

УДК 628.52

## Сверхкритический диоксид углерода: возможности применения в производстве растительного масла

Канд. техн. наук **Г.Е. Мельник**, genmelnik@yandex.ru  
канд. хим. наук **С.М. Волков**, vsm 03 09 57@yandex.ru  
д-р техн. наук **А.В. Федоров**, alval58@yandex.ru

ВНИИЖиров

191119, Россия, Санкт-Петербург, ул. Черняховского, 10

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса экстракции растительного масла из подготовленных семян подсолнечника сверхкритическим диоксидом углерода (флюидом). Цель работы – установить зависимость выхода масла от основных параметров процесса экстракции и изучить влияние флюидной экстракции на характеристики (качество) вырабатываемых продуктов – масла и шрота (обезжиренного материала). Эксперимент проводился по хорошо зарекомендовавшей себя известной методологии, однако объект исследования – маслосодержащее растительное сырье такого качества и при таких параметрах – изучался впервые. Установлено, что экстрагирование флюидом при выбранных параметрах процесса позволяет извлечь до 60,30% масла по отношению к массе масла в исходном маслосодержащем образце. При этом в основном сохраняется исходное качество как масла, так и второго продукта – шрота. Предложена схема новой технологии, при которой в шнековом маслопрессе совмещены процесс отжима масла с процессом экстрагирования масла флюидом. Реализация этой технологии на практике позволит увеличить выход прессового масла, повысить его качество, а также качество жмыха (частично обезжиренного материала). Учитывая малоизученность направления использования флюида для интенсификации процесса отжима масла, авторы полагают, что публикация будет интересна и полезна специалистам в области извлечения масел и растительного сырья.*

**Ключевые слова:** сверхкритический диоксид углерода (флюид); температура; давление; выход масла; качество масла, жмыха и шрота; шнековый маслопресс; интенсификация.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-3-14

---

## Supercritical carbon dioxide in vegetable oil production

Ph.D. **Genady E. Melnik**, genmelnik@yandex.ru  
Ph.D. **Sergey M. Volkov**, vsm 03 09 57@ yandex.ru  
Ph.D. **Aleksander V. Fedorov**, alval58@yandex.ru

VNIIGirov

191119, Russia, St. Peterburg, Cherniahosky str., 10

*The article presents the experimental results of oil extraction from sunflower seeds by supercritical carbon dioxide (fluid). The purpose of the work is to establish the dependence of the oil yield from the parameters of the extraction process and to examine the effect of fluid extraction on the characteristics (quality) of manufactured products – oil and meal (fat-free material). The experiment was conducted by a well-known proved methodology; however, the object of the study – the oil-containing vegetable raw materials of such a quality and with such parameters – was studied for the first time. It has been established that the extraction by fluid with the process parameters selected enables extracting up to 60.30% oil compared to the mass of oil in oil-containing original sample. The original quality of oil and meal is retained. We have proposed a new technological scheme when the process of oil extraction is combined with the process of extraction by fluid in the screw oil press. The implementation of this technology in practice will allow increasing the output of oil press, to improve its quality and the quality of the meal (partly fat-free material). Given a little knowledge of the use of the fluid for oil extraction process intensification the authors believe that the publication will be of interest and use for specialists in the field of oil extraction.*

**Keywords:** supercritical carbon dioxide (fluid); temperature; pressure; the yield of oil; the quality of oil and meal; screw oil press, intensification.

## Введение

В настоящее время зарубежными и отечественными учеными и специалистами проводится разработка новых технологий для производства пищевых продуктов. Ярким тому примером является технология с применением сверхкритического диоксида углерода (флюида), использование которой, как показывает зарубежный и отечественный опыт, позволяет получать из растительного сырья целевые экологически чистые компоненты, максимально сохраняющие свои исходные природные свойства. В данном исследовании изучены особенности процесса извлечения растительного масла флюидом из маслосодержащего сырья и рассмотрена возможность применения полученных данных в производстве растительного масла.

Существует достаточно информации по изучению процесса извлечения растительного масла флюидом и анализу влияния флюидной технологии на качество продуктов, получаемых при этом. Следует отметить, что если приоритет в этой области принадлежал вначале (с 80-х годов XX века) зарубежным исследователям [1–9], то в последнее время к ней проявлен интерес и со стороны отечественных ученых [10, 11]. Анализ этих публикаций показывает, что при изучении процесса экстрагирования флюидом авторы уделяют внимание не только особенностям собственно процесса экстракции растительного масла, но и качеству вырабатываемых продуктов.

Кратко рассмотрим основные особенности сверхкритического состояния диоксида углерода, которые следует учитывать в ходе исследований. На фазовой диаграмме для чистого диоксида углерода (рисунок 1) среда (область) сверхкритического состояния начинается от критической точки с координатами  $T_k - P_k$ , располагаясь вправо и вверх от нее.



Рисунок 1 – Фазовая диаграмма чистого диоксида углерода

В.В. Алтунин отмечает [12], что для чистого диоксида углерода на закритических изотермах при  $T > T_k$  (где  $T$  – текущая температура,  $T_k = 31,1^\circ\text{C}$  или  $304,25\text{ K}$ ) и  $P > P_k$  (где  $P$  – текущее давление,  $P_k = 7,3\text{ МПа}$ ), реализуется вся последовательность однородных состояний с непрерывно меняющейся плотностью. Однако, в отличие от области существования диоксида углерода в жидком состоянии, где в каждой точке изменением одного из термодинамических параметров — давления или температуры (либо одновременно обоих) — достигается переход из жидкого состояния в газообразное или в твердое, в сверхкритической области одним только изменением давления или температуры достичь другого фазового состояния невозможно: при этом будут изменяться только плотность газа и другие

термодинамические показатели диоксида углерода (вязкость, теплоемкость, энтальпия, энтропия, летучесть и пр.). Важным отличием является возможность проведения процесса сверхкритической экстракции флюидом как *изотермически*, так и *изобарически*, что используется на практике. Все это указывает на сложность описания сверхкритического состояния диоксида углерода. Для описания среды, состоящей из смеси флюида и извлекаемого им компонента (например, масло-флюидной смеси), задача осложняется еще больше, поскольку для такой среды термодинамические параметры будут иными в сравнении с чистым флюидом.

Важность учета термодинамических параметров масло-флюидной смеси очевидна на фоне планирования углубленных исследований с использованием флюидной экстракции, особенно при условии применения результатов исследований на промышленном уровне. Сегодня инженерные расчеты теплофизических свойств исследуемых веществ выполняют в средах математических пакетов Mathcad, Matlab, Maple, Mathematica и пр. Значения термодинамических показателей рассчитывают с помощью программ, к примеру, REFPROP [13], которая позволяет получить отдельные числа, таблицы, графики теплофизических свойств как чистых веществ, так и смесей. Следует отметить также эффективность применения программы по моделированию технологических процессов gPROMS [14]. Она позволяет выполнить ряд задач: оптимизировать технологический процесс, рассчитать его параметры, подобрать конструкцию экспериментальной установки.

В масложировом производстве способ извлечения растительного масла из семян с использованием только растворителя (экстрагента) называется «прямой экстракцией» [15, 16]. К экстрагированию растительного масла флюидом этот термин также применим.

### Экспериментальная часть

В работах по изучению процесса экстрагирования растительного масла или других веществ из растительного сырья [1–11] на пилотных установках с использованием сверхкритического диоксида углерода авторами исследований приведены данные по влиянию на эффективность извлечения целевых компонентов, прежде всего, таких термодинамических параметров процесса, как давление и температура. В качестве дополнительных параметров и факторов указывается на продолжительность экстрагирования, скорость подачи флюида, степень измельчения исходного материала и др. Эффективность процесса экстрагирования масла преимущественно оценивают по его выходу. В пилотной установке, использовавшейся нами для исследований, измерение и фиксирование ряда термодинамических величин (кроме температуры, давления, плотности чистого флюида) не предусмотрено ее конструкцией и программой управления процессом.

В литературе [1–11] приводятся следующие диапазоны значений параметров и факторов:

- температура флюида: 40...80°C;
- давление флюида: 7,5...70 МПа (75...700 бар);
- масса образца: 35...10000 г;
- скорость подачи флюида: 16...167 г/мин;
- дисперсность материала: 0,01 мм – 1,4 мм (и более).

С учетом этих данных и особенностей пилотной установки для эксперимента приняты следующие параметры процесса экстрагирования и факторы: *температура* 40°C, *давление* флюида 10...35 МПа (100...350 бар), *масса образца* 60 г. Экстрагирование проводилось до прекращения извлечения масла. *Скорость подачи* флюида 50 г/мин. *Дисперсность* материала для экстрагирования должна обеспечиваться технологией измельчения масличного материала: материал образца для экстрагирования флюидом содержит не менее 60% частиц, проходящих через сито в 1 мм [15, 16].

*Описание установки и приборов*

Для изучения процесса извлечения растительного масла из семян подсолнечника флюидом использовалась установка для сверхкритической экстракции SFE 1000M1-2-FMC50. Схема установки приведена на рисунке 2. Она оснащена термостатирующей ванной, с помощью которой охлаждаются головки насоса диоксида углерода, а также подаваемый в систему жидкий диоксид углерода для предотвращения испарения. Двухходовые поршневые насосы высокого давления, снабженные стержнями, входными и выходными картриджами с односторонними клапанами для контроля направленности потока, способны подавать флюид под давлением до 650 бар. Универсальный двусторонний контроллер потока Кориолиса управляет скоростью подачи флюида в экстракционный сосуд и скоростью работы поршней насосов. Контроллер состоит из расходомера Кориолиса, проводящего измерение скорости потока и плотности флюида, а также электронного блока управления, контролирующего обрабатываемые параметры в режиме online.

С помощью проточного нагревающего теплообменника подвижная фаза доводится до рабочей температуры непосредственно перед подачей в экстракционный сосуд. Электрические термостатирующие рубашки позволяют поддерживать постоянную температуру экстракционного сосуда и сепаратора. Единая система термоконтроля с обратной связью предназначена для поддержки температуры всех электрических термостатируемых блоков в интервале  $0 \dots 150^{\circ}\text{C}$ .

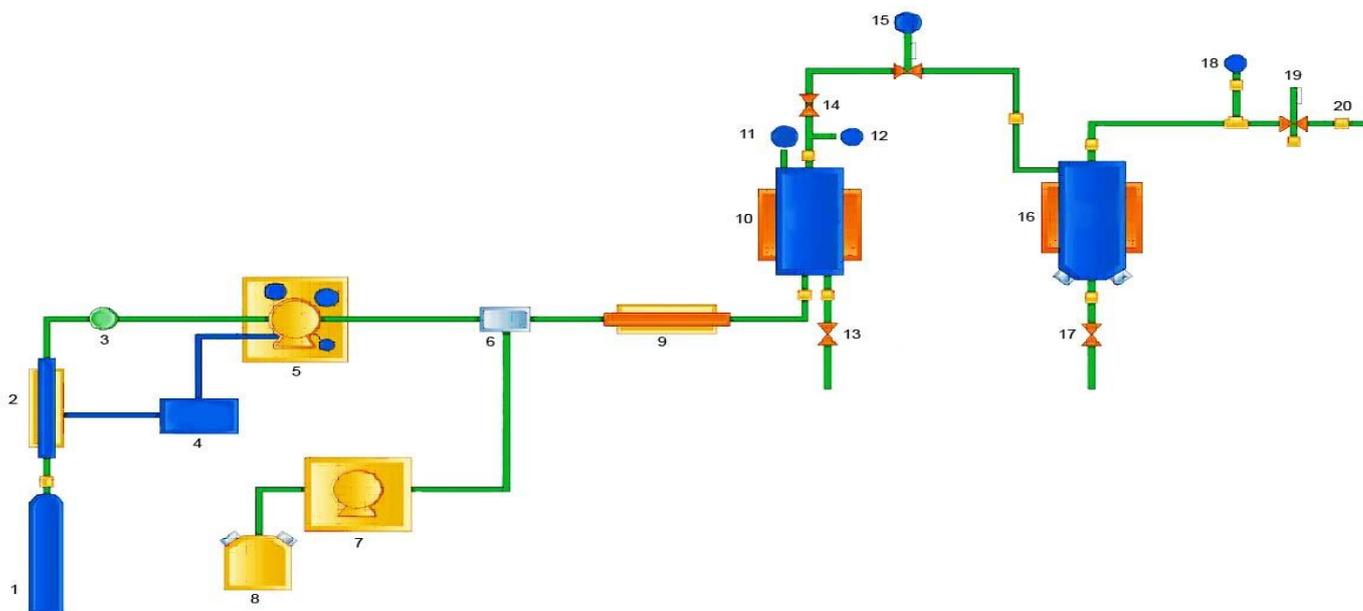


Рисунок 2 – Схема установки сверхкритической флюидной экстракции:

1 – баллон с диоксидом углерода; 2 – охлаждающий теплообменник; 3 – измеритель потока Кориолиса; 4 – термостатирующая ванна; 5 – насос диоксида углерода; 6 – смеситель; 7 – насос соразтворителя; 8 – резервуар соразтворителя; 9 – нагревающий теплообменник; 10 – экстракционный сосуд с термостатирующей рубашкой; 11 – манометр; 12 – датчик температуры; 13 – сбросовый клапан экстракционного сосуда; 14 – выходной кран экстракционного сосуда; 15 – автоматический регулятор противодействия; 16 – циклонный сепаратор с нагревающей рубашкой; 17 – сбросовый клапан сепаратора; 18 – манометр; 19 – ручной регулятор противодействия; 20 – сброс.

Экстракционный сосуд, сепаратор, а также все трубки, переходные металлические соединения и узлы изготовлены из нержавеющей стали. Экстракционный сосуд объемом 200 мл снабжен входным и выходным керамическими фильтрами (размер пор 5 микрон) для предотвращения попадания частиц материала в сепаратор. Герметизация сосудов осуществляется с помощью полиамидных армированных прокладок, уплотняющихся на конус при завинчивании крышек сосудов. Контроль давления

в экстракционной системе осуществляется с помощью автоматического линейного игольчатого клапана обратного давления, позволяющего поддерживать постоянное давление в интервале от 0 до 650 бар как в проточном, так и стационарном режиме работы. Клапан снабжен системой нагрева выходящего газа во избежание переохлаждения сепаратора резко расширяющимся флюидом. Сепаратор объемом 500 мл снабжен отводной трубкой для отбора жидкого экстракта, а также ручным клапаном контроля давления, предотвращающего унос легколетучих соединений за счет поддержания давления в интервале 1...20 бар. Экстракт, отделяющийся в сепараторе, через сбросовый клапан отводится и собирается в стеклянную виалу объемом 60 мл (на рисунке не показана).

Массы образцов материала для экстрагирования, а также полученных экстрактов и шротов измерялись с помощью аналитических весов Acculab ALC-210d4.

#### *Материалы*

В качестве материала образцов использовалось свежемельченое ядро семян подсолнечника (не менее 60% частиц, проходящих через 1 мм сито). Лузжистость ядра составляла 10–12%.

При проведении анализов использовались методы и методики, принятые в масложировой промышленности [18, 19].

Для экстракции использовали диоксид углерода марки пищевой (99,8%) ГОСТ 8050-85.

Соразтворитель не применялся.

#### *Методика экстрагирования*

Навеска измельченного ядра семян подсолнечника массой 60 г загружается в экстракционный сосуд. Экстракционный сосуд герметизируют, открывают баллон с диоксидом углерода, запускают нагрев термостатируемых блоков в холостом режиме и ожидают окончания предварительного заполнения системы жидким диоксидом углерода. После установления равновесия между баллоном и установкой запускают систему. При общем старте, производимом с помощью управляющего программного обеспечения, включают насос диоксида углерода и все термостатируемые блоки, клапан контроля давления.

Моментом начала экстракции считается время начала сброса флюида клапаном контроля давления. Момент появления в виалке первой капли экстракта является началом отделения масла из масло-флюидной смеси в сепараторе. Отделившийся в сепараторе диоксид углерода отводится из него в газообразном виде в атмосферу. Момент полного прекращения экстрагирования – поступление масла в виалку прекращается. В этот момент подачу флюида в систему прекращают, сбрасывают давление, отсоединяют и снимают виалку с извлеченным растительным маслом.

Масло взвешивают. Второй продукт – шрот выгружают из экстракционного сосуда и взвешивают.

Каждый отдельный опыт по сверхкритической экстракции диоксидом углерода проводился *изотермически* и *изобарически* при температуре 40°C и давлении из диапазона 100–350 бар, т. е. при одном из следующих значений: 100, 150, 225, 350 бар.

#### *Изучение влияния параметров процесса на выход масла*

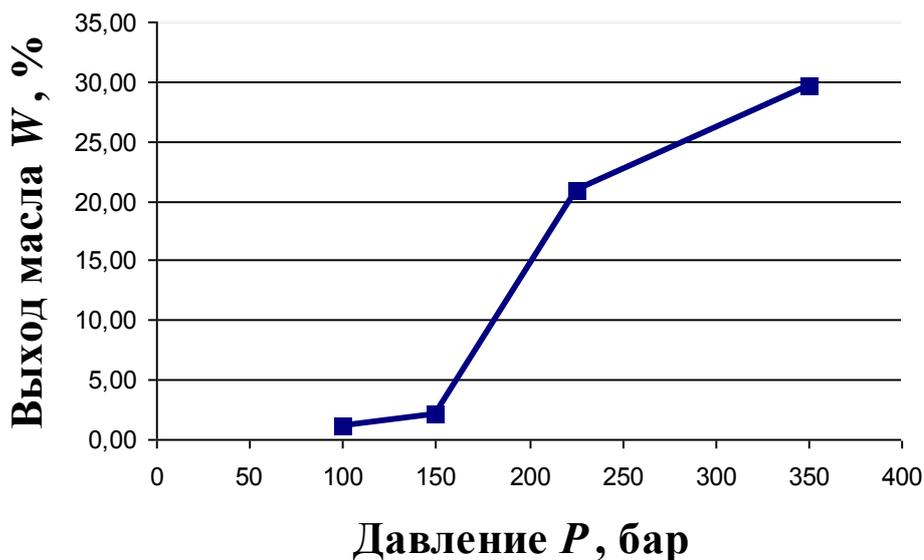
Выход масла определялся соотношением массы масла, извлеченного флюидом, к массе материала образца, загруженного в экстрактор. На рисунке 3 приведен график зависимости выхода растительного масла от давления флюида.

Анализ данных рисунка 3 показывает, что давление флюида – определяющий фактор в процессе извлечения масла из материала, а основные выводы в этом контексте следующие:

- извлечение масла из материала начинается в интервале давления флюида 100–150 бар;
- при давлениях флюида 225 и 350 бар извлекается основная масса масла;
- максимальный выход масла происходит при давлении 350 бар.

*Влияние основных параметров процесса экстрагирования флюидом на качество подсолнечного масла и шрота*

При извлечении растительного масла из маслосодержащего сырья одной из главных задач является максимальное сохранение исходных природных свойств компонентов, входящих в него [15–17]. Для изучения влияния параметров процесса экстрагирования флюидом на качество масла сравнивались показатели масла в материале образцов и соответствующие показатели полученных масел, а для изучения влияния параметров процесса на качество шрота сравнивались показатели материала образцов и полученных шротов. Определения показателей выполнялись в соответствии с [18, 19].



*Рисунок 3 – Зависимость выхода масла от давления флюида*

Для оценки качества масла, извлекаемого флюидом из материала образцов, определяли и сравнивали состав жирных кислот масла в материале образца и масле, извлеченном флюидом при давлении 225 бар и давлении 350 бар; температура флюида составляла 40°C. Также для этих масел определяли и сравнивали иодное число (отражающее степень «ненасыщенности» жирных кислот). Определяли в изучаемых маслах и третий показатель – содержание фосфорсодержащих веществ.

Составы жирных кислот и значения иодных чисел в маслах, извлеченных при давлении 225 и 350 бар, практически не изменяются по сравнению с аналогичными показателями в масле материала образца. Сравнение содержания фосфорсодержащих веществ в маслах показывает, что в масле, извлеченном при давлении 225 бар и при 350 бар, их содержание меньше, чем в масле материала образцов в 11,7 и 4,5 раз соответственно. Таким образом, можно констатировать: извлечение растительного масла флюидом при установленных основных параметрах процесса позволяет сохранить исходное качество масла, оцениваемое по составу жирных кислот и иодному числу. Согласно действующим в настоящее время требованиям [20], в качественном пищевом подсолнечном масле фосфорсодержащие вещества должны отсутствовать. Низкое их содержание в извлеченных маслах свидетельствует о пониженной способности флюида по экстрагированию этих веществ: в значительной мере этому способствует невысокая температура процесса.

Для оценки качества второго продукта – подсолнечного шрота – проводилось сравнение фракционного состава белков в материале образцов и подсолнечных шротах, полученных при давлениях 225 и 350 бар, и температуре 40°C. Термин «фракционный состав белков, % к сырому протеину» применяют для оценки качества шрота. Чем выше содержание в продуктах переработки сырья, прежде всего, «водорастворимой фракции» белка (наиболее легко усвояемой организмом), а также «солерастворимой фракции», тем выше качество таких продуктов.

Данные анализов показывают, что показатели фракционного состава белков в шротах по сравнению с показателями для материалов образцов фактически изменились очень мало. Это дает основание для вывода, что процесс флюидной экстракции как при давлении флюида 225, так и 350 бар при температуре 40°C способствует сохранению качества полученных шротов.

*Возможности использования результатов исследования для интенсификации процесса отжима масла в шнековом маслопрессе*

Результаты исследований показали возможность экстракции подсолнечного масла сверхкритическим диоксидом углерода при температуре 40°C, давлении 225–350 бар с достижением максимального выхода масла 29,64%. При перерасчете максимальный выход извлеченного флюидом масла по отношению к массе масла в материале образца составит 60,30%. Следовательно, 39,70% масла при выбранных условиях эксперимента не извлекается. Такой результат для процесса «прямой экстракции» флюидом следует признать «весьма скромным».

Вместе с тем, полученные результаты исследования процесса экстрагирования масла флюидом, могут быть успешно применены для интенсификации процесса отжима масла в шнековом маслопрессе.

Упрощенный прессующий тракт шнекового маслопресса и распределение аксиального давления в материале представлены на рисунке 4.

Тракт включает три шнековых витка (1 – приемный, 3 и 5 – прессующие), две межвитковые втулки (2 и 4), предконусную зону, устройство для формирования жмыха 6. Процесс прессования маслосодержащего материала и отжима масла в прессующем тракте происходит следующим образом. Маслосодержащий материал поступает в приемный виток 1 вращающегося шнекового вала, перемещается им по втулке 2 во шнековый виток 3, далее по втулке 4 перемещается в виток 5. Поскольку свободный объем шнековых витков по направлению от входа постоянно уменьшается, материал сжимается, и масло, выдавливаемое из сжимаемого материала, удаляется в радиальном направлении через зазоры в зее (на рисунке не показаны). Материал с оставшимся в нем маслом из прессующего тракта через предконусную зону и устройство для формирования жмыха 6 удаляется из прессующего тракта.

При описании и анализе прессующего тракта будем исходить из следующих допущений:

- аксиальное давление  $P$ , развиваемое в прессуемом материале, на участке каждого последующего шнекового витка выше, чем для предыдущего;
- приведенные значения аксиального давления условны и не отражают их абсолютной величины;
- отвод масла не рассматривается.

На графике распределения аксиального давления в материале (где  $L_{тр}$  – общая длина тракта,  $P_{max}$  – максимальное аксиальное давление) участок  $ab$  соответствует витку 1,  $cd$  и  $en$  – виткам 3 и 5,  $bc$  и  $de$  – втулкам 2 и 4,  $nm$  – предконусной зоне,  $to$  – устройству для формирования жмыха.

Аксиальное давления  $P$  в прессуемом материале по тракту маслопресса математически описывается в виде кусочно-линейной зависимости от расстояния  $x$  с начала прессующего тракта  $a$ . Обозначая координаты точек на оси абсцисс как  $x_a, x_b, x_c, x_d, \dots, x_o$  для участков прессующего тракта, получим последовательность соотношений:

$$\text{вдоль витка 1} \quad P = \frac{P_b}{x_b} x; \quad (1)$$

$$\text{вдоль втулки 2} \quad P = P_b + \frac{P_c - P_b}{x_c - x_b} (x - x_b); \quad (2)$$

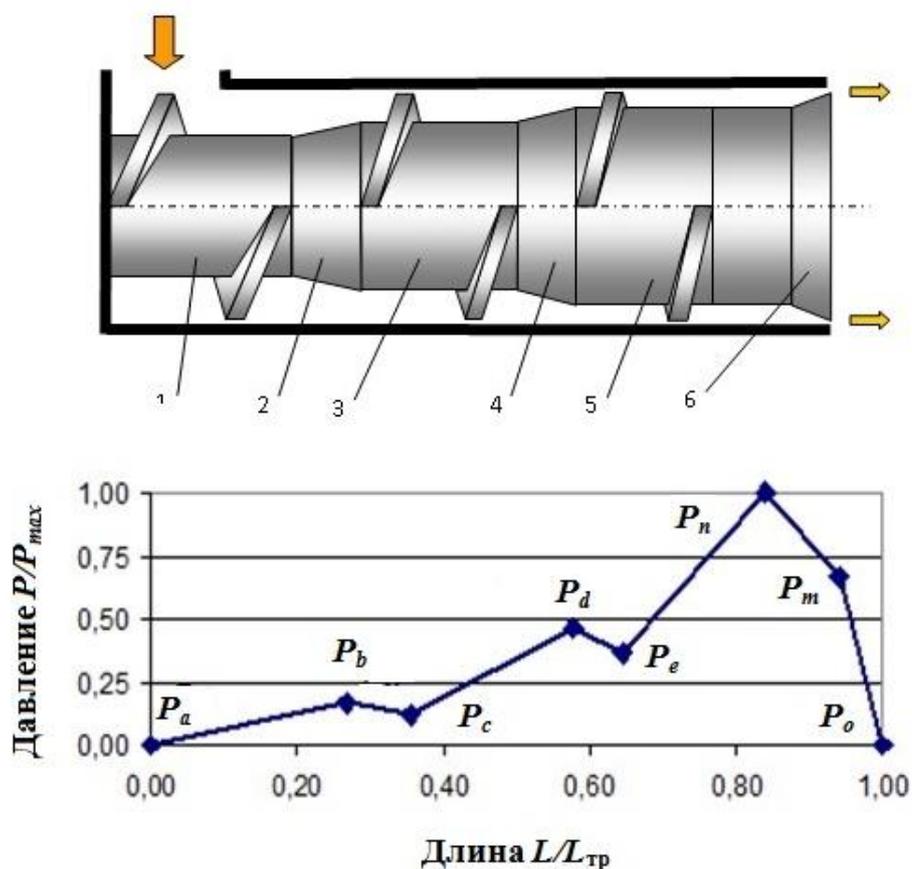


Рисунок 4 – Упрощенный прессующий тракт шнекового маслопресса и распределение аксиального давления в материале

$$\text{вдоль витка 3} \quad P = P_c + \frac{P_d - P_c}{x_d - x_c} (x - x_c); \quad (3)$$

$$\text{вдоль втулки 4} \quad P = P_d + \frac{P_e - P_d}{x_e - x_d} (x - x_d); \quad (4)$$

$$\text{вдоль витка 5} \quad P = P_e + \frac{P_n - P_e}{x_n - x_e} (x - x_e); \quad (5)$$

$$\text{вдоль предконусной зоны} \quad P = P_n + \frac{P_m - P_n}{x_m - x_n} (x - x_n); \quad (6)$$

вдоль устройства для формирования жмыха, где учтено, что  $P_o = 0$

$$P = P_m + \frac{(-P_m)}{x_o - x_m} (x - x_m). \quad (7)$$

В прессующем тракте шнекового маслопресса движущей силой процесса сжатия маслосодержащего материала является аксиальное давление, в то время как движущей силой процесса отжима масла является радиальное давление (направленное перпендикулярно аксиальной оси шнекового вала) [21, 22].

Уточним основные возможности реализации результатов исследования процесса экстрагирования применительно к отжиму масла в шнековом прессе.

1. Совмещение в шнековом маслопрессе процесса сжатия маслосодержащего материала и отжима масла с процессом экстрагирования масла сверхкритическим диоксидом углерода позволит использовать преимущества каждого из этих двух существенно различающихся процессов. Будем исходить из следующего предположения: при наложении процесса экстракции масла флюидом на процесс прессования и отжима масла будет проявляться свойство аддитивности (суммирования) основных параметров, свойственных каждому из этих процессов, что позволит при их совместной реализации существенно оптимизировать процесс извлечения растительного масла из маслосодержащего материала в шнековом маслопрессе и повысить качество продуктов переработки маслосодержащего материала.

При необходимости построения математической модели совмещенного процесса можно воспользоваться уравнениями (1)–(7), представленными выше.

2. Поскольку основным в этом случае является процесс прессования и отжима масла, то процесс экстракции флюидом при совмещении должен быть адаптирован к основному. Рассмотрим этот аспект подробнее.

Известно, что среднее время пребывания маслосодержащего материала в прессующем тракте шнекового маслопресса непродолжительно. По данным разных специалистов [21, 22], оно составляет для маслопресса предварительного отжима 5–10 минут, для маслопресса однократного отжима 8–15 минут. Время пребывания в пространстве одного шнекового витка будет еще меньшим. В то же время для эффективного извлечения растительного масла флюидом требуется более продолжительное время. При совмещении рассматриваемых процессов, отличающихся по своей продолжительности, следует, по нашему мнению, установить приоритетность одного из них, используя свойства второго для интенсификации приоритетного процесса. Поэтому, полагая приоритетным процесс прессования и отжима масла, вторым (вспомогательным) устанавливается процесс извлечения масла сверхкритическим диоксидом углерода. Даже если в этом случае возможности процесса экстрагирования масла флюидом будут использованы не полностью, а частично, то и при этом особенности выбранного нами вспомогательного процесса будут способствовать повышению эффективности отжима масла за счет снижения вязкости масло-флюидной смеси и повышения растворяющей способности флюида.

Далее совместное использование в одном устройстве двух процессов предполагает выполнение условия совместимости значений таких параметров, как температура и давление. Ранее нами были установлены значения этих параметров для экстракции масла флюидом. Поэтому лучшим выбором следует признать приведение значений основных параметров процесса прессования и отжима масла возможно ближе к выбранным значениям основных параметров процесса извлечения масла флюидом. Известно, что при производстве масла прессованием температура материала, поступающего в маслопресс однократного отжима, не должна превышать 110°C: понижение температуры приводит к снижению выхода прессового масла, а повышение – к ухудшению качества вырабатываемых масла и жмыха [15–17]. Радиальное давление в маслопрессе однократного отжима не превышает 350 бар [21, 22]. Таким образом, с учетом вышеизложенных особенностей следует принять следующие значения параметров процессов: температура материала, поступающего в маслопресс, должна составлять 40°C, радиальное давление – не выше 350 бар, температура флюида, подаваемого в прессуемый материал, – 40°C, давление флюида – 350 бар. При соблюдении указанных условий следует ожидать оптимального выхода масла за счет особых свойств флюида. При этом, вследствие резкого снижения температуры материала и отсутствия отрицательного воздействия флюида на материал, качество продуктов – масла и жмыха, значительно возрастет.

### Заключение

Сверхкритический диоксид углерода – перспективный экстрагент, обладающий особыми свойствами.

Изучение процесса флюидной экстракции проводили на пилотной установке при температуре 40°C, скорости подачи экстрагента 50 г/мин; давление варьировалось в диапазоне 100–350 бар. Основная масса масла извлекается в интервале давления 225–350 бар. Максимальный выход масла – 29,64% отмечен при давлении 350 бар.

Установлено, что флюидная экстракция позволяет сохранять качество продуктов – масла и шрота.

Полученные результаты могут быть применены для интенсификации отжима растительного масла в шнековом маслопрессе. Не следует исключать и возможность использования полученных данных для дальнейших работ по извлечению флюидом особо ценных растительных масел.

### Литература

1. Andrich G., Balzini S., V.Z. de Vitis, Silvestri S., Venturi F., Fiorentini R. Supercritical Fluid extraction sunflower seed technology. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2004, pp. 151–157.
2. Bravi M., Bubbico R., Manna F., Verdone N. Process optimisation in sunflower oil extraction by supercritical CO<sub>2</sub>. *Chemical Engineering Science*. 2002, V. 57, pp. 2753–2764.
3. Casas L, Mantell C., Rodriguez M., Torres A., Macias F.A. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds from sunflower leaves with carbon dioxide and water on a pilot plant scale. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2008, V. 45, pp. 37–42.
4. Cocero M.J., J. Garcia J. Mathematical model of supercritical extraction applied to oil seed extraction by CO<sub>2</sub> and saturated alcohol. *Journal of Supercritical Fluids*. 2001, V. 20, pp. 245–255.
5. Fiori L. Supercritical extraction of sunflower seed oil: Experimental data and model validation. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2009, V. 50, pp. 218–224.
6. King J.W., List G.R. Supercritical Fluid Technology in Oil and Lipid Chemistry. *AOCS Press J.W.* Illinois, 1996, p. 34.
7. Kiriamiti H.K., Rascol E., Marty A., Condoret J.S. Extraction rate of oil from high oleic sunflower seeds with supercritical carbon dioxide. *Chemical Engineering and Processing*. 2002, V. 41, pp. 711–718.
8. Perrut M., Clavier J.Y., Poletto M., Reverchon E. Mathematical model of sunflower seed extraction by supercritical CO<sub>2</sub>. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1997, V. 36, pp. 430–435.
9. Rodrigues A.R., Paiva A., Marco Gomes da Silva, Simões P., Barreiros S. Continuous enzymatic production of biodiesel from virgin and waste sunflower oil in supercritical carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids*. 2001, V. 20, pp. 245–255.
10. Дадашев М.Н., Бельков В.М., Качалов В.В., Воронов В.П. Способ получения масла из лужги гречихи: пат. 2100426 Российская Федерация. 1997. Бюл. № 36.
11. Дадашев М.Н., Кобелев К.Б., Чурсина О.А., Винокуров В.А., Филенко Д.Г. Исследование процесса сверхкритической экстракции ароматических веществ из возобновляемого растительного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2014. № 1. С. 29–32.
12. Алтунин В.В. Теплофизические свойства двуокси углерода. М.: Изд-во стандартов. 1975. 546 с.
13. NIST, *Fluid Thermodynamic and Transport Properties*, Version 5.0.
14. Package gPROMS (Process Systems Enterprise, UK).
15. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / редкол.: А.Г. Сергеев и др. Т. 1, кн. II. Л.: ВНИИЖ. 1974. 592 с.
16. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / редкол.: А.Г. Сергеев и др. Т. 1, кн. I. Л.: ВНИИЖ. 1975. 737 с.
17. Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. 5-е изд., перераб. и доп. М.: КолосС. 2003. 360 с.
18. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету в масложировой промышленности / под общей ред. В.П. Ржехина и А.Г. Сергеева. Т. I, кн. 1. Л.: ВНИИЖ. 1967. 597 с.
19. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету в масложировой промышленности / под общей ред. В.П. Ржехина и А.Г. Сергеева. Т. II. Л.: ВНИИЖ. 1965. 420 с.

20. ГОСТ 1129-2013. Масло подсолнечное. Технические условия. Введ. 1.07.2014. М.: Стандартиформ. 2014. 17 с.
21. Белобородов В.В. Основные процессы производства растительных масел. М.: Пищевая промышленность. 1966. 480 с.
22. Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Пищевая промышленность. 1974. 440 с.

### References

1. Andrich G., Balzini S., V.Z. de Vitis, Silvestri S., Venturi F., Fiorentini R. Supercritical Fluid extraction sunflower seed technology. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2004, pp. 151–157.
2. Bravi M., Bubbico R., Manna F., Verdone N. Process optimisation in sunflower oil extraction by supercritical CO<sub>2</sub>. *Chemical Engineering Science*. 2002, V. 57, pp. 2753–2764.
3. Casas L, Mantell C., Rodriguez M., Torres A., Macias F.A. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds from sunflower leaves with carbon dioxide and water on a pilot plant scale. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2008, V. 45, pp. 37–42.
4. Cocero M.J., J. Garcia J. Mathematical model of supercritical extraction applied to oil seed extraction by CO<sub>2</sub> and saturated alcohol. *Journal of Supercritical Fluids*. 2001, V. 20, pp. 245–255.
5. Fiori L. Supercritical extraction of sunflower seed oil: Experimental data and model validation. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2009, V. 50, pp. 218–224.
6. King J.W., List G.R. Supercritical Fluid Technology in Oil and Lipid Chemistry. *AOCS Press J.W.* Illinois, 1996, p. 34.
7. Kiriamiti H.K., Rascol E., Marty A., Condoret J.S. Extraction rate of oil from high oleic sunflower seeds with supercritical carbon dioxide. *Chemical Engineering and Processing*. 2002, V. 41, pp. 711–718.
8. Perrut M., Clavier J.Y., Poletto M., Reverchon E. Mathematical model of sunflower seed extraction by supercritical CO<sub>2</sub>. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1997, V. 36, pp. 430–435.
9. Rodrigues A.R., Paiva A., Marco Gomes da Silva, Simões P., Barreiros S. Continuous enzymatic production of biodiesel from virgin and waste sunflower oil in supercritical carbon dioxide. *Journal of Supercritical Fluids*. 2001, V. 20, pp. 245–255.
10. Dadashev M.N., Bel'kov V.M., Kachalov V.V., Voronov V.P. *Sposob polucheniya masla iz luzgi grechikhi*. [Way of receiving oil from buckwheat husks]. Patent RF no. 2100426. 1997.
11. Dadashev M.N., Kobelev K.B., Chursina O.A., Vinokurov V.A., Filenko D.G. Issledovanie protsessa sverkhkriticheskoi ekstraktsii aromatischeskikh veshchestv iz vozobnovlyaemogo rastitel'nogo syr'ya. *Storage and processing of farm products*. 2014, no. 1, pp. 29–32.
12. Altunin V.V. *Teplofizicheskie svoystva dnuokisi ugleroda* [Heatphysical properties of carbon dioxide]. Moscow, Publ. standartov, 1975, 546 p.
13. NIST, Fluid Thermodynamic and Transport Properties, Version 5.0.
14. Package gPROMS (Process Systems Enterprise, UK).
15. *Rukovodstvo po tekhnologii polycheniya i pererabotki rastitelnykh masel i zhirov* [Guide to technology of receiving and processing of vegetable oils and fats]. In ed. A.G. Sergeev and others. V. 1, book II. Leningrad, VNIIG Publ., 1974, 592 p.
16. *Rukovodstvo po tekhnologii polycheniya i pererabotki rastitelnykh masel i zhirov* [Guide to technology of receiving and processing of vegetable oils and fats]. In ed. A.G. Sergeev and others. V. 1, book I. Leningrad, VNIIG Publ., 1975, 727 p.
17. Sherbakov V.G., Lobanov V.G. *Biokhimiya i tovarovedenie maslichnogo syrya* [Biochemistry and merchandising oilseeds]. 5<sup>th</sup> ed. Moscow, KolosS Publ., 2003, 360 p.
18. *Rukovodstvo po metodam issledovaniya, teekhnokhimcomu kontrolyu i uchetu v maslozhirovoi promyshlennosti* [The guide to research methods, technical and chemical control and the account in the oil and fat industry]. In ed. V.P. Rzhekhina, A.G. Sergeeva. V. I, book 1. Leningrad, VNIID Publ., 1967, 597 p.
19. *Rukovodstvo po metodam issledovaniya, teekhnokhimcomu kontrolyu i uchetu v maslozhirovoi promyshlennosti* [The guide to research methods, technical and chemical control and the account in the oil and fat industry]. In ed. V.P. Rzhekhina, A.G. Sergeeva. V. II. Leningrad, VNIID Publ., 1965, 420 p.
20. ГОСТ 1129-2013. *Maslo podsolnechnoe. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 1129-2013. Sunflower oil. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 17 p.

21. Beloborodov V.V. *Osnovnye protsessy proizvodstva rastitelnykh masel* [The main production processes of vegetable oils]. Moscow, Pishhevaya promyshlennost Publ., 1966, 480 p.
22. Maslikov V.A. *Tekhnologicheskoe oborydovanie proizvodstva rastitelnykh masel* [Processing equipment of production of vegetable oils]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Pishhevaya promyshlennost Publ., 1974, 440 p.

*Статья поступила в редакцию 19.01.2016*