

4. С.Ф. Данько, Т.Н. Данильчук, Д.Н. Юрьев, В.В. Егоров. Проращивание ячменя после воздействия звуком разной частоты. Пиво и напитки, №3, 2000, с. 22 – 23.
5. Т.П. Троцкая. Технология, средства и режимы послеуборочной и предпосевной обработки семян в озono-воздушной среде: Автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.20.01. Ленингр. сельхоз. ин-т. – Л., 1985, с. 16.
6. С.В. Конев, Г.В. Калер, В.К. Матус. Перекисное окисление липидов и межмолекулярные сшивки в дрожжевых и бактериальных мембранах под действием озона. Вести АН БССР, сер. биол. наук., №2, 1982, с. 54 - 58.
7. Т.Е. Зорина, В.П. Храповицкий, С.Н. Черенкевич. Действие озона на липосомы из фосфолипидов растительного происхождения. Вести АН БССР, сер. биол. наук., № 2, 1981, с. 38 - 41.
8. Т.В. Санина, М.И. Чубирко, Ю.С. Козлов, В.И. Мордасова, М.М. Романова. Медико-биологическая оценка хлеба из биоактивированного зерна пшеницы. Вопросы питания, №2, 2004, с. 25–28.

УДК 664.723

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ С ВОЗДУШНЫМ СЕПАРАТОРОМ

Левданский Э.И., докт. техн. наук, профессор, Левданский А.Э., докт. техн. наук, доцент,
Чиркун Д.И., канд. техн. наук, Опимах Е.В., студент
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В статье проанализированы существующие способы и оборудование для очистки зерна после уборки и перед посевом, выявлены их основные недостатки. Предложена новая конструкция машины для очистки и подготовки зерна к посеву, разработанная на основе многокаскадного пересыпного сепаратора и эффективно работающая во многих СПК Республики Беларусь.

In article existing ways and the equipment for clearing of grain after cleaning and before crops are analysed, their basic lacks are revealed. The new machine design for clearing and preparation of grain for the crops, developed on the basis of multicascade separator and effectively working on many agricultural enterprises of the Republic of Belarus.

Ключевые слова: зерно, воздушный сепаратор, граничный размер разделения, расчет.

По существующей технологии для достижения высокого качества зерно после уборки подвергают многократной очистке. Сначала, перед подачей в сушилку, оно проходит предварительную очистку, после сушки производят окончательную очистку, а семенное зерно подвергается дополнительной сортировке и калибровке.

При предварительной очистке стремятся из вороха зерна удалить, прежде всего, крупные примеси, а также некоторое количество мелких примесей. Так как влажность таких примесей значительно выше влажности зерна, то удаление их позволяет снизить на 1–3 % влажность зернового материала, поступающего на сушку [1]. Особо высокие требования предъявляются к очистке семенного материала. Многочисленными опытами установлено, что применение высококачественного калиброванного зерна в качестве семенного материала значительно повышает (до 10 центнеров с 1 га) урожайность [2].

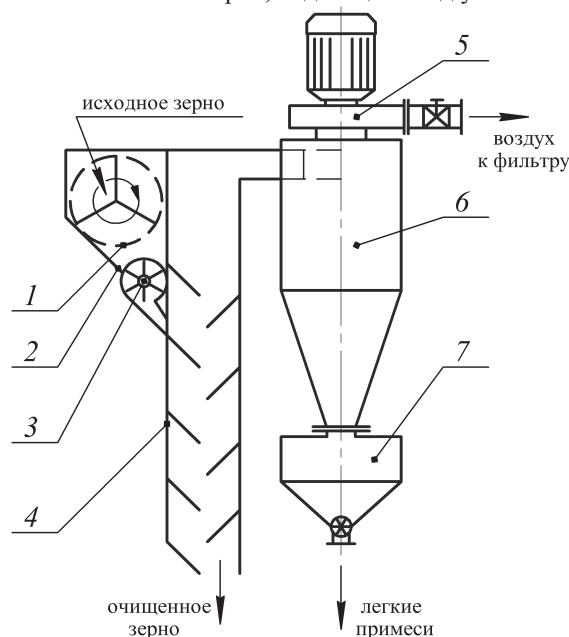
В настоящее время зерноочистительные машины изготавливаются многими фирмами различных стран, принцип их работы основан на воздушной сепарации и грохочении на ситах.

Грохочение на ситах является основным рабочим процессом очистки зерна, с помощью которого происходит разделение вороха зерна на крупную и мелкую фракции. С помощью ситовой грохочки при правильно подобранных ситах можно достичь высокого качества очистки зерна. Однако отдельные примеси, которые имеют близкую по величине с зерном площадь поперечного сечения, и не сильно отличающиеся от зерен длиной, ситовой очисткой удалить практически невозможно. Для выделения таких примесей применяют барабанные агрегаты с ячеистой рабочей поверхностью — так называемые триеры, а также машины вибропневматического сепарирования [3]. Но, несмотря на широкое распространение, эти машины отличаются низкой производительностью и не могут удалить те примеси, которые по геометрическим размерам очень близки к очищенному зерну.

Извлечение из зерновой массы трудноотделяемых примесей и неполноценного зерна возможно высокоэффективной воздушной сепарацией. Первым и самым главным недостатком для таких систем воздуш-

ной очистки является то, что в них воздушный поток воздействует на движущуюся зерновую массу однократно – это не позволяет достичь высокой четкости разделения.

Применительно к процессам очистки и калибровки зерна нами разработана конструкция зерноочистительной машины (рис. 1), где для воздушной классификации используется многокаскадный полочный сепаратор [4]. В данной конструкции на первой ступени предусмотрена очистка от крупных примесей, а на второй – от легких и мелких. Очистка от крупных примесей осуществляется во вращающемся перфорированном барабане 1, внутрь которого по течке подается зерно. Так как барабан установлен с наклоном в сторону, противоположную от загрузочного торца, то при его вращении зерно с ворохом будет перемещаться вдоль барабана. При движении зерно и мелкие примеси будут просыпаться через отверстия барабана в камеру 2. Оставшиеся в барабане крупные примеси, достигнув противоположного торца барабана, выпадают из него и по лотку удаляются из машины. Из камеры 2 зерно с мелкими примесями питателем 3 подается в многокаскадный полочный сепаратор 4, где, пересыпаясь с полки на полку, будет опускаться вниз. В тоже время вентилятором 5 через сепаратор 4 снизу вверх просасывается воздух, который будет многократно пронизывать потоки зерна, падающего под углом с каждой полки.



1 — перфорированный барабан; 2 — камера; 3 — питатель;
4 — полочный сепаратор; 5 — вентилятор; 6 — циклон; 7 — бункер

Рис. 1 – Зерноочистительная машина с многокаскадным полочным сепаратором

Скорость воздуха в криволинейных каналах полочного сепаратора можно устанавливать близкой к скорости витания полноценных зерен, не боясь их уноса, так как полки, находящиеся выше питателя 3, исключают это явление. Скорость воздуха в многокаскадном полочном сепараторе может регулироваться заслонкой или вентилем, установленным на выходном патрубке вентилятора 5. Мелкие и легкие фракции, унесенные воздухом из сепаратора, поступают в циклон, где отделяются от воздуха и опускаются вниз, а воздух отправляется на фильтрование или сбрасывается в атмосферу.

Отделение легких и мелких примесей от зерна в полочном сепараторе является многократной гравитационной классификацией по плотности и размеру частиц. Одним из основных показателей процесса классификации – граничный размер разделения $\delta_{гр}$. Если размер частицы больше $\delta_{гр}$, то сила тяжести превышает силу аэродинамического сопротивления, и частица движется вниз. Если размер частицы меньше $\delta_{гр}$, то частица движется вместе с потоком. Таким образом, оценить граничный размер разделения можно из соотношения силы тяжести $G = mg$ и силы аэродинамического сопротивления

$$F_B = \xi k_r S \frac{\rho v_{отн}^2}{2}, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от режима обтекания; k_T – коэффициент формы; S – миделево сечение частицы, m^2 ; ρ – плотности частиц, kg/m^3 ; $v_{отн}$ – скорость частицы относительно потока, m/s .

Однако, как показывает практика и работы других исследователей, теоретический расчет граничного размера разделения существенно расходится с результатами экспериментов. Причиной этого является неоднородность профиля скоростей воздушного потока в рабочем объеме сепаратора. Поэтому было решено смоделировать процесс разделения в сепараторе как стационарное двухфазное течение текучей среды с твердыми частицами численным способом.

Движение воздуха через сепаратор можно описать при помощи уравнения движения Навье-Стокса

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}, \quad (2)$$

где ∇ – оператор Гамильтона; Δ – оператор Лапласа; t – время, s ; ν – коэффициент кинематической вязкости, m^2/s ; ρ – плотность, kg/m^3 ; p – давление, Pa ; \vec{v} – векторное поле скоростей; \vec{f} – векторное поле массовых сил.

Уравнение Навье-Стокса дополнялось уравнением неразрывности потока

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0, \quad (3)$$

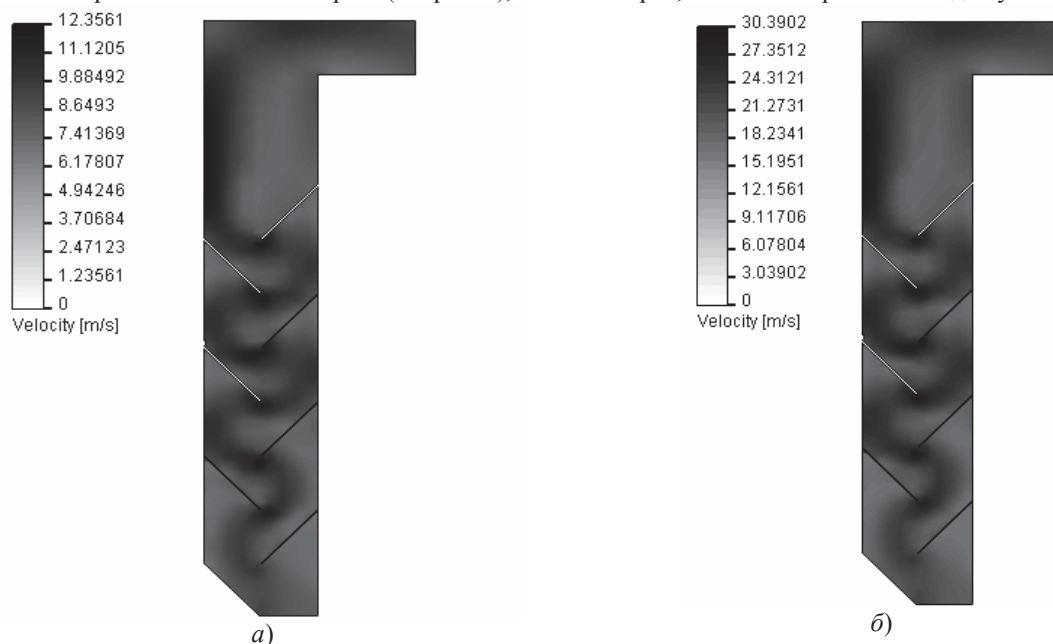
уравнением состояния идеального газа

$$p = \rho RT, \quad (4)$$

и замыкалось двумя уравнениями k - ϵ модели турбулентности.

Уравнения (2 – 4) решались численным способом в программе COSMOSFloWorks. Результаты решения позволили получить профили скоростей воздушного потока в сепараторах различного размера при разных расходах воздуха. Одни из характерных профилей показаны на рис. 2. Они получены для модели сепаратора со следующими геометрическими параметрами: размеры поперечного сечения 200×200 мм, количество пересыпных полок – 8, угол наклона полок – 45° , полки расположены в шахматном порядке и наполовину перекрывают сечение аппарата.

Установлено, что изменение расхода воздуха практически не влияет на структуру профиля скоростей воздуха в сепараторе. В тоже время в локальных областях скорость воздуха может в несколько раз превышать среднюю скорость на сечение аппарата (см. рис. 2), либо наоборот, снижаться практически до нуля.



a) — скорость воздуха на сечение сепаратора 2 м/с (расход 0,08 м³/с);
 б) — скорость воздуха на сечение сепаратора 5 м/с (расход 0,2 м³/с)

Рис. 2 – Профили скоростей воздушного потока в сепараторе

Размеры поперечного сечения сепаратора от 50×50 мм до 300×300 мм при сохранении геометрического подобия расположения пересыпных полок также незначительно влияют на структуру профиля скоростей.

После исследования профиля скоростей в расчетную модель вводился поток материала, и движение воздуха уже моделировалось как двухфазное стационарное течение, при этом силовым воздействием частиц на движущийся воздух пренебрегали, так как оптимальная концентрация твердой фазы по результатам экспериментальных исследований таких сепараторов не превышает 2–3 кг/кг воздуха. Коэффициент сопротивления частиц рассчитывался по формуле Хендерсона [5]

$$\xi = \frac{24}{Re} + \frac{4,12}{1 + 0,03Re + 0,48\sqrt{Re}} + 0,38, \quad (5)$$

где Re — число Рейнольдса.

Отличие формы зерен от шарообразной учитывалось коэффициентом формы $k_f = 1,76$ [6]. Эквивалентный диаметр зерен рассчитывался как среднее геометрическое трех измерений $d_s = \sqrt[3]{l b h}$. Контакт зерен с корпусом сепаратора и полками учитывался коэффициентом восстановления $k_v = 0,4$.

В результате обработки полученных при моделировании данных были построены графические зависимости граничного размера разделения $\delta_{гр}$ для зерен различных культур от скорости воздуха на сечение сепаратора, представленные на рис. 3. Граничный размер разделения $\delta_{гр}$ на графиках соответствует среднегеометрическому размеру зерна d_s .

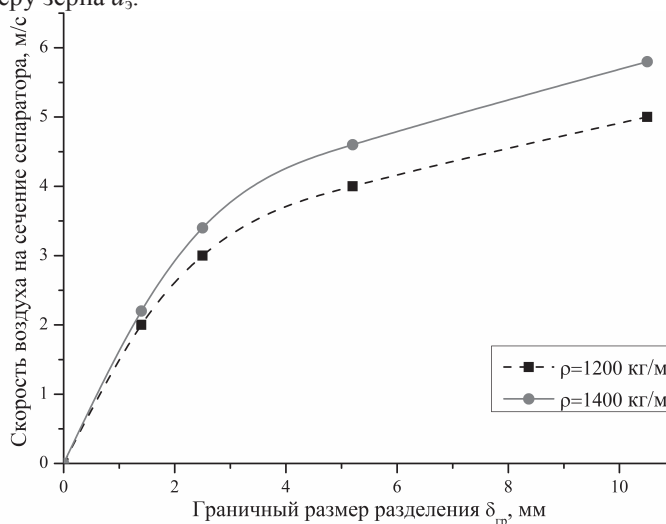


Рис. 3 – Зависимость граничного размера разделения зерновых культур от скорости воздуха на сечение сепаратора

Таким образом, по зависимостям на рис. 3 можно определять необходимую скорость воздуха, отнесенную к поперечному сечению сепаратора, при требуемой величине граничного размера разделения. Частицы размером больше $\delta_{гр}$ будут ссыпаться вниз, а частицы размером меньше $\delta_{гр}$ или меньшей плотности, чем зерно, будут увлекаться воздушным потоком вверх.

По известной скорости воздуха и принятым размерам поперечного сечения сепаратора рассчитывается необходимый расход воздуха. Сопротивление многокаскадных полочных сепараторов не превышает 3 – 4 кПа. По требуемому расходу и сопротивлению подбирается вентилятор. Предельная производительность по исходному материалу определяется из соотношения не более 3 кг исходного материала на 1 кг проходящего через сепаратор воздуха. Если производительность по исходному материалу недостаточна, то в таких случаях рекомендуют не увеличивать размеры поперечного сечения, а секционировать сепаратор из нескольких отдельных колонок с размером сечения, как правило, не более 200×200 мм. Количество колонок, работающих параллельно, рассчитывают из соотношения требуемой производительности и предельной для одной секции.

Для проведения производственных испытаний были разработаны два варианта зерноочистительных машин с многокаскадными полочными сепараторами. Первый вариант, производительностью 3 тонны в час, предназначен для подготовки высококачественного семенного материала. Сепаратор данной машины имеет по высоте 9 наклонных полок, исходный материал подается на третью сверху полку. Нами проведены исследования данной машины с целью определения возможности удаления неполноценных легких зерен из семенного материала. Для этого использовалось зерно ячменя и рапса, которое прошло

окончательную очистку на машине «Петкус» и было подготовлено как семенной материал. При исследовании скорость воздуха в многокаскадном сепараторе изменялась в широком диапазоне, что позволяло отбирать в виде легкой фракции от 5 до 40 % более легкого зерна. Высокая эффективность удаления неполноценных легких зерен с фракцией, уносимой воздухом вверх, была хорошо видна визуально уже при отборе 5 % зерна. Однако для получения более точных данных нами был использован известный способ определения массы 1000 зерен. Для этого определялась масса 1000 зерен исходного материала, а также масса такого же количества зерен, унесенных вверх с воздухом и опустившихся вниз в виде тяжелой фракции. При этом для всех опытов определялась процентная доля отбираемого зерна в виде легкой фракции от общего количества зерна, подаваемого на очистку.

Результаты данных исследований представлены на графиках рис. 4.

График на рис. 4 (а) построен по результатам классификации ячменя, а график на рис. 4 (б) – для рапса. Из графика рис. 4 (а) видно, что начальная масса 1000 зерен ячменя составляла 40,5 грамм, а при отдувке 10 % легких зерен плотность посевного материала стала 42,5 грамм. Плотность тысячи зерен удаленной вверх составляет всего 26,5 грамм. При отборе в виде легкой фракции 40 % зерна плотность 1000 зерен возрастает до 45,5 грамм, а легкой фракции до 32,5 грамм. Аналогичные данные получены при сепарации рапса, что наглядно видно из графика рис. 4(б), только здесь масса тысячи зерен почти в десять раз меньше массы зерен ячменя. В настоящее время два экземпляра машин данного варианта успешно эксплуатируются в хозяйствах.

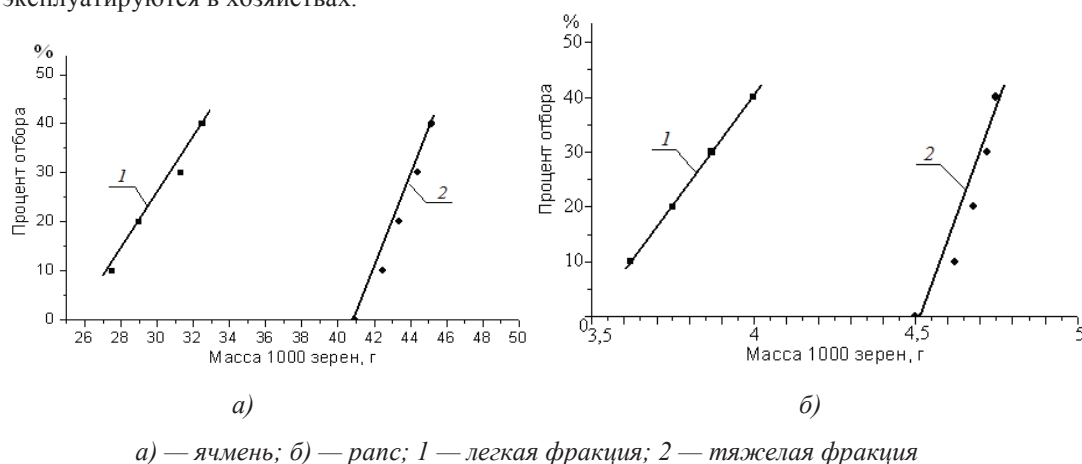


Рис. 4 – Изменение массы зерен в зависимости от доли отбора с воздушным потоком

Второй вариант зерноочистительной машины с многокаскадным полочным сепаратором предназначен для предварительной очистки зерна. Здесь производительность машины требуется значительно выше, поэтому многокаскадный сепаратор имеет ширину 1 метр, а по высоте установлено 6 наклонных полок с подачей зернового вороха в среднюю часть. Испытания данной машины показали, что она обеспечивает производительность при предварительной очистке зерна пшеницы, тритикале и ржи до 20 тонн в час, ячменя и овса до 16 тонн в час, а рапса 8 тонн в час. При предварительной очистке зерна для отделения крупных примесей следует использовать барабан с отверстиями перфорации 12 мм, а при очистке рапса с отверстиями 4 мм. Степень очистки всех зерновых культур составляет 75–80 %. Особо значимые результаты получаются при очистке рапса. Здесь при начальной засоренности 20 % в очищенном рапсе содержится менее 2 % примесей, что исключает его повторную очистку после сушки, и его можно сразу отправлять на перерабатывающие предприятия.

На данной зерноочистительной машине можно производить и окончательную очистку зерна после сушки, однако в этом случае необходимо устанавливать барабан с размером отверстий перфорации 8 мм, и производительность при этом будет составлять 10 тонн в час. Установлено, что за счет многократного взаимодействия влажного зерна с воздухом в криволинейных каналах сепаратора влажность его снижается на 1–2 %.

Выводы

Разработанная зерноочистительная машина обеспечивает высокое качество очистки зерна при незначительных эксплуатационных затратах, конструктивно проста, за счет чего имеет невысокую стоимость по сравнению со многими аналогами, надежна в эксплуатации. Проведенные исследования позволяют осуществлять подбор и расчет основных технологических и конструктивных параметров зерноочистительной машины. В настоящее время более 30 таких машин успешно эксплуатируются в СПК Республики Беларусь.

Литература

1. Пиппель, Г. Эффективность послеуборочной обработки зерна на универсальных очистительных машинах фирмы «Петкус Вута» / Г. Пиппель // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1995. – №1. – С. 26–30.
2. Тарушкин, В. И. Эффективность дизлектрической сепарации семян / В. И. Тарушкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996.–№5. – С.11–13.
3. Бутковский, В. А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства / В. А. Бутковский, Е. М. Мельников. – М.: Агропромиздат. – 1989. – 464 с.
4. Пневмосепаратор: пат. 5061 Респ. Беларусь, МПК7 В 04 В 4/00 / Э. И. Левданский, А. Э. Левданский, С. Э. Левданский; заявитель Э. И. Левданский. – № а 19990403; заявл. 27.04.99; опубл. 30.12.99 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1999. – № 4. – С. 45.
5. Henderson C. B. Drag coefficients of spheres in continuum and rarefied flows // AIAA Journal v.14, №6, June 1976, p. 707–708.
6. Сапожников, М. Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / М. Я. Сапожников. – М.: Высшая школа, 1971. – 382 с.

УДК 664.2: 621.384.52

УСТАНОВКА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ КРАХМАЛА ОКИСЛИТЕЛЕМ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

Литвяк В.В., канд. хим. наук

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск

Создана простая, эффективная и надежная в эксплуатации, энерго- и ресурсосберегающая экологически чистая, работающая по замкнутому циклу установка для модификации крахмала окислителем в газовой среде, которую можно использовать в технологиях, требующих окисления дисперсных веществ без загрязнения посторонними примесями продуктов реакции. За счет проведения процесса окисления крахмала в замкнутом цикле и обеспечения поддержания оптимальной концентрации окислителя в различных зонах протекания процесса достигнуто снижение расхода окислителя, снижение потерь готового продукта при требуемой степени окисления исходного крахмала, создана возможность получения чистого продукта при высокой производительности установки.

It is created simple, effective and reliable, energo- and saving up resources ecologically pure installation working on a closed cycle for updating of starch by an oxidizer in the gas environment which can be used in the technologies demanding oxidation of disperse substances without pollution by extraneous impurity of products of reaction. At the expense of carrying out of process of oxidation of starch in the closed cycle and maintenance of maintenance of optimum concentration of an oxidizer in various zones of course of process decrease in the expense of an oxidizer, decrease in losses of a ready product is reached at demanded degree of oxidation of initial starch, possibility of reception of a pure product is created at high efficiency of installation.

Ключевые слова: установка, модификация, крахмал, окислитель, газовая среда

Известна установка для проведения модификации крахмала путем его окисления [1], предусматривающая наличие емкости для приготовления крахмальной суспензии, электролизной камеры, в которой анодное и катодное пространство разделены ионообменной мембраной, графитовый анод и катод из нержавеющей стали, сборник католита, сборник анолита и емкость для приготовления водного раствора солей. В этой установке крахмал обрабатывают в виде суспензии в водном растворе соли, прокачивая ее через анолитную камеру. При окислении крахмал находится во взвешенном состоянии в потоке анолита в анолитной камере.

Недостатками установки являются: низкая производительность, высокая энергоемкость вследствие необходимости перекачивания большого количества жидкости в течение длительного периода времени, сложность в изготовлении и эксплуатации. К тому же, в этой установке нельзя получить крахмал высокого качества вследствие загрязнения его солями.

Также известен пенно-вихревой газожидкостной реактор [2] для проведения химических реакций, в которых основное сопротивление процессу связано с массопереносом реагентов из газа в жидкость. Реактор содержит вихревую камеру с направляющим аппаратом, сепарационную камеру со сливными