ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООТДАЧИ В ТРУБЧАТО-РЕШЕТЧАТОЙ НАСАДКЕ ПРИ АБСОРБЦИИ CO_2 РАССОЛОМ

Мавлонов Элбек Тулкинович[1], Рахмонова Мухаббат Ибрагимовна[2], Францкевич Виталий Станиславович[3], Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич[4], Салимова Саодат Ашуровна[5], Худойбердиева Назора Шарафовна[6].

[1]Ташкентский химико-технологический институт, доцент
E-mail: elbek8181@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5153-0579, тел+998974317012
[2]Ташкентский химико-технологический институт, аспирант.
E-mail: muxabbatraxmanova76@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-0532-8120, тел: +998907195599
[3]Белорусский государственный технологический университет
fvs2@tut.by. orcid.0000-0002-4126-88509
[4]Ташкентский химико-технологический институт, профессор
E-mail: haas-bek@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-5405-2485, тел: +998974009701
[5]Ташкентский химико-технологический институт, ассистент
elbek8181@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5153-0579, тел+998974317012
[6]Ташкентский химико-технологический институт, доцент.
E-mail: hudojberdievanazora@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-5153-0579, тел +998 91 250 75 55

Аннотация: *В данной работе представлено экспериментальное исследование влияния глубины турбулизаторов спирально-накатанных труб на интенсивность теплообмена при хемосорбции. Объектом исследования выбрана трубчато-решетчатая насадка колонных аппаратов, которая собрана из труб с развитой теплообменной поверхностью. В рамках эксперимента использовалась гладкая и спирально-накатанные трубы с плавно профилированными канавками снаружи и аналогичными выступами внутри. Экспериментально доказано, что при Re=2500 и шаге размещения канавок по спиральной линии t/D=0,25 с ростом численных значений безразмерной глубины канавок h/D от 0,003 до 0,095 величина коэффициента теплоотдачи повышается с 1630 до α=1847 Вт/м^2·К. С увеличением шага размещения канавок до t/D=0,77 величина коэффициента теплоотдачи повышается с 1420 до α=1580 Вт/м^2·К. Выявлено, что с повышением значений шаге размещения канавок наблюдается некоторое снижение численных значений коэффициента теплоотдачи. Сопоставление опытных данных по $\alpha/\alpha_{гл}$ в зависимости от показывает рост значения относительного коэффициента теплоотдачи абсолютно для всех численных величин шага размещения турбулизаторов t/D. Причем, со снижением значений шага размещения труб, величина $\alpha/\alpha_{гл}$ возрастает до*

1,68 раза в зависимости от значений шага размещения труб в трубной решетке t/D и относительной глубины канавок h/D.

Ключевые слова: *хемосорбция, турбулизатор, интенсификация, теплообмен, трубчато-решетчатая насадка, спирально-накатанная труба, шаг размещения.*

Abstract: *This paper presents an experimental study of the effect of the depth of turbulators of spiral-rolled tubes on the intensity of heat transfer during chemisorption. The object of the study was the tubular-lattice packing of column apparatuses, which is assembled from pipes with a developed heat-exchange surface. In the experiment, smooth and spiral-rolled tubes with smoothly profiled grooves on the ouцude and similar protrusions on the inside were used. It was experimentally proven that at Re=2500 and a groove placement step along the spiral line t/D = 0,25 with an increase in the numerical values of the dimensionless groove depth h / D from 0,003 to 0,095, the heat transfer coefficient increases from 1630 to α=1847 W/m^2·K. With the increase of the groove placement pitch to t/D=0,77, the heat transfer coefficient increases from 1420 to α=1580 W/m^2·K. It was revealed that with the increase of the groove placement pitch values, some decrease of the numerical values of the heat transfer coefficient is observed. Comparison of the experimental data on α/αgl depending on shows the growth of the relative heat transfer coefficient value for absolutely all numerical values of the turbulator placement pitch t/D. Moreover, with the decrease of the pipe placement pitch values, the α/α_{gl} value increases up to 1,68 times depending on the pipe placement pitch values in the tube sheet t/D and the relative groove depth h/D.*

Key words: *chemisorption, turbulator, intensification, heat exchange, tubular-lattice packing, spiral-rolled pipe, placement pitch.*

Введение. В различных отраслях, в частности, химической технологии известны абсорбционные процессы, для которых проблема отвода теплоты имеет первостепенное значение. К таким процессам относится технология получения азотной, серной кислоты, кальцинированной соды и т.д. [1].

Энерго- и ресурсосбережение диктует ужесточение требований к технико-экономическим показателям абсорбционных колонн и побуждает конструкторов абсорбционных колонн с холодильной зоной, в том числе и разработчиков колонной аппаратуры, искать новые конструктивные решения и внедрять новые физические принципы, способствующие улучшению показателей тепловой и энергетической эффективности, компактности, надежности и других показателей аппаратов и устройств [2, 3, 4, 5, 7]. Теплообменные устройства для отвода теплоты реакции в системы «газ-жидкость» являются одними из важнейших элементов колонных аппаратов для проведения процесса абсорбции, сопровождающейся химическими реакциями. Их эксплуатационные параметры влияют на топливную экономичность, эксплуатационную надёжность, стабильность характеристик во времени, экологическую безопасность и другие показатели энергетических установок [4-6, 8].

Интенсификация процесса абсорбции и хемосорбции в технологии получения кальцинированной соды напрямую связан с эффективной организацией процесса отвода теплоты протекающей в колонне экзотермической реакции при помощи трубчато-решетчатой насадки.

Общеизвестно, что повышение температуры в зоне контакта газовой и жидкой фаз замедляет процесс абсорбции и резко снижает выход готового продукта, и во многих случаях приводит к солеотложению на поверхности теплообмена трубчато-решетчатой насадки.

В настоящее время один из важных путей повышения экономичности теплотехнологических установок теплообменных аппаратов и устройств путем интенсификации теплообмена. При интенсификации теплообмена увеличивается количество переносимого тепла и появляется возможность создания компактного теплообменника; достигается оптиальное соотношение передаваемого количества тепла и мощности, затрачиваемой на прокачивание теплоносителей. Интенсифицированные теплообменные оборудования улучшают характеристики энерготехнологических установок [4].

Использование дискретно расположенных кольцевых выступов является одним из наиболее эффективных и исследованных способов интенсификации переноса тепла. Стоит отметить, что накатка кольцевых каналов достаточно технологична, не увеличивает

наружный диаметр труб, позволяя использовать данные трубы в тесных пучках и не менять существующую технологию сборки теплообменных аппаратов. Кольцевые диафрагмы и канавки турбулизируют поток в пристенном слое и обеспечивают интенсификацию теплообмена как снаружи, так и внутри труб [5, 10-12].

При закрутки потока лентой в поперечном сечении жидкость перетекает от периферии к центру в результате действия градиента давления увеличивает скорость потока у стенки и меняется общая структура потока. Эти движения приводят к возникновению четырех выхревых областей, которые способствуют усилению теплообмена и совместно с действием центробежных уменьшают толщину пограничного слоя. Вихревое смешение также способствует возникновению турбулентного течения при меньших числах Re [9, 11-14].

Применительно к течению однофазных теплоносителей используются шероховатые поверхности; развитие поверхности за счет оребрения; закрутка потока завихрителями, установленными на входе в канал; вибрация поверхности; пульсация теплоносителя; воздействие на поток электростатических полей. Высоко эффективным часто оказывается применение комбинированных методов интенсификации (сочетание турбулизаторов с оребрением поверхностей; применение труб с шероховатыми стенками и вставками из витых лент и др.).

В работе посвящен поиску эффективных форм поверхностей и различным способам интенсификации конвективного теплообмена [14-18].

Анализ литературных данных показал, что наиболее оптимальным и эффективным

В связи с этим актуальным направлением совершенствования теплообменных является интенсификация теплоотдачи за счет внесения изменений в конструкцию теплообменных труб [2, 9, 12, 15,22]. Повысив коэффициент теплоотдачи можно снизить массагабаритные показатели аппарата и улучшить технико-экономические показатели процесса [9, 12, 13].

Интенсификация теплообмена в трубах со спиральными выступами обусловлена совместным действием двух факторов: турбулизацией и разрушением пристеночного слоя течения выступами и закруткой пристеночного потока под действием выступов [2,4]. Интенсифицирующее воздействие частичной закрутки течения низким выступом (только пристеночной зоны) реализуется через увеличение пристеночной скорости потока.

Нанесение спиральных выступов не снижает прочностные и вибрационные качества накатанных труб [9, 15, 19]. Загрязняемость труб со спиральными выступами одинакова с гладкими по весу отложений на 1 м^2 поверхности. Равноценно у них и влияние загрязняемости на снижение тепловой эффективности [12, 15].

Теплообмен и гидродинамика в каналах в витых трубах определяется конструктивными особенностями этих труб. Течение в пучки витых труб является пространственным [12, 20], т.е. наряду с продольной составляющей вектора скорости здесь имеют место поперечные составляющие скорости, которые значительно увеличивают интенсивность межканального перемешивания в пучке. Высокий уровень турбулентности потока конвективный перенос в масштабе ячейки и организованный перенос в масштабе диаметра пучка, благодаря спиральной закрутке потока витыми трубами являются механизмами, определяющими особенности поперечного перемешивания потока в пучке по сравнению с явлениями переноса в круглой прямой трубе [1, 5, 13, 19].

Общеизвестно, что перемещение жидкостей в каналах или межтрубном пространстве любого сечения требует определенных затрат энергии. Следовательно, конструктивные изменения не должны сильно увеличивать гидравлическое сопротивление. Поэтому, тенденция в этой области направлена на создание плавно очерченных турбулизаторов.

Объектом исследования являются трубчато-решетчатая насадка из труб с развитой поверхностью теплоотдачи и процесс отвода теплоты реакции в холодильных зонах абсорберов.

Исследования по изучению теплообмена при течении жидкостей в трубчато-решетчатой насадке [21] проводились на экспериментальной установке, представляющей собой циркуляционный контур, работающий в условиях постоянства теплового потока. Основными элементами установки являются экспериментальный участок, холодильник, емкости для холодного и горячего теплоносителей, насосы и соединительные трубы с измерителями расхода и температуры и с регулирующими вентилями.

В качестве экспериментального участка использовались гладкие и спирально-накатанные трубы из нержавеющей стали Х18Н10Т с плавно очерченными канавками снаружи и аналогичными выступами внутри. Экспериментальный участок имел длину l = 2000 мм и диаметр D=20х1 мм. Шаг размещения турбулизаторов t/D=0,025-3,- Относительная глубина канавок составляла h/S=0,009–0,095, и обеспечивалось число Рейнольдса Re=(0,25–0,98)·10^4. Измерение температуры стенки осуществлялось хромель-копелевыми термопарами с диаметром проволок 0,1 мм, равномерно распределенными и зачеканенными в трубе: первая и последняя термопара устанавливались на расстоянии от торца трубы с отступом 100 мм, а остальные термопары устанавливались через каждые 150 мм. Погрешности измерения расходов и температур ±2,4 и ±0,39% соответственно.

В каждом эксперименте проверялся тепловой баланс и тепловые потери в диапазоне изменения режимных параметров не превышали ±3%. Экспериментальные данные обрабатывались известными методами.

Обсуждение результатов исследований. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от относительной глубины плавно очерченной канавки h/D при различных величинах шага их размещения t/D показывает, что с увеличением параметра h/D интенсивность переноса тепла повышается абсолютно для всех значений шага размещения канавок (рис.1).

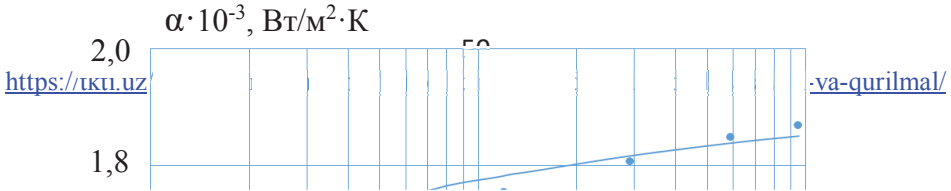
Так, например, при Re=2500 и шаге размещения плавно очерченных канавок по спиральной линии t/D=0,25 с ростом численных значений безразмерной глубины канавок от 0,003 до 0,095 величина коэффициента теплоотдачи α повышается от 1630 до α=1847 Вт/$м^2$·К. Интенсификация процесса переноса тепла составила 13,3%.

С увеличением шага размещения канавок до t/D=0,77 с ростом численных значений безразмерной глубины канавок от 0,003 до 0,095 величина коэффициента теплоотдачи α повышается от α=1420 до α=1580 Вт/$м^2$·К. Повышение коэффициента теплоотдачи с ростом глубины канавки составило 9,6%.

При шаге размещения канавок до t/D=2,0 с повышением значений глубины канавок с h/D=0,003 до h/D=0,095 коэффициент теплоотдачи α повышается с α=1235 до α=1390 Вт/$м^2$·К. Интенсивность теплоотдачи возросла на 8,3%.

Однако, что с ростом шага размещения плавно очерченных канавок t/D наблюдается некоторое снижение интенсивности теплоотдачи. Анализ графиков показывает, что снижение t/D с 2,0 до 0,25 приводит к повышению интенсивности теплоотдачи в 1,39-1,45 раза.

Экспериментальными исследованиями установлено, что интенсификация теплоотдачи в каналах со спирально-накатанными плавно очерченными турбулизаторами сильно зависит от безразмерной глубины впадин (или выступов). Однако следует подчеркнуть, что с повышением высоты выступов возрастает гидравлическое сопротивление. Из графика видно, что оптимальная область приходится в интервал безразмерной высоты h/D≈0,004-0,095, в которой интенсивность теплоотдачи увеличается значительно по сравнению с гидравлическим сопротивлением. А если учесть повышение теплоотдачи и внутри труб за счет плавно очерченных выступов, то эффективность от применения спирально-накатанных турбулизаторов достаточно высока.



https://tkti.uz ·va-qurilmal/

Рис.1. Влияние относительной глубины h/D спиральных канавок на коэффициент теплоотдачи α при омывании аммонизированным рассолом при Re=2500.
● - t/D=0,25; ■ - t/D=0,52; ▲ - t/D=0,77;
♦ - t/D=1,0; ∗ - t/D=2,0; + - t/D=3,0.

Следует подчеркнуть, что в оптимальной области глубины накатки плавно очерченных канавок интенсификация теплоотдачи приходится на умеренный рост гидравлического сопротивления.

На рис.2 представлены результаты степени интенсификации теплоотдачи в зависимости от относительной глубины h/D при абсорбции CO_2 аммонизированным рассолом. Значение коэффициента теплоотдачи для гладкой трубы равно 1093 Вт/м^2·К.

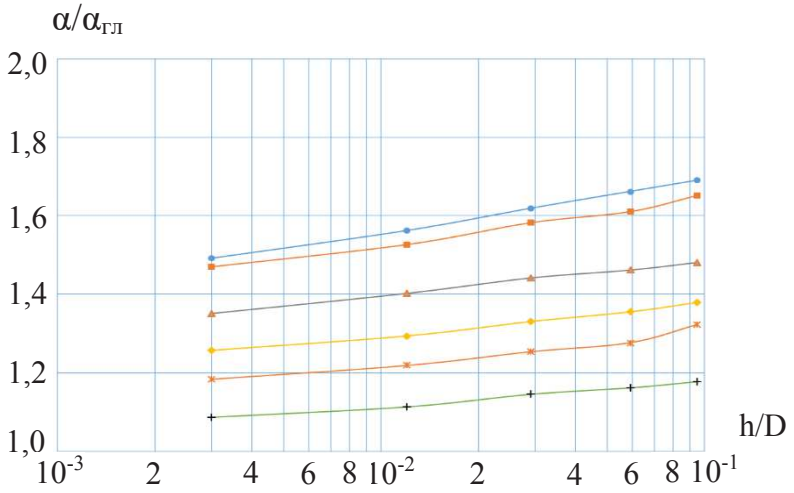


Рис.2. Влияние относительной глубины канавки h/D на степень интенсификации теплоотдачи $\alpha/\alpha_{гл}$ при абсорбции CO_2 рассолом. Обозн.см.рис.1.

Сравнение экспериментальных данных по $\alpha/\alpha_{гл}$ в зависимости от показывает рост значения относительного коэффициента теплоотдачи абсолютно для всех численных величин шага размещения турбулизаторов t/D. Причем, со снижением значений шага

размещения труб, величина $\alpha/\alpha_{гл}$ возрастает от 1,08 до 1,68 раза в зависимости от значений шага размещения труб в трубной решетке t/D и относительной глубины канавок h/D.

Выводы. Большинство промышленных абсорберов в производстве кальцинированной соды в основном состоят из двух зон: абсорбционной и холодильной зон, причем соотношение этих частей в основном находятся в следующем соотношении 0,55:0,45. Необходимость отвода теплоты экзотермической реакции при контакте газовой и жидкой фаз, требует больших теплообменных поверхностей и расхода охлаждающей воды. Снижение вышеназванным показателей устройства возможно только путем интенсификации теплообмена, которая позволит уменьшить холодильную зону и увеличить абсорбционную зону. Сопоставительный анализ экспериментальных результатов для гладкой трубы и результатами авторов данной статьи со спиральными турбулизаторами показал интенсификацию процесса теплоотдачи до 1,68 раза. Естественно, интенсификация процесса переноса тепла в холодильной зоне колонны позволит снизить её долю и увеличить абсорбционную зону.

Список литературы

1. Москвичев Ю.А., Григоричев А.К., Павлов О.С. Теоретические основы химической технологии. – СПб.: Лань, 2016. – 272 с.

2. Лаптев А.Г., Николаев Н.А., Башаров М.М. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. – М.: Теплотехник, 2011. – 335 с.

3. Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1966.- 768 с.

4. Yusupbekov N.R., Nurmuhamedov H.S., Zokirov S.G. Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalari. – Toshkent, Fan va texnologiyalar, 2015.- 848 b.

5. Нурмуҳамедов Ҳ.С., Темиров О.Ш., Юсупбеков Н.Р., Зокиров С.Г. ва б. Газларни қайта ишлаш технологияси, жараён ва қурилмалари. – Т.: Шарқ, 2016. - 856 б.

6. Касаткин Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 2006. – 752 с.

7. Александров Н.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. – М.: Химия, 1978. – 280 с.

8. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология. – М.: Высшая школа, 1990. – 520 с.

9. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Мякочин А.С., Копп А.Н. Эффективные теплообменные поверхности. – М.: Машиностроение, 1999.- 423 с.

10. Кишкин А.А., Краев М.В., Зуев А.А. Интенсификация теплообмена // Авиационная и космическая техника. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. С.130-134.

11. Эффективные поверхности теплообмена / Э.К. Калинин [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 408 с.

12. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах / Б.В. Дзюбенко [и др.] ; ред. Ю.А. Кузма-Кичта. – М. : ЦНИИатоминформ, 2008. – 532 с.

13. Попов, И.А. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор) / И.А. Попов, Ю.Ф. Гортышов, В.В. Олимпиев // Теплоэнергетика. – 2012. – № 1. – С. 3–14.

14. Гортышов, Ю.Ф. Теплогидравлический расчет и проектирование оборудования с интенсифицированным теплообменом / Ю.Ф. Гортышов, В.В. Олимпиев, Б.Е. Байгалиев. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. – 432 с.

15. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. – М.: Наука, 1982. – 472 с.

16. Леонтьев А.И., Гортышов Ю.Ф. и др. Разработка фундаментальных основ создания прототипов энергоэффективных теплообменников с поверхностной интенсификацией теплообмена / Труды 4-ой РНК по теплообмену: Интенсификация теплообмена. – М.: МЭИ, 2006.-т.6.-с.253-257.

17. Тарасевич С.Э., Злобин А.В., Яковлев А.Б. Гидродинамика и теплообмен при движении однофазной жидкости в трубах с искусственной шероховатостью // ТВТ, 2015.- т.53.- вып.6.- с.938–952.

18. Анисин А.А. Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление поперечно обтекаемых коридорных пучков гладких труб с поверхностью различной формы / Труды 4-ой РНК по теплообмену: Интенсификация теплообмена. – М.: МЭИ, 2006.-т.6.-с.150-154.

19. Rohsenow, W.M. Handbook of heat transfer / W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett, Y.I. Cho. – 3-rd. ed. – N.Y. : Mc.Graw-Hill Professional, 1998. – 1344 p.

20. Дзюбенко Б.В., Кузма-Кичта Ю.А., Холпанов Л.П. и др. Интенсификация тепломассообмена в энергетике. – М.: ФГУП ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2003. – 232 с.

22. Дульнев Г.Н. Теория тепло- и массообмена. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 195 с.
21. Патент РУз IAP №06102. Карбонизационная колонна / Нурмухамедов Х.С., Мавланов Э.Т., Закиров С.Г., Каримов К.Ф., Темиров О.Ш. -2019, приор. от 23.12.2019.

К ПРОБЛЕМЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ БУРОВОГО УГЛЯ АНГРЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ТУРБОЛОПАСТНОМ АППАРАТЕ

Аннаев Нарбай Асаматдинович[1], Файзиева Наргиза Салимовна[2], Султонов Жавохир Валижонович[3], Нурмухамедов Саъдулла Хабибуллаевич[4], Левданский Александр Эдуардович[5], Федарович Евгений Геннадьевич[6].

[1]Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан,
E-mail: n.annaev@uz-kor.com, Phone:+998-93-040-11-82
https://orcid.org/0000-0002-5405-2485
[2]Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан,
E-mail: nargiza8320910@gmail.com , Phone: +998 99 832 09 10
https://orcid.org/0009-0003-1251-6477
[3]Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан,
E-mail: sjv8904@gmail.com, Phone:+998-97-429-89-04
https://orcid.org/0000-0002-5405-2485
[4]Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан,
E-mail: haas-bek@mail.ru, Phone:+998-97-344-05-03
https://orcid.org/0000-0002-5405-2485
[5]Белорусский государственный технологический университет, Минск, Белоруссия
E-mail: zhenya.fedorovich.1999@mail.ru, Phone: +375293237036
https://orcid.org/0000-0003-2684-7771
[6]Белорусский государственный технологический университет, Минск, Белоруссия
E-mail: zhenya.fedorovich.1999@mail.ru, Phone: +375295618241
https://orcid.org/0000-0002-2137-1260

Аннотация: *В работе представлено экспериментальное исследование влияния числа оборотов на гранулометрический состав бурого угля при измельчении в турболопастном аппарате. Аппарат состоит из 3 зон: зона загрузки “А”, зона измельчения “В” и зоны выгрузки “С”. Конструкция аппарата включает цилиндрический корпус, изготовленный из нержавеющей стали Х18Н10Т диаметром 0,150 м, толщиной 0,006 м и длиной 1,5 м. При эксперименте выявлено, что при числе оборотов рабочего вала n=500 об/мин грансостав существенно улучшился, причем фракция до 0,05 мм составила 13,18%, доля фракции 0,08 мм 22,05%, фракция в интервале 0,08-0,16 мм составила 20,88%, доля 0,16-0,315 мм 16,01%, доля 0,315-0,5 мм 14,46%, фракция в интервале 0,5-1,25 мм составила 6,05%, и наконец, частицы свыше 1,25 мм составили всего – 7,29%. Если увеличить число оборотов рабочего вала до n=1200 об/мин, фракция до 0,05 мм*