

Совершенствование гидроциклонных установок для линий производства крахмала

Николай Р. Андреев¹ vniik@arrisp.ru
Дмитрий Н. Лукин¹ dmitry.lukin@inbox.ru
Юрий А. Холмянский¹
Татьяна Р. Карпенко¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, Красково, Московской обл., 140051, Россия, vniik@arrisp.ru

Реферат. Мультициклонные установки содержат до 15 ступеней разделения (мультициклонов). Повышение качества работы при уменьшении количества ступеней разделения может быть достигнуто увеличением выхода крахмала из ступени при уменьшении выхода жидкой фазы. Для достижения этого за ступень разделения приняты не отдельные мультициклоны, а соединение трёх мультициклонов по перекрёстной схеме. Показано, что у ступени разделения, состоящей из трёх мультициклонов, изменение в перераспределении компонентов суспензии происходит за счёт конструктивного решения ступени разделения, в которой жидкие сходы соединяются только с жидкими сходами, а сгущённые сходы – только со сгущёнными. В данной ступени получено увеличение выхода крахмала в сгущённом сходе при уменьшении выхода всего продукта, и в одной ступени получен более качественный крахмал, т. к. его стало больше в сгущённом сходе ступени. Однако и при таком соединении мультициклонов крахмал попадает в жидкий сход каждой ступени, который поэтому дополнительно сгущается для выделения крахмала путём соединения четырёх мультициклонов в одну ступень разделения. Новая многоступенчатая мультициклонная установка состоит из 12 мультициклонов вместо 15, что уменьшает капитальные и эксплуатационные расходы. Таким образом, возможно, манипулируя схемой соединения микроциклонов в установке, получить требуемый технологический результат с улучшенными экономическими показателями. ВНИИ крахмалопродуктов разработаны линии по переработке картофеля на сухой крахмал мощностью 10 и 50 т в сутки по исходному сырью на базе гидроциклонных установок, что позволяет организовать без больших капитальных затрат новое производство. Для исключения влияния входного потока на качество фракционирования суспензии разработана конструкция гидроциклона с изменённым внешним способом подачи суспензии, при котором в микрогидроциклон подаётся уже вращающийся поток продукта.

Ключевые слова: гидроциклонные установки, мультициклон, ступени разделения, крахмал, суспензия, жидкий сход, сгущённый сход

Improvement of hydrocyclone installations for starch production lines

Nikolai R. Andreev,¹ vniik@arrisp.ru
Dmitrii N. Lukin,¹ dmitry.lukin@inbox.ru
Yuri A. Kholmyanskii,¹
Tatiana P. Karpenko¹

¹ Research all-Russian Institute of starch products, Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia

Summary. Multicyclonic installations contain up to 15 steps of division (multicyclones). Improvement of work quality at the reduction of quantity of steps of division can be reached by increasing an starch yield from the step with the reduction of an exit of a liquid phase. To achieve that, a connection of three multicyclones according to the cross scheme is used as for a step of division instead of a separate multicyclone. It is shown that at the three multicyclones a step of division of change in redistribution of suspension components is created the design solution of the division step where liquid products are going out with only to liquid ones, and condensed products – only with condensed ones. At this step the starch yield increases in the condensed product while reducing the end product volume; therefore is received in one step the higher quality starch because of its increased quantity in the condensed descent product step. However, at such connection of multicyclones starch gets to a liquid descent of each step, therefore it is condensed additionally to release starch by connecting of four multicyclones in to one step of division. New multistage multicyclonic installation consists of 12 multicyclones instead of 15 ones. That reduces capital and operational costs. Thus, varying manipulating the scheme of microcyclones connection in the unit, it is possible to receive the required technological result with the improved economic indicators. All-Russian Research Institute of starch products has developed lines of potato processing for dry starch on the basis 10 and 50 t / per day of initial raw materials using hydrocyclone installations. That allows to organize a new production without big capital expenditures. The hydrocyclone design with the changed external way of supply of suspension is developed at which the flow enters the already rotating product to exclude the influence of an inflow on the quality of suspension fractionation.

Keywords: hydrocyclone installations, a multicyclone, division steps, starch, suspension, a liquid product, the condensed product.

Для цитирования

Андреев Н. Р., Лукин Д. Н., Холмянский Ю. А., Карпенко Т. Р. Совершенствование гидроциклонных установок для линий производства крахмала // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 30–36. doi:10.20914/2310-1202-2016-3-30-36

For citation

Andreev N. R., Lukin D. N., Holmyanskii Yu. A., Karpenko T. R. Improvement of hydrocyclone installations for starch production lines. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 3. pp. 30–36. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-3-30-36

Введение

Одной из наиболее сложных операций в крахмальном производстве является очистка крахмала от взвешенных и растворимых примесей. Для этой цели могут быть использованы различные машины и агрегаты: барабанные, барабанно-струйные, центробежно-лопастные, дуговые, сотрясательные сита, барабанные вакуум-фильтры, шнековые осадительные центрифуги, тарельчатые сепараторы с частотой вращения роторов 5–6 тыс. об/мин и фактором разделения 3–4 тыс. [1, 2]. Все эти аппараты в настоящее время могут быть заменены установками гидроциклонов, диаметр цилиндрической части которых для повышения эффективности осаждения крахмала уменьшен до 20–30 мм, а фактор разделения выше, чем у большинства применяемых аппаратов. Производительность одного микрогидроциклона невелика – около 0,5 м³ крахмального молока концентрацией 6–7% сухих веществ (СВ) в час, поэтому применяют мультициклоны – батареи гидроциклонов, включающих большое количество параллельно работающих микрогидроциклонов. ВНИИ крахмалопродуктов разработал и внедрил в производство станции гидроциклонов производительностью 100 и 200 т/сут. картофеля [2].

Мультициклонные установки содержат до 15 ступеней разделения (мультициклонов), соединённых в единый аппарат. Большое количество ступеней является существенным недостатком подобных установок, так как требует повышенного расхода электроэнергии и металла, увеличения расходов на изготовление установок, на приобретение насосов, электродвигателей и т. п.

Уменьшение количества ступеней разделения является важным фактором для эффективного применения многоступенчатых гидроциклонных установок в крахмальном производстве.

В картофелекрахмальном производстве работают мультициклонные установки на выделении крахмала из картофельной каши (измельчённый картофель), содержащие 15 ступеней разделения (мультициклонов), соединённых между собой по противоточной схеме.

Большое количество ступеней вызвано необходимостью максимально исключить потери крахмала при выделении мезги и растворимых веществ. Для этого в микроциклонах, которые установлены в мультициклонах, увеличивают диаметр отверстия для выхода сгущённого схода d_2 (рисунок 1), содержащего в основном крахмал, что уменьшает количество его уноса с жидким сходом.

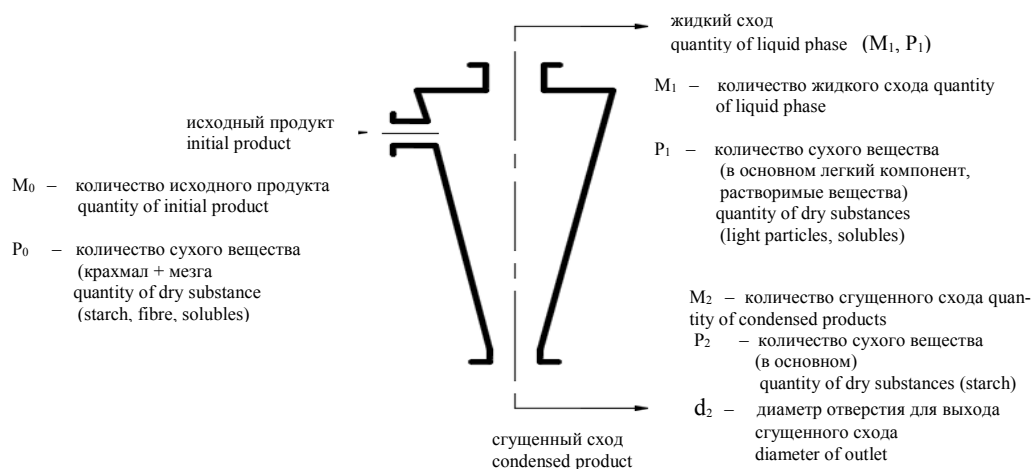


Рисунок 1. Микроциклон

Figure 1. Microcyclone

При этом ухудшается качество промывания крахмала, т. к. вместе с ним через отверстие d_2 в сгущённый сход попадает увеличенное количество жидкой фазы суспензии, содержащей растворимые вещества и мезгу. Ухудшение промывания в одной ступени компенсируется применением большего количества ступеней и наличием имеющей технологические преимущества противоточной промывки, при которой выделенные с жидким сходом на каждой ступени примеси вновь возвращаются в установку

на предыдущую ступень и вновь требуется их выделение. Поэтому важной задачей для подобных установок является уменьшение количества ступеней обработки исходного продукта с получением качественного крахмала при его максимальном выходе. Уменьшение количества ступеней обработки возможно только за счёт более качественной работы каждой ступени. Повышение качества работы может быть достигнуто увеличением выхода крахмала из ступени при уменьшении выхода жидкой фазы.

Поясним этот вывод примером, для чего введём некоторые определения и обозначения, принятые в крахмалопаточном производстве. Работа одного микроциклона, как и ступени разделения (мультициклонов), характеризуется двумя коэффициентами – φ и δ [3]. Коэффициент δ показывает, какая часть от исходного количества продукта (крахмал + жидкая фаза с примесями) M_0 (рисунок 1) поступает в сгущённый сход M_2 :

$$\delta = M_2 / M_0. \quad (1)$$

Коэффициент φ характеризует часть исходного крахмала P_0 , поступающего в сгущённый сход P_2 (рисунок 1):

$$\varphi = P_2 / P_0. \quad (2)$$

Значения этих коэффициентов у микроциклона зависят от его конструктивных параметров. Наиболее легко эти параметры изменяются при изменении диаметра отверстия микроциклона d_2 , коэффициенты φ и δ микроциклона определяются экспериментально. Эти коэффициенты связаны между собой функционально: $\varphi = f(\delta)$, увеличение или уменьшение δ микроциклона всегда ведёт соответственно к увеличению или уменьшению коэффициента φ . Иными словами, желание выделить в микроциклоне как можно больше крахмала обязательно ведёт к увеличению выхода всего продукта вместе с примесями. На практике для уменьшения потерь крахмала применяют микроциклоны с $\varphi = 0,8-0,9$, что приводит к высоким коэффициентам δ , равным $0,3-0,4$. Для изменения этой нежелательной функциональной связи за ступень разделения приняли не отдельный мультициклон, а соединение трёх мультициклонов по перекрёстной схеме (рисунок 2), в которой возможно увеличение φ ступени при уменьшении коэффициента δ ступени, что доказано расчётами и опытной проверкой.

Иными словами, возможно увеличение выхода крахмала в сгущённом сходе при уменьшении жидкой фазы в этом сходе. Это изменение в перераспределении компонентов суспензии происходит за счёт конструктивного решения ступени разделения, в которой жидкие сходы соединяются только с жидкими сходами, а сгущённые сходы – только со сгущёнными. У такой ступени разделения, состоящей из трёх мультициклонов с коэффициентами, например $\varphi = 0,8$; $\delta = 0,3$, $\varphi_{ст.}$ и $\delta_{ст.}$ определяются по следующим формулам:

$$\varphi_{ст.} = 2\varphi^2 - \varphi^3 / 1 + \varphi^2 - \varphi; \quad (3)$$

$$\delta_{ст.} = 2\delta^2 - \delta^3 / 1 + \delta^2 - \delta, \quad (4)$$

$$\text{откуда } \varphi_{ст.} = 0,914, \text{ а } \delta_{ст.} = 0,194. \quad (5)$$

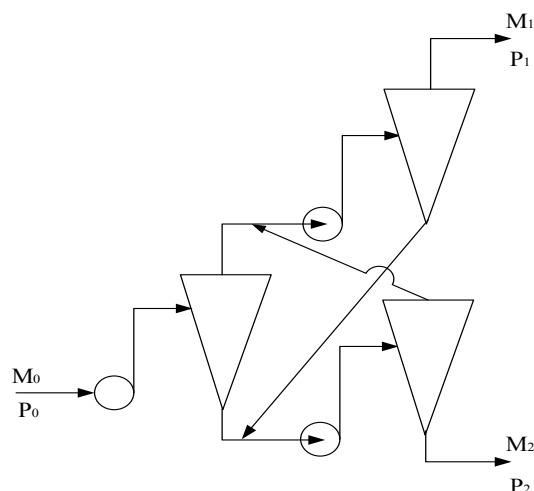


Рисунок 2. Ступень, состоящая из трёх мультициклонов
Figure 2. Stage consists of three multicyclones

Таким образом, в данной ступени получено увеличение выхода крахмала в сгущённом сходе на 11,4% (с 80 до 91,4%) при уменьшении выхода всего продукта на 10,6% (с 30 до 19,4%). В одной ступени получен более качественный крахмал, т. к. его стало больше в сгущённом сходе ступени. Однако и при таком соединении мультициклонов не удаётся выделить 100% крахмала, и он попадает в жидкий сход каждой ступени. Поэтому жидкий сход каждой ступени необходимо дополнительно сгустить для выделения крахмала. Такое соединение, состоящее из четырёх мультициклонов (рисунок 3), положено в основу проектирования новой более эффективной гидроциклонной установки.

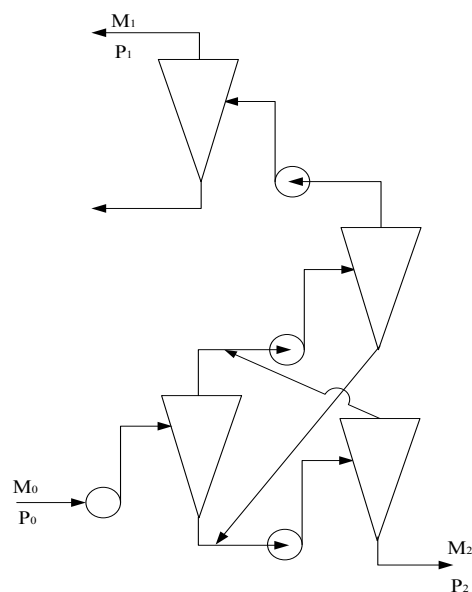


Рисунок 3. Ступень, состоящая из четырёх мультициклонов
Figure 3. Stage consist of four multicyclones

Новая многоступенчатая мультициклонная установка (рисунок 4) состоит из 12 мультициклонов (с насосами), объединённых в три блока I; II; III, которые в установке соединены противоточно по жидкому сходу.

Общее уменьшение мультициклонов в установке обеспечивается более эффективной работой

каждой ступени, которое стало возможным при увеличении коэффициента $\varphi_{ст.}$ и понижении коэффициента $\delta_{ст.}$. Использование для процесса 12 мультициклонов вместо 15 экономит энерго- и металлозатраты, что уменьшает капитальные и эксплуатационные расходы.

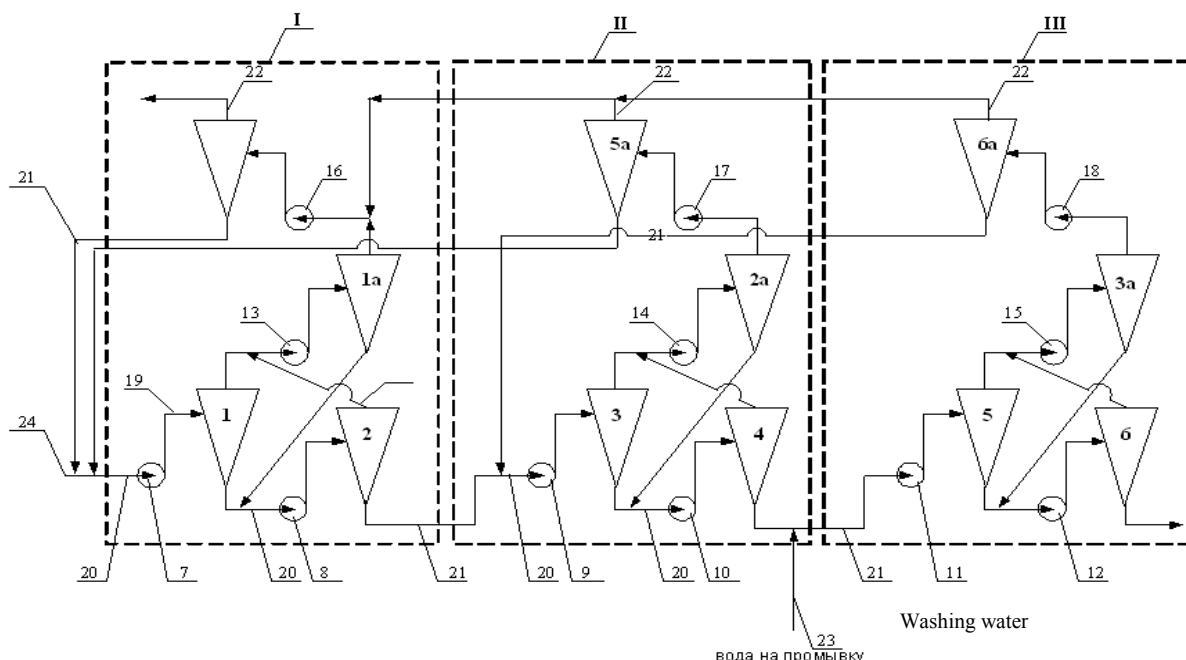


Рисунок 4. Схема гидроциклонной установки

Figure 4. Scheme of hydrocyclone installation

При нормальной работе установки исходная суспензия, картофельная кашка через патрубок 24 поступает в патрубок 20 насоса 7 и через патрубок 19 подаётся в мультициклон 1 блока I. Под действием центробежной силы, которая развивается в микроциклонах, установленных в мультициклоне, происходит разделение продукта на сходы – сгущённый, обогащённый крахмалом и жидкий, обогащённый мезгой и растворимыми примесями. Сгущённый сход с мультициклона 1 смешивается со сгущённым сходом мультициклона 1а и насосом 8 подаётся в мультициклон 2 блока I; жидкие сходы мультициклонов 1 и 2 смешиваются и насосом 13 подаются в мультициклон 1а для выделения крахмала из жидкого схода. Жидкий сход мультициклона 1а смешивается с жидкими сходами мультициклонов 5а и 6а. Эта смесь насосом 16 подаётся в мультициклон 4а для дополнительного выделения крахмала во избежание его потерь. Жидкий сход мультициклона 4а, содержащий мезгу и растворимые вещества, выводится из установки. Сгущённый сход мультициклона 4а соединяется с исходным продуктом, несколько разбавляя его,

чем уменьшает содержание растворимых веществ в исходном продукте, поступает в насос 20 и далее по схеме.

Сгущённый сход блока I, он же сгущённый сход мультициклона 2, смешивается со сгущённым сходом мультициклона 6а блока III, который разбавляет его, и насосом 9 этот продукт подаётся для разделения в блок II. Распределение продуктов в нем происходит аналогично блоку I. Густой сход мультициклона 5а блока II для создания противотока возвращается на вход ступени I.

Густой сход блока II, он же густой сход мультициклона 4, содержащий крахмал, очищенный от примесей, соединяется с чистой водой, поступающей из патрубка 23, разбавляется и насосом 11 для окончательной очистки подаётся в блок III. Густой сход блока III (мультициклона 6) представляет собой суспензию, содержащую крахмал с незначительным (допустимым) количеством примесей. Густой сход ступени 6а в соответствии с принципом противотока поступает на вход блока II. Распределение продуктов внутри блока III происходит аналогично блокам I и II.

Таким образом, возможно, не меняя конструктивные размеры микроциклонов, манипулируя схемой соединения их в установке, получить требуемый технологический результат с улучшенными экономическими показателями. Конструкция мультициклонной установки защищена патентом РФ [4].

Уменьшение количества ступеней возможно не только при рационализации схемы соединения мультициклонов в установке, но и за счёт изменения работы гидроциклона (микроциклона), являющегося основным рабочим элементом каждой ступени.

Как известно, работа гидроциклона заключается в придании вращения суспензии внутри корпуса гидроциклона с целью создания центробежной силы, необходимой для послойного распределения частиц в зависимости от их массы и размера.

Вращение потока внутри гидроциклона образуется за счёт струи продукта, входящего в него под давлением по касательной к внутренней поверхности корпуса гидроциклона. Чем равномернее, без срывов вращается столб продукта внутри гидроциклона, тем эффективней идёт распределение частиц по слоям. Более тяжёлые частицы вращаются ближе к стенке аппарата, более лёгкие – ближе к центру, что даёт возможность частицам распределиться между жидким и сгущённым сходами.

На вращение продукта и его распределение по сходам влияют внутренний диаметр цилиндрической части гидроциклона, диаметры отверстий для выхода сходов, угол конусности, шероховатость внутренней поверхности, давление, с которым продукт подают в гидроциклон и т. д.

В процессе исследований за длительный период были определены оптимальные размеры и режимы работы гидроциклонов в зависимости от размеров частиц суспензии.

Эффективность работы гидроциклонов определяли не по изменению гидравлических характеристик потока, величине и направлению скоростей внутри него, поскольку их сложно измерить и установить влияние той или иной скорости, а по технологическим характеристикам, определяемым коэффициентами φ и δ . Чем выше коэффициент φ , а коэффициент δ ниже, тем эффективней работает аппарат. Коэффициенты определяли, измеряя массы сходов и содержание в них сухих веществ.

Исследования показали, что одним из основных параметров в конструкции гидроциклона (микроциклона), существенно влияющим на ход процесса разделения суспензии, является размер и рас-

положение входного отверстия. Именно его параметры могут частично или полностью разрушить равномерное вращение продукта внутри корпуса гидроциклона. Неправильно оформленное и расположенное отверстие ухудшает коэффициент φ на 10–15%, т. е. уменьшает выход частиц суспензии со сгущённым сходом. При этом на коэффициенте δ нестабильное вращение слоя не сказывается, т. е. общее количество продукта в нижнем сходе не изменяется, следовательно, ухудшается качество выделяемого продукта. Отчего это происходит?

Утверждается, что во всех известных конструкциях гидроциклонов ввод продукта внутрь производится по касательной к его внутренней поверхности [5]. Однако это утверждение относится только к внешнему слою потока, входящего в гидроциклон, остальная часть потока попадает внутрь по хорде, а не по касательной. Внутренние слои потока не способствуют вращению, а наоборот тормозят вращение продукта внутри гидроциклона, уменьшая его окружную скорость и, следовательно, величину центробежной силы (рисунок 5-а). Уменьшение центробежной силы приводит к ухудшению фракционирования и коэффициента φ .

Для частичного исключения влияния входного потока на работу гидроциклонов иногда применяют гидроциклоны с более плавным вводом продукта в аппарат по тангенциально-спиральному каналу (рисунок 5б).

Внутри аппарата происходит эффективный процесс фракционирования, что подтверждается более высоким φ [5].

Мультициклонная установка с использованием патентов изготовлена на опытном заводе ВНИИ крахмалопродуктов и внедрена в цехе по переработке некондиционного картофеля на овощной базе г. Липецка.

С 1990 г. в Российской Федерации выработка картофельного крахмала сократилась, в зависимости от валовых сборов картофеля, в 4–6 раз. Многие картофелекрахмальные предприятия не выдержали конкуренцию с зарубежными, имеющими мощную государственную поддержку. Внутренний рынок потребления этого, весьма необходимого для некоторых отраслей промышленности крахмала (в которых неприемлемо использование зернового крахмала), на 70–80% покрывается за счёт поставок из стран ближнего и дальнего зарубежья. При этом Россия ежегодно импортирует сырьё и продовольствие в объёмах, значительно превышающих господдержку сельского хозяйства.

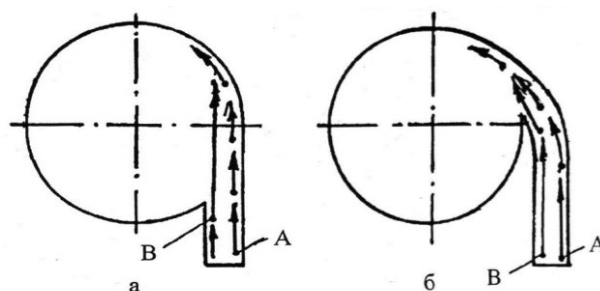


Рисунок 5. Схема ввода продукта в гидроциклон: а – ввод продукта по тангенциальному каналу; б – ввод продукта по тангенциально-спиральному каналу; А, В – внешний и внутренний слой продукта в канале

Figure 5. The scheme of suspension inlet to hydrocyclone: а – product input to tangential channel; б – product input to tangential-spiral channel; А, В - external and internal layer of product in channel.

Однако и в этой конструкции, хотя и в меньшей мере, входные потоки пересекаются, уменьшая окружную скорость. Для исключения влияния входного потока на качество фракционирования суспензии разработана конструкция гидроциклона с так называемым внешним способом подачи суспензии, при котором в аппарат подаётся уже вращающийся поток продукта [6].

Гидроциклон, как принято, состоит из цилиндрикоконического корпуса и крышки, имеет два отверстия по оси аппарата для отвода продуктов фракционирования суспензий на сгущённый и жидкий сходы. С внешней стороны цилиндрической части корпуса гидроциклона выполнено углубление прямоугольной формы по винтовой линии в один виток. Винтовая линия поднимается снизу вверх до верхнего обреза корпуса гидроциклона. На винтовую часть корпуса одевается крышка (рисунок 6), образующая с внешней стороны корпуса гидроциклона винтообразный канал для подачи суспензии внутрь гидроциклона. Для плотного прилегания крышки к винтовой части корпуса внутреннюю поверхность крышки и внешнюю часть винтовой линии делают коническими, что обеспечивает герметичность соединения крышки и корпуса.

В таком виде гидроциклон работает следующим образом: исходную суспензию под давлением подают в отверстие входного канала, двигаясь по которому продукт приобретает окружную скорость, поднимается вверх до кромки корпуса, упирается в крышку и направляется внутрь корпуса гидроциклона. Весь поток, попав в аппарат, продолжает вращаться вокруг его оси, причём слои потока не пересекаются и не тормозят движение друг друга.

С учётом наметившейся потребности малого и среднего бизнеса в организации малотоннажных производств, во ВНИИ крахмалопродуктов разработаны линии по переработке картофеля на сухой крахмал мощностью 10 и 50 т в сутки по исходному сырью на базе гидроциклонных установок (ГУ). Технология

переработки и аппаратная схема этих линий усовершенствована и при наличии картофеля хорошего качества, высокой крахмалистости позволяет вести его переработку с показателями на уровне мировых достижений.

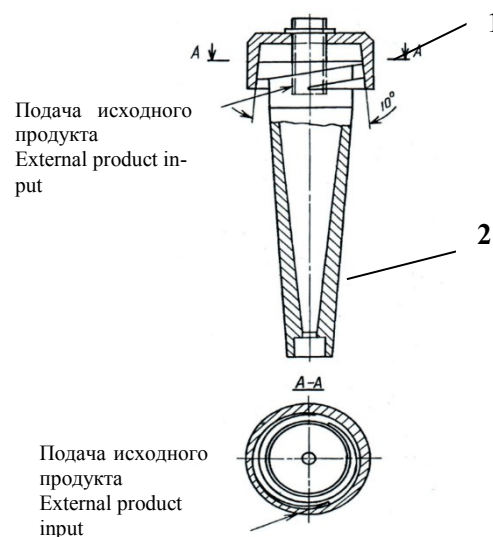


Рисунок 6. Гидроциклон (микроциклон) с внешним способом подачи исходного продукта: 1 – крышка; 2 – корпус с прямоугольной резьбой

Figure 6. Hydrocyclone (microcyclone) with external product input process: 1 – cover; 2 – case with square thread

Работами, проведёнными во ВНИИ крахмалопродуктов, определено, что дополнительные объёмы производства картофельного крахмала для снижения его импортных поставок в Россию можно получить также за счёт переработки производственных отходов на предприятиях по выпуску картофелепродуктов (хрустящий картофель, чипсы и др.).

ГУ является основным оборудованием малотоннажных линий для переработки картофеля на крахмал. В ней одновременно проходят все операции получения картофельного крахмала: его выделение из картофельной каши, рафинирование и промывание крахмала, промывание мезги (клетчатки картофеля). Использование

гидроциклонной установки позволяет организовать без больших капитальных затрат новое производство, за счёт сокращения расхода свежей воды значительно снизить количество стоков и выделить ценные вещества смеси мезги и картофельного сока (7–8% СВ). Мезгу и картофельный сок используют для скармливания животным в сыром или запаренном виде, картофельный сок или его фильтрат – для удобрительных поливов сельхозугодий. Разработаны рекомендации по их применению.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. 2-е изд. М.: КолосС, 2005. 760 с.
- 2 Андреев Н.Р. Основы производства нативных крахмалов. М.: Пищепромиздат, 2001. 289 с.
- 3 Курочицкий Ч.К. Микроциклоны и мультициклонные установки. М.: Издательство ООО «Франтера», 2004. С. 6–7.
- 4 Пат. № 2412765 Мультициклонная установка / Ю.А. Холмянский, Н.Р. Андреев, В.А. Дегтярёв. Оpubл. 27.02.11. Бюл. № 6.
- 5 Hoffmann A., Stein L. Gas cyclones and swirl tubes. Berlin: Springer, 2008. P. 341-368
- 6 Пат. № 236722 Устройство для разделения жидких дисперсных систем / Ю.А. Холмянский. Оpubл. 20.09.2009. Бюл. № 26.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Николай Р. Андреев Член-корреспондент РАН, д. т. н. Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, Красково, Московской обл., 140051, Россия, vniik@arrisp.ru
Дмитрий Н. Лукин к. э. н., Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, Красково, Московской обл., 140051, Россия, dmitry.lukin@inbox.ru
Юрий А. Холмянский к. т. н., Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, Красково, Московской обл., 140051, Россия
Татьяна Р. Карпенко ст. науч. сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, Красково, Московской обл., 140051, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Николай Р. Андреев предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания
Дмитрий Н. Лукин обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты
Юрий А. Холмянский консультация в ходе исследования
Татьяна Р. Карпенко написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 13.06.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 24.08.2016

Заключение

ВНИИ крахмалопродуктов осуществляет изготовление и поставку оборудования картофелекрахмальных линий, разрабатывает монтажную привязку по месту установки, выполняет авторский надзор за монтажом оборудования, пусконаладочные работы и обучение обслуживающего персонала, а также другую техническую и консультативную помощь, необходимую для организации производства.

REFERENCES

- 1 Plaksin Yu. M., Malakhov. N.N., Larin V.A. Processy i apparaty pishchevyykh proizvodstv [Processes and devices of food manufactures] Moscow, KolosS, 2005. 760 p. (in Russian).
- 2 Andreev N.R. Osnovy proizvodstva nativnykh krakhmalov [Basics of native starch production] Moscow, Pishcheprozdat, 2001. 289 p. (in Russian).
- 3 Kurochitskii Ch. K. Mikrociyklony i multiciklonnye ustanovki [Microcyclones and multi-cyclone plant] Moscow, Izdatelstvo OOO «Franta», 2004. pp. 6–7. (in Russian).
- 4 Kholmyanskij Yu.A., Andreev N.R., Degtyaryov V.A. Multiciklonnaya ustanovka [multi-cyclone plant] Patent RF, no. 2412765, 2011. (in Russian).
- 5 Hoffmann A., Stein L. Gas cyclones and swirl tubes. Berlin: Springer, 2008. P. 341-368
- 6 Kholmyanskij Yu.A. Ustrojstvo dlya razdeleniya zhidkih dispersnykh sistem [Apparatus for separating liquid disperse systems] Patent RF, no. 236722, 2009. (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Nikolai R. Andreev Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, doctor of technical sciences, Research all-Russian Institute of starch products, Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, vniik@arrisp.ru
Dmitrii N. Lukin candidate of economical sciences, Research all-Russian Institute of starch products, Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, dmitry.lukin@inbox.ru
Yuri A. Kholmyanskii candidate of technical sciences, Research all-Russian Institute of starch products, Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia
Tatiana P. Karpenko senior researcher associate, Research all-Russian Institute of starch products, Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia

CONTRIBUTION

Nikolai R. Andreev proposed a scheme of the experiment and organized production trials
Dmitrii N. Lukin review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Yuri A. Kholmyanskii consultation during the study
Tatiana P. Karpenko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 6.13.2016

ACCEPTED 8.24.2016