Д. Кислотно-основные свойства образцов аморфного диоксида кремния минерального генезиса.....	480
Duemets O.V., Takibayeva A.T., Vakibaev A.A. Study of the antioxidant activity of 3,28 – dimethylphosphate betulin.....	483
Жакина А.Х., Әлжанқызы А. Полимерный сорбент синтезированный методом Molecular Imprinting.....	485
Жақсыбаева М.Е., Ибрайбеков Ж.Г. Мукархан К. Еттің морфологиялық және химиялық құрамы.....	487
Жүнісова М.С., Жакупбекова Э.Ж. Қанықпаған полиэфир шайырлары мен винил мономерлері негізінде көпфункционалды полимерлерді алу.....	490
Золотоев В.А., Арефьева О.Д., Ковехова А.В. Адсорбционная активность углеродсодержащих материалов из плодовых оболочек риса.....	492
Исабаев И.Б., Джураева Н.Р., Курбанов М.Т. Олтиев А.Т. Использование биотехнологического потенциала масличного льна для фортификации функциональных свойств растительно-жировых смесей.....	494
Ibraev M.K. Development of effective methods for the synthesis ofazole compounds based on natural substances with antibacterial, anti-inflammatory and anti-oxidant effects.....	497
Какенова М.Ж., Самбаева Д.А. Қазақстан Республикасындағы қатты тұрмыстық қалдықтарды кәдеге жарату мәселелері мен перспективалары.....	500
Kinayatov M.A., Tuleuov B.I. Synthesis of new derivatives of ecdysterone synthons for supramolecular nanocapsulation.....	503
Кинаятов М.А., Алиева Г.С. Ірі қара малдың жұқпалы ауруларын емдеудегі алдын алу шаралары.....	508
Копбалина Қ.Б., Турдыбеков Д.М., Махмутова А.С., Ибраев Н.Х. Выбор оптимального метода и базиса для квантово-химического изучения молекулы 1 - (4 - (3 -метоксифенил) - 1h - 1, 2, 3 - триазол -1 - ил) метил) октагидро - 1h-хинолизин (1).....	511
Максютов Р.Р., Шаяхметов Р.Р. Братишко Н.П. Механизмы реализации радиозащитных свойств конденсированного экстракта люцерны.....	514
Мендибаева А.Ж., Сыздыков А.К., Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Кожанова А.М., Нурмаганбетов Ж.С. Синтез морфолина (пиридин 3-ил) метанона.....	517
Мирзаева Ш.У., Мухамадиев Б.Т. Методика инженерного расчета теплового насоса CO ₂ -установки.....	519

Мирзаева Ш. У., Мухамадиев Б.Т. Массоперенос при фильтрации сверхкритической CO ₂ через зернистый слой растительного материала.....	522
Миткина П.И., Арефьева О.Д. Фотокаталитическое разложение органических загрязнителей различной природы в присутствии SiO ₂ /Bi ₂ WO ₆	525
Мусина Г.Н., Жорабек А.А. Каталитическая депарафинизация.....	527
Mendauletova A., Takibayeva A.T. Intramolecular regrouping reactions and synthesis of new derivatives of α – santonin.....	530
Нгуен Хоанг Тхань, Молчановский М. В., Олехнович Р. О., Успенская М. В. Влияние молекулярной массы полиэтиленгликоля на морфологию нановолокон на основе полигидросибутират/полиэтиленгликоля.....	533
Нематуллаев И., Бобоев С.Ш. Некоторые аспекты появления пищевого лейкоцитоза.....	535
Носова А.О., Фокина М.И., Успенская М.В. Использование метода дифференциальной сканирующей калориметрии для обнаружения ПВХ-микропластика в почве.....	538
Olekhovich, R., Uspenskaya, M. Neeta Raj Sharma Obtaining effective hydrogel sorbents based on biochar with controlled release of fertilizer..	541
Оралова А.Т., Цой Н.К., Цешковская Е.А. Қарағанды облысының мемлекеттік орман қорын молықтырудың кейбір аспектілері.....	543
Ориничева П.Д., Фролов К.Р. Эколого-экономическая оценка очистки техногенных вод горнопромышленного предприятия методом искусственных геохимических барьеров.....	546
Оспанов Б.Н., Мусина Г.Н. Ферменттеу процесін оңтайландыру жолымен көмірсуы бар шикізат негізінде лимон қышқылын өндіру технологиясын жетілдіру.....	549
Петин В.С., Арефьева О.Д., Ковехова А.В. Адсорбционная активность образцов биогенного алюмосиликата калия, синтезированного темплатным синтезом.....	552
Смирнов М.Б., Маженов Н.А., Копбалина Қ.Б. Ротационные моды жестких тетраэдров и несоответственные фазы в кристобалите.....	554
Солиев З.М. Фосфатмобилизирующее бактериальное средство для повышения роста и урожайности растений.....	557
Soliev Z.M., Boboev S.Sh. The use of information technology for the analysis of variance of single-factor experiments.....	560