

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-40-52>

УДК 635.54:663.941

© 2022

Поступила 10.02.2022

Received 10.02.2022



Принята в печать 14.03.2022

Accepted 14.03.2022

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЦИКОРНЫХ ЗАВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ЭКСТРАКТОРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Дмитрий П. Иовлев¹, Мансур И. Фарахов¹, Роальд Р. Акберов^{1*},
Ильдар Р. Стекольников¹, Артем В. Ахмеров²

¹ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжсехим»;

ул. Шаляпина, д. 14/83, г. Казань, 420049, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;

ул. Красносельская, д. 51, г. Казань, 420066, Российская Федерация

Аннотация. Корнеплоды цикория – ценный источник инулина и других полезных питательных веществ. Наиболее распространенное направление переработки – получение быстрорастворимого порошка цикория. Определяющим процессом при промышленной переработке является экстрагирование. Традиционные методы экстрагирования – мацерация, перколяция и экстрагирование в шнековом экстракторе – обладают рядом существенных недостатков, включая высокие капитальные и эксплуатационные затраты, низкое качество получаемого экстракта, сложность ремонта оборудования, малый межремонтный срок эксплуатации и др. Целью данного исследования является оценка технической возможности повышения эффективности процесса экстрагирования посредством применения пульсационных экстракторов непрерывного действия (ПЭНД) разработки ИВЦ «Инжсехим», в которых заложен нестационарный противоточный режим взаимодействия сырья с экстрагентом. Отработка технических решений для ПЭНД проводилась на пилотной пульсационной установке (ППУ). Для экстрагирования использовался обжаренный дробленый (5–20 мм) цикорий с одного из действующих цикорных заводов. Соотношение цикорий : вода при экстрагировании составляло 1 : 4,5, что в 1,5–2,5 раза ниже, чем в традиционных экстракторах. Более низкая температура экстрагирования (до 85°C) в сочетании с меньшим временем экстрагирования (до 1 часа) способствует сохранению большего количества инулина и других питательных веществ по сравнению с традиционными способами. Результаты исследования в ППУ при указанных условиях подтвердили высокий выход водорастворимых сухих веществ (до 98%) без дополнительного измельчения. Предложена схема модернизации цикорного завода с наиболее распространенным перколяционным способом экстрагирования производительностью по сырью 400 кг/ч за счет применения ПЭНД. Показаны 3-D схемы предлагаемой модернизации. Приведена сравнительная оценка энергозатрат на проведение экстрагирования для разных способов. Результаты

исследования свидетельствуют о работоспособности и высокой эффективности ПЭНД для экстрагирования цикория, что подтверждается снижением до 3,6 раз общих удельных энергозатрат на получение 1 кг растворимого порошка цикория по сравнению с традиционными экстракторами. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты определяют перспективность использования ПЭНД для модернизации действующих цикорных заводов или создания новых энергоэффективных производств.

Ключевые слова: цикорий растворимый, порошок цикория, экстракт цикория, непрерывное экстрагирование, противопоточное экстрагирование, пульсационный экстрактор, экстрактор непрерывного действия, перколятор, модернизация, инулин, инулиносодержащие продукты

Для цитирования: Модернизация действующих цикорных заводов с применением пульсационных экстракторов непрерывного действия / Иовлев Д.П. [и др.] // Новые технологии. 2022. Т. 18, № 1. С. 40-52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-40-52>

MODERNIZATION OF OPERATING CHICORY FACTORIES USING CONTINUOUS PULSATING EXTRACTORS

Dmitry P. Iovlev¹, Mansur I. Farakhov¹, Roald R. Akberov^{1*},
Ildar R. Stekolshchikov¹, Artem V. Akhmerov²

¹LLC Engineering-Promotional Center «Inghim»;
14/83 Shalyapin str., Kazan, 420049, the Russian Federation

²FSBEI HE «Kazan State Power Engineering University»;
51 Krasnoselskaya str., Kazan, 420066, the Russian Federation

Annotation. Chicory roots are a valuable source of inulin and other healthy nutrients. The most common direction of their industrial processing is instant chicory powder production. Extraction is the main process in the production. Conventional extraction methods, which include maceration, percolation and extraction in a screw extractor, have a number of significant drawbacks, including high capital and operating costs, low quality of the resulting extract, complexity in repairing equipment, short overhaul life, etc. The purpose of the present study was to assess the technical feasibility of increasing extraction process efficiency through using continuous pulsating extractors (CPE) developed by the Inghim company, in which a non-stationary, countercurrent mode of interaction of raw materials with the extractant is incorporated. Testing of engineering solutions implemented in CPE was carried out at a pilot pulsating unit (PPU). For extraction, roasted and crushed (5–20 mm) chicory roots from one of the operating chicory factories were used. The ratio chicory : water during extraction was 1 : 4.5, which is 1.5–2.5 times lower than in conventional extractors. A lower extraction temperature (up to 85°C) combined with a shorter extraction time (up to 1 hour) may help retain more inulin and other nutrients as compared to conventional methods. The results of the study at the PPU under these conditions confirmed the high yield of water-soluble solids (up to 98%) without additional grinding. A scheme for the modernization of a chicory factory equipped with the most common percolation extraction equipment having a feed capacity of 400 kg/h is proposed through using CPE. 3D images of the proposed modernization are shown. A comparative assessment of energy consumption for extraction using different methods is given. The results of the study indicate the capability and high efficiency of CPE for extracting chicory, which is confirmed by a decrease of up to 3.6 times in the total specific energy consumption for obtaining 1 kg of instant chicory powder compared to conventional extractors. Low capital and operating costs determine the prospects for using CPE for the modernization of existing chicory factories or the creation of new energy-efficient factories.

Keywords: instant chicory, chicory powder, chicory extract, continuous extraction, counter-current extraction, pulsating extractor, continuous extractor, percolator, modernization, inulin, inulin-containing products

For citation: Iovlev D.P. [et al.] Modernization of operating chicory factories using continuous pulsating extractors. *New technologies.* 2022;18(1):40-52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-1-40-52>

Цикорий – травянистое растение с голубыми цветками из семейства астровых, распространенное в зоне умеренного климата и тропиках практически на всех континентах. Интерес для промышленной переработки представляет корнеплодный цикорий (рис. 1), как разновидность данного растения. Процесс выращивания цикория известен, достаточно отработан, аналогичен по агротехническим мероприятиям выращиванию сахарной свеклы и не представляет собой технической сложности. При этом цикорий достаточно успешно может выращиваться в климатических условиях большого числа регионов России.

Корнеплод цикория обладает богатым минеральным и химическим составом. Основной полезный ингредиент цикория – инулин. В свежесобранном корнеплоде его содержание составляет до 75% (в пересчете на сухой вес). Инулин – это натуральный полисахарид, который используется для диетического питания при диабете. Он легко усваивается, играет роль мощного пребиотика,

способствует снижению уровня сахара в крови, улучшает обмен веществ и пищеварение, а при регулярном употреблении повышает устойчивость организма к воздействию вредоносных бактерий. Кроме инулина, в составе цикория присутствуют витамины, каротин, пектин, органические кислоты, макро- и микроэлементы.

Данные полезные свойства цикория определяют его высокую потребность в мире. Так, мировой объем выращивания цикория составляет свыше 500 тыс. т/год. Основным производителем цикория в мире является Бельгия, которая обеспечивает до 70% от общего мирового объема. Другие производители занимают меньшую долю на рынке, а именно, Нидерланды до 10,5%, Франция до 8,5%, Польша до 6%, ЮАР и Украина до 1,5%, Филиппины, Хорватия, Сербия и Казахстан до 1% от общего мирового объема [1].

Цикорий в промышленных объемах может перерабатываться для получения жидких, сиропобразных и порошковых экстрактов, выпуска инулиносодержащих



Рис. 1. Цикорий корнеплодный

Fig. 1. Root chicory

пищевых продуктов и напитков, производства выделенного очищенного инулина. Однако на сегодня одним из широко применяемых направлений переработки цикория является получение быстрорастворимого порошкового напитка. Помимо наличия полезных веществ в цикории, по органолептическим характеристикам он близок к кофе. Поэтому его могут потреблять в качестве заменителя кофе те люди, кому противопоказан кофеин. Производство быстрорастворимого порошка цикория основано на получении жидкого экстракта из обжаренного измельченного корнеплода цикория. Полученный экстракт в последующем фильтруется, концентрируется и сушится до порошкообразной товарной формы.

Получение жидкого экстракта цикория, или экстрагирование, является основным и определяющим процессом в промышленном производстве быстрорастворимого порошкового напитка цикория. От его эффективности зависит количественный выход и качество товарного продукта, а также затраты на его получение. Традиционно для экстрагирования цикория используются мацераторы, перколяторы или шнековые экстракторы. Все они имеют относительно низкую эффективность из-за длительности процесса, высоких удельных тепловых потерь, энергопотребления, трудозатрат, эксплуатационных расходов и других недостатков. Эти недостатки существенно усугубляются при переработке сырья в больших объемах, а также при наличии специфических особенностей сырья и его низкого удельного веса, сезонности работы и короткого срока переработки свежесобранного сырья и т.д. Поэтому сегодня задачи оптимизации действующих технологических процессов и создания новых энерго-ресурсоэффективных производств по переработке цикория являются чрезвычайно важными и актуальными.

Краткая характеристика традиционных способов получения экстракта из обжаренного цикория:

1. Мацерация (настаивание). Участок экстрагирования включает, как правило, два и более мацератора (реактор, смеситель). Периодический режим работы мацераторов определяет критически высокий удельный расход экстрагента, относительно низкую концентрацию получаемого экстракта, неизбежные дополнительные тепловые потери при загрузке/выгрузке сырья, высокие удельные энергозатраты, большую длительность технологических операций (загрузка, заполнение, выгрузка, опорожнение, очистка и т.д.), сопутствующих основному процессу экстрагирования и др. Для интенсификации процесса экстрагирования в них могут применяться мешалки, требующие дополнительных эксплуатационных расходов.

2. Перколяция (вытеснение). Участок экстрагирования при данном способе состоит из 6–8 последовательно работающих перколяторов (батарея перколяторов), каждый из которых работает в периодическом режиме. Таким образом создается условный непрерывный процесс. Для обеспечения заданной производительности переработки используются несколько типовых линий батарейной перколяции. При данном способе происходит сокращение расхода необходимого экстрагента, однако неизбежно до 2–3 раз увеличивается время экстрагирования. Для более полного использования рабочего объема перколяторов и повышения эффективности экстрагирования цикорий измельчается до достаточно мелкой фракции (0,2–0,5 мм). Это приводит к повышению сопротивления насыпного слоя сырья в перколяторе потоку экстрагента. Более того в процессе экстрагирования цикорий еще и набухает. Поэтому экстрагирование осуществляется при повышении давления в перколяторах до 3 атм., что приводит к повышению температуры экстрагирования до 120°C. Такой режим экстрагирования в сочетании с длительным временем экстрагирования (около 6 ч) может приводить к значительной

потере полезных питательных веществ, в том числе инулина. Хотя перколяция считается более эффективным способом по сравнению с мацерацией, для нее так же, как и для периодических мацеров, сохраняются высокие удельные тепловые потери и энергозатраты, эксплуатационные расходы и трудозатраты. При этом появляется потребность в дополнительных производственных площадях для размещения большого числа перколяторов. В конечном итоге всё это сказывается на конечной себестоимости получаемого продукта.

3. Экстрагирование в шнековом экстракторе. В этом случае процесс экстрагирования проводится в более эффективном непрерывном режиме. Для реализации непрерывного режима работы экстрактора используется механическое транспортирующее устройство – шнек. При преимуществе непрерывного и противоточного режима работы шнекового экстрактора по сравнению с другими способами он имеет более сложную конструкцию, высокое удельное энергопотребление, большие габариты и массу, высокую покупную стоимость и повышенные расходы на обслуживание и ремонт движущихся узлов. При этом в шнековом экстракторе используется только до 60% его рабочего объема и присутствует относительно высокая неравномерность распределения материала по сечению аппарата. Всё это определяет повышенные капитальные и эксплуатационные затраты при низкой энергоэффективности, а наличие сложного движущегося узла в виде шнека значительно сокращает межремонтный срок эксплуатации и обслуживания экстрактора.

Из вышеуказанных способов получения экстрактов цикория на цикорных заводах наиболее распространенным способом является перколяция [2], проводимая при температурах до 120°C и времени экстрагирования около 6 часов. Несмотря на возможность при этих условиях значительной потери (термической

деструкции) инулина и других полезных питательных веществ [3], перколяция имеет повышенную экономическую эффективность по сравнению с другими способами переработки.

Для повышения эффективности процесса экстрагирования, снижения затрат и решения других вышеуказанных проблем традиционных способов экстрагирования ИВЦ «Инжехим» разработал пульсационный способ экстрагирования с применением пульсационного экстрактора непрерывного действия (ПЭНД). Данный способ является универсальным и подходит для экстрагирования различных видов сельскохозяйственного или лекарственного сырья растительного происхождения, например корнеплодов сахарной свеклы при производстве сахара [4], топинамбура, кофейных зерен, чаги, хмеля, солодки, розмарина и др. В случае применения ПЭНД для переработки цикория процесс экстрагирования осуществляется в щадящем температурном режиме (до 85°C) и времени экстрагирования до 1 часа. Это существенно сокращает и упрощает технологический процесс по сравнению с традиционной переработкой, что может обеспечить условия для максимального сохранения полезных питательных веществ, в том числе инулина, в получаемом товарном продукте.

Принцип работы ПЭНД показан на рисунке 2. Конструктивно ПЭНД представляет собой однокорпусный вертикальный цилиндрический аппарат. Сырье – измельченный и обжаренный цикорий – непрерывно подается в нижнюю зону загрузки ПЭНД. Сверху непрерывно подается горячая вода, являющаяся экстрагентом. Непрерывное движение сырья в экстракторе формируется за счет наложения на поток экстрагента вынужденных импульсов давления (низкочастотных пульсаций) от внешней системы создания пульсаций. В рабочей зоне ПЭНД цикорий и вода движутся навстречу друг другу,

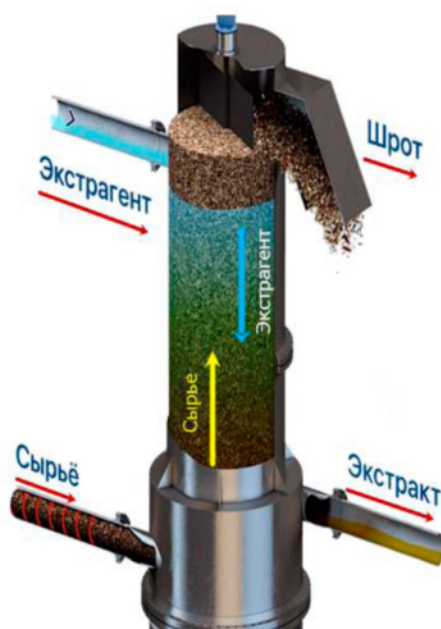


Рис. 2. Схема ПЭНД

Fig. 2. CPE scheme

создавая противоточный режим их взаимодействия, являющийся наиболее эффективным для максимальной степени извлечения при минимальном потреблении экстрагента. Экстракт цикория отбирается из нижней части ПЭНД. Отработанное и истощенное сырьё (шрот) непрерывно выгружается из ПЭНД сверху и направляется на последующую переработку или утилизацию. Заданная производительность ПЭНД обеспечивается габаритами экстрактора и амплитудно-частотными характеристиками пульсационных воздействий.

Все технические и технологические решения, используемые в ПЭНД, отрабатываются на разработанной ИВЦ «Инженхим» пилотной пульсационной установке (ППУ) (рис. 3).

ППУ разработана для проведения исследований по отработке и оптимизации технологий переработки различного сырья растительного, животного, минерального или техногенного происхождения, а также для получения образцов экстрактов для аналитического определения их состава.

В состав ППУ входят следующие узлы и агрегаты. Для подачи сырья используется бункер загрузки со шнековой подачей. Процесс экстрагирования ведется в колонне диаметром 2½" (DN 77,5 мм). Рабочая зона для экстрагирования в зависимости от сырья и технологии может при необходимости изменяться и составлять от 0,25 до 0,5 м. При этом производительность ППУ составляет до 5 кг/ч по исходному сырью в зависимости от его вида и состояния. Для подачи экстрагента используется насос подачи и емкость с возможностью подогрева до 95°C. Для удаления отработанного сырья используется шнековая выгрузка. Полученный экстракт насосом откачивается из установки и через систему фильтрации подается в приемную емкость. Также имеется система создания пульсаций и система автоматического управления и контроля. Основные элементы установки, контактирующие с рабочими средами, изготовлены из нержавеющей стали.

Для экспериментальных исследований по цикорию применялось сырьё в форме обжаренного цикория с размерами



Рис. 3. Пилотная пульсационная установка (ППУ) для экстрагирования

Fig. 3. Pilot pulsating unit (PPU) for extraction

дробления 5–20 мм (рис. 4) (без дополнительного измельчения), предоставленного одним из цикорийных заводов России. Процесс экстрагирования проводился в непрерывном режиме подачи и отвода как исходного сырья, так и экстрагента. Это позволило существенно ограничить развитие окислительных и бактерицидных процессов при проведении экстрагирования. Температура процесса составляла

85°C, время экстрагирования составляло 1 час. Температура и время были приняты исходя из условий оказания минимального влияния данных параметров и проведения экстрагирования в мягком щадящем режиме для сохранения полезных веществ. При этом ставилась задача достигнуть на указанной фракции сырья показателя эффективности экстрагирования в пульсационном режиме не хуже,



Рис. 4. Обжаренный цикорий с размерами дробления 5–20 мм, использованный для экстрагирования в ППУ.

Fig. 4. Roasted chicory crushed to sizes 5–20 mm and used for extraction at PPU

чем в традиционных действующих процессах, что позволит оценить перспективность использования ПЭНД.

Экстрагирование цикория в ППУ проводилось при пониженном соотношении цикорий : горячая вода, которое составляло 1 : 4,5. Данное соотношение в 1,5–2,5 раза ниже по сравнению с этим показателем в традиционных экстракторах. Такое существенное снижение требуемого количества экстрагента обусловлено повышенной эффективностью применяемого непрерывного и противоточного режима экстрагирования. В данном режиме на границе раздела фаз цикорий / вода постоянно поддерживалась максимальная разность концентраций извлекаемого вещества в сырье и в растворе, что позволило получить в ППУ экстракт цикория с концентрацией до 20% и достичь степени извлечения растворимых сухих веществ до 98% на более крупной фракции исходного сырья без его дополнительного измельчения. Полученные показатели указывают на повышенную эффективность проведения процесса экстрагирования в пульсационном непрерывном режиме работы.

На основе результатов экспериментальных исследований были проведены расчеты и масштабирование промышленного экстрактора ПЭНД на производительность по сырью 400 кг/ч, которая характерна для действующих цикорных заводов. Техничко-экономическое сопоставление ПЭНД с традиционными экстракторами приведено в таблице 1. При сопоставимой производительности по сырью требуемые энергозатраты на работу ПЭНД на один порядок ниже по сравнению с традиционными экстракторами, а затраты на выпарку и сушку ниже до 3,5 раз, что указывает на высокую эффективность пульсационного экстрагирования. Если учесть, что при использовании ПЭНД не требуется особо мелкое (тонкое) измельчение цикория, то это, в свою очередь, дополнительно к экстрагированию снижает затраты на стадию подготовки

сырья (измельчение) и опасности производства (в связи с отсутствием пылеобразования) и др. Помимо этого укрупненная фракция отработанного цикория после экстрагирования упрощает и удешевляет процессы фильтрации, разделения и очистки полученного экстракта. Расчеты габаритов ПЭНД на заданную производительность определили возможность использования одного аппарата высотой 5 м и диаметром 1 м. Число используемых аппаратов в случае с мацераторами – 2 и более (в зависимости от объема одного мацератора), а в случае с перколяторами – не менее 21 аппарата, которые собраны в три параллельно работающие линии по 7 перколяторов в каждой. Всё это указывает на более высокую эффективность ПЭНД при более низких капитальных затратах на оборудование для экстрагирования. При использовании ПЭНД общие удельные энергозатраты на получение 1 кг порошка растворимого цикория до 3,6 раз ниже по сравнению традиционными экстракторами. Кроме экономической эффективности ПЭНД, существенно важным фактором является возможность получения товарного продукта с высокими потребительскими свойствами. Проведение экстрагирования в ПЭНД при более низкой требуемой температуре процесса по сравнению с традиционными экстракторами в сочетании с малым временем экстрагирования могут способствовать меньшей потере инулина и других полезных питательных веществ и, соответственно, повышению качества получаемого быстрорастворимого порошка цикория.

При сравнительной оценке качественных и эксплуатационных параметров экстракторов разного типа (таблица 2) ПЭНД по всем показателям превосходит традиционные экстракторы получения экстракта цикория. Меньшее время экстрагирования и более полное использование объема аппарата в ПЭНД существенно снижает или исключает полностью окислительные

Таблица 1

Сравнение параметров процесса экстрагирования цикория в различных экстракторах

Table 1

Comparison of parameters of the chicory extraction process in various extractors

Наименование параметра	Единица измерения	Мацератор (DEVEX, Германия)	Перколятор	ПЭНД (Инжехим)
Требуемое измельчение цикория для эффективной работы экстрактора	мм	2-3	0,15–0,2	5–20
Производительность по исходному цикорию (измельченный, обжаренный)	кг/ч	450	390	400
Количество получаемого экстракта	кг/ч	4500	2010	1600
Содержание сухих веществ в экстракте	кг/ч	300	320	320
Концентрация получаемого экстракта	%	6,7	16	20
Соотношение цикорий : вода при экстрагировании	–	1:10	1:7	1:4,5
Температура процесса (max)	°С	85–95	100–120	80–85
Давление процесса (max)	атм. (изб.)	0	2–3	0,5
Число используемых аппаратов	шт.	не менее 2*	21**	1
Общий рабочий объем аппаратов	м ³	16	14,7	2
Затраты электроэнергии на работу экстрактора	кВт ч	110	70	10
Тепловые затраты (на выпарку и сушку) для получения порошка цикория с влажностью 10%	кВт ч	2660	1060	800
Общие удельные энергозатраты на получение 1 кг растворимого порошка цикория с влажностью 10%	кВт ч /кг порошка	9,24	3,53	2,53

Примечание:

- * 2 мацератора периодического действия, каждый из которых объемом 8 м³
- ** 3 линии по 7 перколяторов периодического действия в каждой линии.

и бактерицидные процессы. Отсутствие внутренних устройств и движущихся узлов в ПЭНД повышает межремонтный срок его эксплуатации по сравнению с другими экстракторами и снижает затраты на проведение профессионального технического обслуживания и капитального ремонта.

Ввиду указанных отличительных преимуществ и высоких эксплуатационных показателей пульсационного экстрактора возможно осуществлять эффективную модернизацию действующих

производств с традиционными экстракторами любого типа посредством применения ПЭНД и создавать новые энергоресурсосберегающие производства с повышенной доходностью и более низким сроком окупаемости. На рисунке 5 приведена традиционная схема технологической линии по получению растворимого порошка цикория из измельченных обжаренных корнеплодов цикория с применением перколяторов производительностью по сырью 390 кг/ч. Традиционный участок экстрагирования состоит из

Таблица 2

Качественное сравнение параметров оборудования для экстрагирования

Table 2

Qualitative comparison of extraction equipment parameters

Наименование параметра	Мацератор (DEVEX, Германия)	Перколятор	Шнековый экстрактор	Экстрактор ПЭНД (Инжихим)
Режим работы экстрактора	периодический	периодический	непрерывный	непрерывный
Наличие в рабочей зоне экстрактора движущихся механических узлов	мешалка	отсутствует	шнек	отсутствует
Сложность ремонта и обслуживания	средняя	средняя	высокая	низкая
Общий рабочий объем экстракторов	большой	большой	средний	малый
Тепловые потери при экстрагировании	высокие	высокие	средние	низкие
Потребляемая мощность экстрактором	высокая	средняя	высокая	низкая
Общие энергозатраты на получение 1 кг растворимого порошка цикория	высокие	средние	средние	низкие
Эксплуатационные расходы	высокие	высокие	высокие	низкие
Общая производственная площадь, занимаемая экстракторами	большая	большая	средняя	малая

3 линии (батареи) экстрагирования, которые работают параллельно. В каждой линии используется по 7 перколяторов периодического действия, работающих последовательно. Каждая такая линия может иметь автономную комплектацию оборудования на последующих стадиях переработки экстракта либо совмещенное по технологическим потокам для работы 3 линий одновременно. На схеме приведена компоновка линий, работающих независимо друг от друга (автономно). Поэтому помимо 21 перколятора здесь используются 6 сборников первичного экстракта, 9 выпарных аппаратов, 3 сборника густого экстракта и 3 сушилки.

На рисунке 6 приведена схема технологической линии с применением ПЭНД для аналогичной производительности. В

данной схеме помимо применения одного аппарата ПЭНД также возможно сокращение количества единиц оборудования для последующих стадий за счет сокращения необходимого для экстрагирования количества экстрагента. Поэтому с учетом непрерывности работы ПЭНД потребуется 2 сборника первичного экстракта, 3 выпарных аппарата, 1 сборник густого экстракта и 1 сушилка. Данное сокращение общего количества оборудования при модернизации с применением ПЭНД значительно снижает требуемую производственную площадь, капитальные, эксплуатационные и трудозатраты, сложность автоматизации, обвязки, обслуживания и ремонта оборудования. Данные преимущества позволяют с большой экономической эффективностью



Рис. 5. Традиционная линия получения растворимого порошка цикория производительностью 390 кг/ч по исходному обжаренному цикорию

Fig. 5. Conventional line for production of instant chicory powder with a feed (roasted chicory) capacity of 390 kg/h



Рис. 6. Линия получения растворимого порошка цикория после модернизации с применением ПЭНД производительностью 400 кг/ч по исходному обжаренному цикорию

Fig. 6. Line for production of instant chicory powder after modernization with the use of CPE with a feed (roasted chicory) capacity of 400 kg/h

модернизировать действующие цикорные заводы, на которых применяются перколяторы. Малые габариты и компактность ПЭНД позволяют устанавливать его непосредственно в цехе, параллельно с действующими перколяторами, с максимальным сохранением или сокращением сопутствующего оборудования. За счет этого возможно при необходимости повысить общую производительность переработки или проводить модернизацию поэтапно, что является экономически целесообразным. Значительное сокращение всех потребляемых ресурсов при применении ПЭНД вместо традиционных

перколяторов позволяет рассматривать реализацию новых тенденций развития производства за счет разделения технологических операций по месту и времени. Появляется возможность создавать новые компактные заводы по получению жидкого экстракта цикория вблизи полей, на которых выращивается цикорий, а переработку экстракта в конечный товарный продукт осуществлять централизованно на одном крупном предприятии. Это определит существенное снижение и оптимизацию транспортных расходов и логистики перевозок, сократит экологическое загрязнение, позволит развивать

инфраструктуру сельской местности и создавать дополнительные рабочие места. Успешное функционирование производств по переработке растительного сырья в полевых условиях позволит подготовить мощную базу для развития и реализации других направлений по переработке сырья. В частности, рассматривая переработку цикория и учитывая универсальность пульсационного способа экстрагирования, целесообразно дополнительно рассматривать переработку ботвы цикория, которая на сегодня не перерабатывается и не используется для извлечения находящихся в ней, так же как и в корнеплодах цикория, полезных питательных веществ [2]. Также открываются возможности для использования отработанного цикория (шрота), образующегося после экстрагирования, в виде кормовых добавок или удобрений. Это могло бы снизить себестоимость данных товарных продуктов, поскольку они образовывались бы и полностью использовались бы на месте без дополнительных затрат на транспортировку и складирование.

На основе проведенной работы можно сделать следующие выводы.

Разработанный специалистами ИВЦ «Инжехим» экстрактор ПЭНД позволяет экстрагировать обжаренные измельченные корнеплоды цикория с высокой степенью извлечения (до 98%) растворимых питательных веществ на более крупной фракции измельчения (5–20 мм). При этом энергозатраты на работу экстрактора ниже на один порядок, затраты на выпарку и сушку ниже до 3,5 раз, общие удельные энергозатраты на получение 1 кг растворимого цикория ниже до 3,6 раз по сравнению с традиционными экстракторами. Низкие капитальные затраты, простота обслуживания, а также малая занимаемая площадь позволяют устанавливать ПЭНД как дополнительное оборудование на существующих цикорных заводах при их модернизации, а также создавать энергоэффективные производственные линии на основе ПЭНД на новых цикорных заводах. Проведение процесса при щадящих условиях экстрагирования может позволить сохранить большее количество инулина и других питательных веществ, содержащихся в исходном сырье, по сравнению с традиционными технологиями экстрагирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
2. NIFTEM. Handbook of chicory, PM Formalization of micro food processing enterprises (PMFME) scheme. Sonipat: National Institute of Food Technology Entrepreneurship and Management, Government of India. 2020. URL: http://niftem.ac.in/newsite/wp-content/themes/niftem/assets/pmfme/learning_material/chicorywriteup.pdf
3. Lohmar K., Theurillat V. Chicory beverages. In Encyclopedia of food sciences and nutrition (2nd edition). 2003:1144–1149.
4. Энерго- и ресурсоэффективность диффузионного аппарата / Гурьянов А.И. [и др.] // Сахар. 2008. № 2. С. 44–46.

REFERENCES:

1. FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
2. NIFTEM. Handbook of chicory, PM Formalization of micro food processing enterprises (PMFME) scheme. Sonipat: National Institute of Food Technology Entrepreneurship and Management, Government of India. 2020. URL: http://niftem.ac.in/newsite/wp-content/themes/niftem/assets/pmfme/learning_material/chicorywriteup.pdf
3. Lohmar K., Theurillat V. Chicory beverages. In Encyclopedia of food sciences and nutrition (2nd edition). 2003:1144–1149.

4. Guryanov A.I. [et al.] Energy and resource efficiency of the diffusion apparatus. Sugar. 2008;(2):44–46. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Петрович Иовлев,
заместитель директора по инновациям
ООО «Инженерно-внедренческий центр
«Инжехим»

diow@inbox.ru

тел.: 8 (843) 570 23 18

Мансур Инсафович Фарахов, ди-
ректор ООО «Инженерно-внедренческий
центр «Инжехим», доктор технических
наук

info@ingehim.ru

тел.: 8 (843) 570 23 18

Роальд Рифкатович Акберов,
научный консультант ООО «Инженерно-
внедренческий центр «Инжехим», стар-
ший научный сотрудник Лаборатории
высокопроизводительных вычислений,
медицинской кибернетики и машинного
зрения Казанского (Приволжского) феде-
рального университета, кандидат техни-
ческих наук

ORCID 0000-0002-7298-5801

roaldakberov@yahoo.com

тел.: 8 (843) 570 23 18

Ильдар Равильевич Стекольщиков,
инженер ООО «Инженерно-внедренче-
ский центр «Инжехим»

ildarstek@gmail.com

тел.: 8 (843) 570 23 18

Артем Владимирович Ахмеров,
доцент кафедры «Энергообеспечение
предприятий, строительство зданий и
сооружений» ФГБОУ ВО «Казанский го-
сударственный энергетический универ-
ситет», кандидат химических наук

akhm@mail.ru

Dmitry P. Iovlev, deputy director for In-
novation of LLC Engineering-Promotional
Center «Ingehim»

diow@inbox.ru

tel.: 8 (843) 570 23 18

Mansur I. Farakhov, director of LLC
Engineering-Promotional Center «Ingehim»,
Doctor of Technical Sciences

info@ingehim.ru

tel.: 8 (843) 570 23 18

Roald R. Akberov, a scientific consul-
tant, LLC Engineering-Promotional Center
«Ingehim», a senior researcher at the Lab-
oratory of High-Performance Computing,
Medical Cybernetics and Machine Vision,
Kazan (the Volga Region) Federal Universi-
ty, Candidate of Technical Sciences

ORCID 0000-0002-7298-5801

roaldakberov@yahoo.com

tel.: 8 (843) 570 23 18

Ildar R. Stekolshchikov, an engineer
of LLC Engineering-Promotional Center
«Ingehim»

ildarstek@gmail.com

tel.: 8 (843) 570 23 18

Artem V. Akhmerov, an associate pro-
fessor of the Department of Energy Supply
of Enterprises, Construction of Buildings
and Structures, Kazan State Power Engi-
neering University, Candidate of Chemical
Sciences

akhm@mail.ru