



УДК 664.8

**A.Sh.ABDULLAYEV, A.U.ABDURAKHIMOVA,
S.Sh.ABDULLAEVA, H.S.NURMUHAMEDOV (TChTI)****THE ENERGY EFFICIENCY OF SEPARATION MIXTURE "SOLID-SOLID" METHOD**

«Мева-пўст» аралашмасини гидроклассификаторда ажратиши учун қўлланилган мавҳум қайнаш қатламининг ўзига ҳос хусусиятлари кўрсатилган. Газ ва суюқ фазалар нисбати $G:L=0,15:1$ ва $G:L=0,25:1$ бўлганида уч фазали мавҳум қайнаш қатламда Рейнолдс сони Re га кўра пўст ва мева аралашмасининг ажратиши даражасини ўрганиши натижалари келтирилган. Тадқиқот натижасида шу аниқландики, туганак ва илдиз мевалар пўстининг эквивалент диаметри $d_e=2-8$ мм бўлганида, газ ва суюқ фазалар нисбати $G:L=0,15:1$ ташиқил этганида ҳамда тақсимловчи панжаранинг тешиқлар юзаси улуши $\varphi=0,5$ да тенг бўлганида тўлиқ ажратиши оқимнинг тезлиги $Re=700-1200$ га тенг бўлганида эришилади. Газ фазасининг қийматини $G:L=0,25:1$ оширилганида ажратиши жараёни 20% гача жадаллашади.

Калит сўзлар: мавҳум қайнаш, мева-пўст, эквивалент диаметр, тақсимловчи панжара, тешиқлар юзаси улуши, ажратиши даражаси.

Показаны особенности применения псевдооживленного слоя в гидроклассификаторе для разделения смеси «мякоть – кожица». Приведены результаты изучения степени разделения R мякоти от кожицы при трехфазном псевдооживлении в зависимости числа Рейнольдса Re при соотношении газовой и жидкой фаз $G:L=0,15:1$ и $G:L=0,25:1$. Исследованиями установлено, что при эквивалентном диаметре кожицы корне- и клубнеплодов $d_e=2-8$ мм, при соотношении газовой и жидкой фаз $G:L=0,15:1$, а также при живом сечении распределительной решетки $\varphi=0,5$ полное разделение смеси составит при скорости газожидкостного потока $Re=700-1200$ соответственно. При увеличении доли газовой фазы до $G:L=0,25:1$ интенсификация процесса разделения возрастает до 20%.

Ключевые слова: псевдооживление, мякоть-кожица, эквивалентный диаметр, распределительная решетка, живое сечение, степень разделения.

Characteristics of using a fluidized bed in a hydro classifier for the separation of the mixture “pulp - peel” are shown. The study results of separation degree of the pulp R from the skin in three-phase fluidization as a function of the Reynolds number Re with the ratio of the gas and liquid phases $G:L = 0.15:1$ and $G:W = 0.25:1$ are presented. Research has found that with equivalent diameter of the skin of root and tuber crops $d_e = 2-8$ mm, with of gas and liquid phases $G:L = 0.15: 1$, and also with live cross-section of the distribution grid $\varphi= 0.5$ full separation of the mixture will be at a gas-liquid flow rate of $Re = 700-1200$, respectively. With an increase in the proportion of the gas phase to $G:W = 0.25:1$, the intensification of the separation process increases to 20%.

Key words: fluidization, pulp-skin, equivalent diameter, distribution grid, living section, degree of separation.

Существующий в мировой и отечественной практике опыт эксплуатации аппаратов для разделения твердых неоднородных систем побуждает конструкторов, в том числе и разработчиков аппаратов и устройств для разделения на фракции, искать новые конструктивные решения и внедрять новые физические принципы, способствующие улучшению показателей степени разделения и энергетической эффективности, компактности, надежности и т.д.

В ТХТИ разработана эффективная технология переработки корне- и клубнеплодов с целью получения пищевых порошков, включающая следующие технологические процессы [1]: очистку методом мгновенного сброса давления, разделение смеси и мойка очищенной мякоти в трехфазном

псевдооживленном слое, получение пюре методом мгновенного сброса давления, сушка полученного пюре и измельчение окомкованных кусков с одновременным охлаждением частиц и классификацией на фракции.

Теоретический анализ и литературный обзор в области разделения неоднородной смеси “твердое тело - твердое тело” нет эффективных методов и аппаратов, в частности, для смеси “сырая мякоть - тонкая кожица”. Однако, во всех известных технологиях переработки вышеназванных объектов присутствуют процессы: мойка сырья, механическая очистка, разделение мякоти от кожицы, дочистка сырья [2,3,4].

Для разделения твердых неоднородных смесей используются аппараты различной конструкции. В частности, двухсекционный аппарат с “прижатым” слоем одним из первых нашел промышленное применение[5]; он снабжен тремя одинаковыми решетками сравнительно большого свободного сечения, между которыми помещены два слоя насадки.

Известен аппарат с псевдооживленной насадкой и нижней подачей газовой и жидкой фаз. Жидкость подается под решетку по близости или на некотором расстоянии от нее. В последнем случае нижняя часть аппарата выполняется расширенной кверху.

В аппарате с псевдооживленной насадкой и нижней подачей жидкости вместе с газом в виде тумана попадает в псевдооживленный слой, смачивает элементы насадки, контактирует на их поверхности с газом, а затем в виде струек стекает через отверстия опорно-распределительной решетки. В подобных конструкциях резко снижен брызгоунос, так что они могут работать без брызгоуловителей. Вместе с тем, исключается возможность налипания твердых частиц на нижнюю часть опорно-распределительной решетки.

Недостатки данного аппарата: трудности при увеличении ступеней контакта из-за отсутствия противотока газовой и жидкой фаз.

Кроме того, известен аппарат фонтанирующего типа с псевдооживленной насадкой [6].

В предыдущих аппаратах, в отверстия распределительных решеток поступал газ и “проваливалась” жидкость. В целях достижения полного и устойчивого контакта между фазами и уменьшения количества жидкости, подаваемой на орошение аппарата, предложена конструкция, в которой часть распределительной решетки служит только для отвода отработанной жидкости, а через основную часть решетки поступают в псевдооживленный слой газовая и жидкая фазы. Для обеспечения высокой степени турбулизации потоков часть рабочей зоны выполнена в виде конуса, что позволяет получить фонтанирующий слой насадки. В целях улучшения циркуляции насадки ограничительная решетка выполняется изогнутой формы, а перед ней устанавливаются направляющие пластины.

В качестве насадки используются шары диаметром 30-50 мм и массой 2,5-10 г.

Аппараты с псевдооживленной насадкой выполнены в виде усеченного конуса, причем в нижнем его основании скорость газа должна быть достаточной для псевдооживления насадки [7]. В верхней части конуса скорость газа снижается до 1-2 м/с с тем, чтобы обеспечить минимальный унос брызг. В аппарате, жидкость эжектируется газом из нижнего сборника, в нем поддерживается постоянный уровень, смачивается насадка, переносится ее элементами на стенки конуса и по ним стекает струйками обратно в сборник. Аппараты эжекционного типа более просты, так как в них отсутствуют насосы и распылители для подачи орошающей жидкости.

Недостатки данной конструкции: сложности в эксплуатации при колебаниях расходов жидкости и газа. В целях интенсификации процесса и ликвидации отложения примесей на решетке, она выполнена со скругленным профилем.

Известен также аппарат с подвижным корпусом, включающий псевдооживленную насадку в виде дисперсного материала, расположенную между ограничительной и опорной газопроницаемой сетками [8].

Аппарат дополнительно снабжен газораспределительной решеткой с радиальными профильными лопатками, обеспечивающими изменение направления движения потока газа и его выход под углом к горизонтальной плоскости кольцевой камеры с увеличивающимся поперечным сечением по ходу газов, оросительным устройством, выполненным в виде конуса и установленном основанием на опорную газораспределительную решетку.

Наружная наклонная образующая кольцевой камеры выполнена с перфорацией, экранированной с внешней стороны кожухом для сбора прореагировавшей жидкости. Штуцер для отвода жидкости сообщен с полостью кожуха.

В этом аппарате улучшен контакт между жидкостью и газом, обеспечено равномерное смачивание насадки и исключен унос капель жидкости газом.

Известно устройство, относящееся к оборудованию для гидравлической классификации сыпучих материалов при обогащении минерального сырья [9].

Секция гидроклассификатора, включающая корпус с расположенными на взаимно противоположных сторонах корпуса патрубками входа исходной гидросмеси и выхода осветленной пульпы, коническое днище с патрубком вывода продукта классификации, установленные внутри корпуса одна над другой наклонными параллельными пластинами, и распределительные патрубки для подвода напорной воды, размещенные ниже пластин, причем наклонные нижние пластины перпендикулярны пластинам, снабжена вибровозбудителем, а наклонные пластины установлены подвижно относительно корпуса и соединены с вибровозбудителем.

Недостатком аппарата является: вибрация пакета пластин; большие энергозатраты; чистка зоны пластин и патрубка вызывает трудности.

Существует гидравлический классификатор колонного типа для разделения твердых веществ на фракции в вертикальном потоке, применяемый при обогащении полезных ископаемых [10].

Данное устройство включает корпус с загрузочным патрубком и горизонтально установленными по его высоте перегородками. Последнее выполнено в виде коаксиальных колец, соединенных между собой радиально установленными наклонными пластинами с образованием секторов. Наклонные пластины каждой последующей межкольцевой зоны установлены под углом, противоположным углу наклона пластин предыдущей зоны. В верхней части колонны расположен отстойник. Загрузочный патрубок выполнен в виде трубы, проходящей по центру корпуса через интервал высоты, занятый перегородками, используется для их крепления, имеет боковую перфорацию в указанном интервале. В нижней части корпуса выполнена пульсационная камера, сообщающаяся с пульсатором для обеспечения возвратно-поступательного колебания уровня в колонне.

Недостаток данного классификатора: относительно низкая эффективность разделения смеси с различными плотностями фаз.

В работе [11] рассматривается гидроклассификация песка, состоящего из различных фракций, которая обеспечивает степень извлечения 85-93%.

Известен вихревой химический реактор-бикарбонизатор с трехфазным суспензионным слоем для получения чистого карбоната лития [12]. Данный аппарат отличается высокими скоростями потока и значительными энергетическими затратами.

Известен гидравлический классификатор для разделения твердых смесей [13], для гидросмеси с вибрационным устройством [14], для неоднородной смеси в восходящем потоке [15], с криволинейным обтеканием и диффузором с возможностью перемещения по оси [16], которые имеют те или иные недостатки и поэтому не нашли применения в промышленности.

Для исследования процесса разделения смеси “мякоть – кожица” проведены эксперименты по выявлению влияния режимных и исходных параметров сырья на эффективность отделения кожицы от мякоти в трехфазном псевдооживленном слое. Причем, соотношение газовой и жидкой фаз было следующим: $\Gamma:\text{Ж}=0,15:1$ и $\Gamma:\text{Ж}=0,25:1$.

На рис. 1 и 2 представлены графики зависимости степени разделения смеси “мякоть – кожица” в виде функции $R=f(\text{Re})$ при использовании секционированной решетки с долей свободного сечения $\varphi=0,5$.

Экспериментальные исследования проведены при соотношении газа к жидкости $\Gamma:\text{Ж}=0,15:1,0$ и различных эквивалентных диаметрах кожицы, которые имеют форму бесконечно тонкой пластины. Общий вид графиков имеет возрастающий характер в вид рассеивающихся лучей.

Так, для частиц с эквивалентным диаметром $d_s=2,85$ мм при течении газожидкостного потока с числом Рейнольдса $\text{Re}=300$ степень разделения составит $R=39\%$, при $\text{Re}=500$ значение $R=66\%$, и, наконец, при $\text{Re}=700$, соответственно, $R=100\%$, т.е. увеличение скорости газожидкостного потока с $\text{Re}=300$ до $\text{Re}=700$ эффективность разделения возрастает в 2,5 раза.

Для частиц максимального размера, т.е. при $d_s=7,75$ мм полное разделение наступает при скорости потока $\text{Re}=1200$.

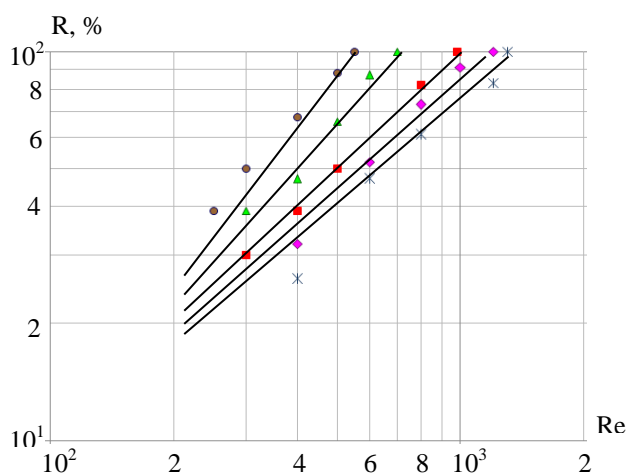


Рис. 1. Влияние числа Рейнольдса Re на степень разделения R мякоти от кожицы при трехфазном псевдооживлении. Соотношение $\Gamma:\text{Ж}=0,15:1$; $\varphi=0,5$.

● – $d_s=1,98$ мм; ▲ – $d_s=2,85$ мм; ■ – $d_s=4,98$ мм; ◆ – $d_s=6,15$ мм; * – $d_s=7,75$ мм.

При изменении соотношения газовой фазы к жидкости $\Gamma:\text{Ж}=0,25:1$ график также и имеет возрастающий характер рассеивающийся снизу вверх. Так, для частиц с эквивалентным диаметром $d_s=4,98$ мм при течении газожидкостного потока с числом Рейнольдса $\text{Re}=300$ степень разделения составит $R=30\%$, при $\text{Re}=600$ значение $R=69\%$, при $\text{Re}=800$ величина $R=92\%$ и, наконец, при $\text{Re}=900$, соответственно – $R=100\%$. Увеличение скорости газожидкостного потока с $\text{Re}=300$ до $\text{Re}=900$ эффективность разделения возрастает в 3,3 раза.

Для частиц максимального размера, т.е. при $d_s=7,75$ мм полное разделение наступает при скорости потока $\text{Re}=1200$.

Сопоставление двух рисунков позволяет выявить влияние соотношения газа к жидкости на эффективность процесса разделения. Видно, что увеличение доли газовой фазы в соотношении $\Gamma:\text{Ж}$ приводит к интенсификации процесса разделения от 6 до 20% в зависимости от эквивалентного диаметра кусочков кожицы.

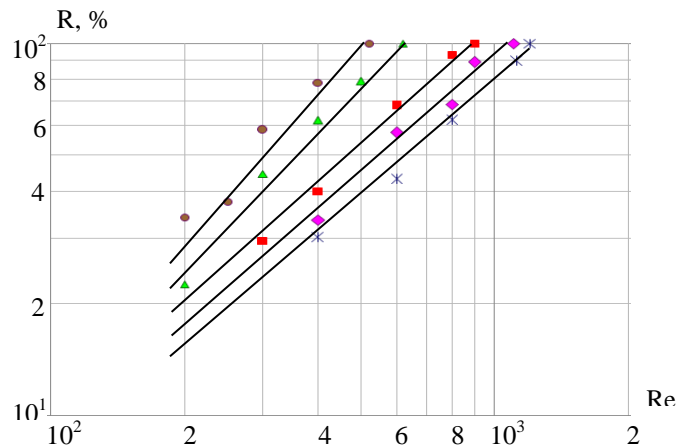


Рис. 2. Влияние скорости потока Re на степень разделения R мякоти от кожицы при трехфазном псевдооживлении. Соотношение $\Gamma:Ж=0,25:1$; $\varphi=0,5$.

● – $d_3=1,98$ мм; ▲ – $d_3=2,85$ мм; ■ – $d_3=4,98$ мм; ◆ – $d_3=6,15$ мм; * – $d_3=7,75$ мм.

Исходя из вышесказанного, при разделении неоднородной смеси «мякоть – кожица» в зависимости от разновидности корне- и клубнеплода, высота слоя материала колебалась от 0,04 до 0,1 м, причем мякоть всегда находится в ползуче-перекатываемом состоянии в направлении штуцера для выгрузки вымытого продукта.

Обобщением экспериментальных данных по разделению смеси «мякоть-кожица» в ТФПС получена формула в виде:

$$R = 0,448 \cdot Re^{0,72} \cdot Ar^{0,024} \quad (1)$$

Погрешность формулы (1) не превышает $\pm 19\%$ во всем интервале чисел $Re=200-1200$ и диаметре частиц $d_3=1,98-7,75$ мм.

Экспериментально исследована гидродинамика трехфазного псевдооживленного слоя и выявлено значительное влияние соотношения $\Gamma:Ж$ на критические скорости, особенно на скорость уноса, с ростом данного соотношения до $\Gamma:Ж=0,25:1$ интенсивность процесса разделения возрастет $\sim 1,3$ раз. При этом установлено, что увеличения доли воздуха в газожидкостном потоке приводит к снижению расхода воды до 2,3 раза. Кроме того, при разделении неоднородной смеси «мякоть-кожица» одновременно протекает процесс осаждения твердых частиц загрязнений и мойка мякоти, а также охлаждение последней.

References:

1. Abdullaev A.SH., Nurmuhamedov H.S., Abdurahimova A.U., Abdullaeva S.SH. Эффективная технология получения пшч'евы'h порошков из корне- и клубнеплодов // Журнал Питание и переработка сельхозсырья, 2016.- №10.-с.21-25.
2. Sapronov A.R. Tehnologiya saharnogo proizvodstva. - M.: Kolos, 1999.- 495 s.
3. Кас Z.A. Proizvodstvo susheny'h ovosch'ey, kartofelya i fruktov. - M.: Legkaya i pisch'evaya promy'shennost', 1984. - 216 s.
4. Katrenko L.V. Topinambur. Istochnik poleznogo sahara. - M.: Kolos, 2005. - 128 s.
5. Kunii D., Levenshpil' O. Promy'shlennoe psevdoojijenie. - M.: Himiya, 1976. - 448 s.
6. Psevdoojijenie / Aynshteyn V.G., Baskakov A.P., Berg B.V. i dr. - M.: Himiya, 1991.- 400 s.
7. Novikov A.I. Konicheskie skrubbery' s psevdoojijennoy sharovoy nasadkoy dlya ochistki gazov // Himicheskaya promy'shennost', 1974. - №11.-с.846-849.
8. Patent RU 36262, U17 D01D 47/14. Apparat s podvijnoy nasadkoy / Faleev V.V., Agapov YU.N., Medvedev D.I. - (RF) Voronej gos.tehn.un-t (RF), №2003102781, zayavleno 03.02.2003 g. - Opubl. 10.03.2004 g., Byull.№7.- 2 s.
9. Patent RU 2134614. MKP7B03B 5/62. Sekciya gidroklassifikatora. Shekmenev A.N., Makeev V.A., Enin V.V., Aseev V.N., Kudryavcev YU.I., Vinchuk B.G., Plaksenko A.N., Voropaev A.A. B.I.24, ot 29.08.1997. - il.7. - 7 s.
10. Patent RU №2434681. MKP7 B03B 5/62. Gidravlicheskiy klassifikator kolonnogo tipa / Nizov V.A. - il.2. - 6 s.

11. Shevchenko A.I. Vliyanie rejimny'h parametrov na e`ffektivnost' gidroklassifikacii pri impul'snom vozdeystvii na razdelyaemy'e chasticy' / Sb.nauch.tr. «Geotekhnicheskaya mehanika»,2010.- vy'p. 91. - s.206-210.
12. Trachuk A.N. Issledovanie i razrabotka vihrevy'h apparatov s vrasch'ayusch'imsya mnogofazny'm sloem / Diss... kand. tehn. nauk, Novosibirsk, 2009.- 93 s.
13. Patent RF №192103 MKP2 V03V 5/00. Gidravlicheskiy klassifikator pryamotochnogo tipa / SHapovalov N.A., Sorokin E.S. i dr. Opubl.06.11.1987 g., B.I. №5.-il. 1.- s.1.
14. Patent RF №21663723 MKP7 V03V5/00. Gidravlicheskiy klassifikator / Kudryavcev YU.I., CHEkmenev A.N., Vinichuk B.G. i dr. opubl. 10.05.2001 g., il. 1, s. 6.
15. Patent RF №778804 MKP3 V03V5/62. Gidravlicheskiy klassifikator / Vinogradov N.N., Gurvich G.M., Kiryuhin YU.E. i dr. opubl. 15.11.1980 g., B.I. 42-il. 2.-s.2.
16. Patent RF №2071385 MKP3 V03V5/66, 5/62. Gidravlicheskiy klassifikator / Dovnar I.YU., El'skaya N.S., Treskov E.G. Opubl. 07.12.1999 g., B.I. 35.-il. 1.- s.8.

*Abdullaev Alisher Shonazarovich - Doctor of Technical Sciences, Director of JSC "Uzkimyosanoatloyiyak",
Tel .: (+ 99890) 328-90-58 (m.). E-mail: alishon73@mail.ru;*

*Abdurahimova Aziza Urazalievna - Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Deputy Dean of TCTI,
Phone: (+99899) 857-28-33 (m.). E-mail: abazur87@mail.ru;*

*Abdullaeva Sadogat Shonazarovna - Doctor of Philosophy in Technical Sciences,
Head Department "Processes and devices of controlled technologies" TCTI,
Phone: (+99897) 728-02-43 (m.). E-mail: sadshon1975@yandex.ru;*

*Nurmukhamedov Khabibulla Sagdullaevich - Doctor of Technical Sciences, Professor
Department "Processes and devices of controlled technologies" TCTI,
Tel .: (+ 99897) 400-97-01 (m.). E-mail: alishon73@mail.ru.*