Сравнение методик гранулирования технического углерода на лабораторном грануляторе

А.Е. Лебедев[1], А.И. Холодкова[2], А.А. Ватагин[1], А.А. Мурашов[2], Ф.С. Орлов[1]

[1]Ярославский государственный технический университет, Ярославль
[2]Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны имени Маршала Советского Союза Л.А. Говорова, Ярославль

Аннотация: В статье приводятся результаты опытных исследований по гранулированию технического углерода в лабораторных условиях. Предложены различные методы гранулирования, выявлены преимущества и недостатки каждого метода. Установлено, что наилучший результат получен при вертикальном положение гранулятора и частоте вращения ротора 400 об/мин.
Ключевые слова: мокрое гранулирование, износ, гранулятор, пальцы ротора, эксперимент, методика гранулирования, технический углерод.

Технический углерод (далее ТУ) широко используется в промышленности [1-2]. Так, например: используется в качестве наполнителя при изготовлении пластмасс, обеспечивая износостойкость; применяется при изготовлении резины и резинотехнических изделий; используется в качестве черного пигмента в лакокрасочном производстве.

Немаловажным при производстве ТУ является процесс мокрого гранулирования, в следствии чего разрабатываются новые агрегаты обладающие большей энергоресурсноэффективностью [3-5]. Данный процесс необходим для придания порошкообразному ТУ вид гранул. Гранулированный ТУ легче хранить, снижаются затраты при его транспортировке, снижаются загрязнения окружающей среды и потери ресурсов, снижается риск взрыва пыли. Так же, гранулированный ТУ прост в обращении и использовании. Существует множество способов и методик [6,7] гранулирования реализуемых на промышленных грануляторах [8-10].

Однако в лабораторных условиях реализовать непрерывный режим работы гранулятора и поддерживать высокие температуры процесса

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

достаточно сложно. Авторами предложено несколько вариантов гранулирования технического углерода в лабораторных условиях.

С целью выявления рационального метода гранулирования технического углерода в лабораторных условиях авторами статьи были исследованы несколько вариантов гранулирования и проведено сопоставления с данными, полученными на промышленном грануляторе.

Эксперимент проводился на лабораторном грануляторе, представленном на рис. 1.

а) б) в)

Рис. 1. – Лабораторный гранулятор: а) принципиальная схема; б) ротор гранулятора; в) корпус гранулятора

На нижнем конце ротора расположены 4 лопасти, которые предотвращают налипание ТУ на поверхности нижней крышки гранулятора, и осуществляют подъем материала из нижней зоны в рабочую зону гранулятора.

Характеристики сырья:

Марка ТУ- N550 в пылящем виде;

Загрузка гранулятора по ТУ – 100 г;

Загрузка связующей добавки – 120 г, концентрация раствора 6 1,9% мас.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

Процесс гранулирования осуществлялся по 6 методикам:

1) Вертикальное положение гранулятора, частота вращения ротора: 400 об/мин;
2) Вертикальное положение гранулятора, частота вращения ротора: 1400 об/мин;
3) Горизонтальное положение гранулятора, частота вращения ротора: 400 об/мин;
4) Горизонтальное положение гранулятора, частота вращения ротора: 1400 об/мин;
5) Ступенчатое гранулирование – 10 секунд работы в горизонтальном положении с частотой вращения ротора 400 об/мин, затем осуществляется поворот гранулятора в вертикальное положение (для ссыпки ТУ из застойной зоны, которая выделена красным цветом на схеме ниже) и возврат в горизонтальное положение рис. 2;

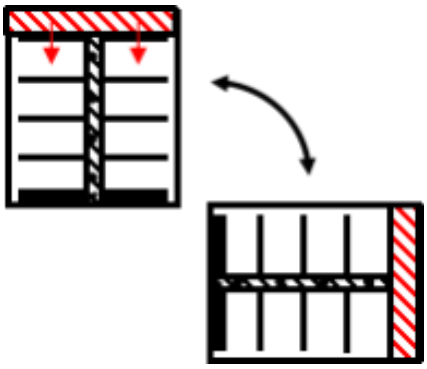


Рис. 2. – Схема ступенчатого гранулирования

6) Ступенчатое гранулирование – аналогично методу 5, но частота вращения ротора увеличена до 1400 об/мин;

Методика №1 и №2. Была обнаружена следующая особенность: при начале гранулирования с частотой вращения ротора 400 об/мин рабочая зона

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

составляет 1, по мере протекания процесса гранулирования, рабочая зона увеличивается с 1 до 1* рис. 3. Аналогично для методики №2.

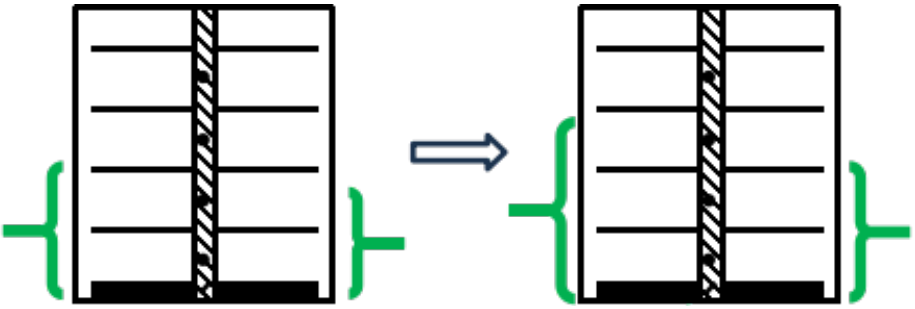


Рис. 3. – Особенности реализации грануляции в вертикальном положении ротора.

Методика №3. При гранулировании в горизонтальном положении, образуется застойная зона, представленная на рис. 4.

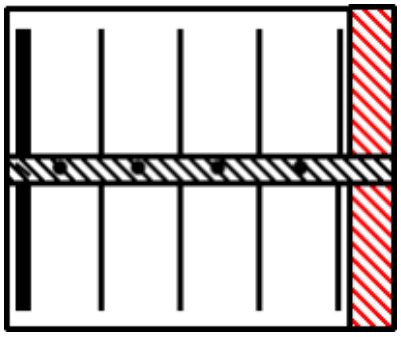


Рис. 4. – Особенность гранулирования в горизонтальном положении ротора

Рис. 5. – Налипание ТУ в застойной зоне гранулятора при реализации методики 3.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

На рис. 5 видно, что практически весь ТУ, в процессе работы ротора в горизонтальном положении, налипает в верхней части гранулятора, образуя застойную зону. Последние «пальцы» ротора «накатывают» риску из ТУ, образуя «шапку» из слипшегося ТУ вдоль крышки гранулятора.

Методика №4. По причине высокой скорости вращения ротора не произошло формирования гранул рис. 6. Это связано с увеличением центробежной силы и налипанием ТУ между «пальцев» ротора и в застойной зоне рис. 7.

Рис. 6. – Налипание ТУ на поверхности гранулятора при работе в горизонтальном положении и скорости вращения ротора 1400 об/мин.

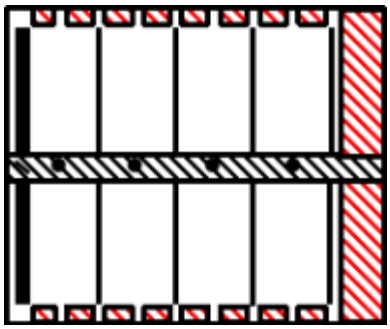
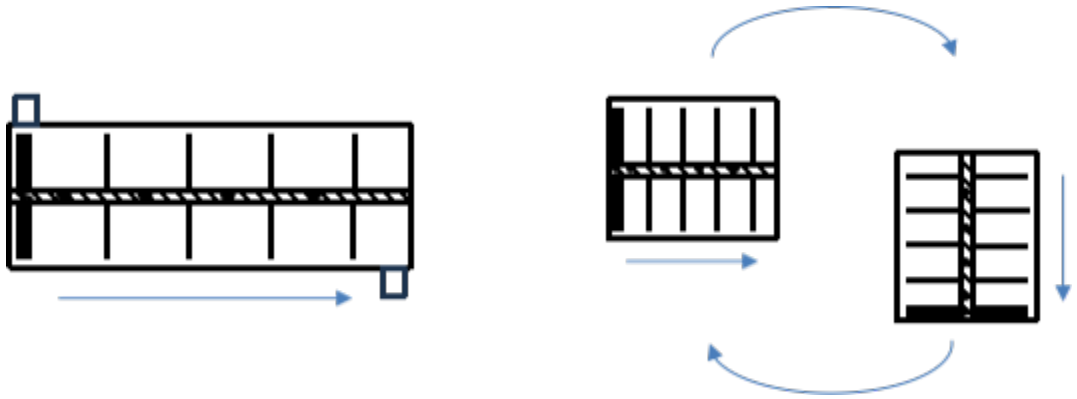


Рис. 7. – Застойная зона при вращении ротора 1400 об/мин

Метод №5 и №6. Продолжительность гранулирования в горизонтальном положении была принята равной 10 сек. Далее вращение

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

ротора останавливалось, гранулятор переворачивается в вертикальное положение для сыпки ТУ в начальную часть аппарата, а затем возвращается в исходное горизонтальное положение, и далее цикл повторяется. Такая организация лабораторного метода позволяет максимально приблизить его к промышленному непрерывному варианту, имитируя проход ТУ внутри гранулятора и компенсируя небольшие габариты лабораторного гранулятора многократным проходом. Упрощенное сравнение промышленного и лабораторного способов представлено на рис. 8.



а) б)

Рис. 8. – Сравнение промышленного процесса и лабораторных методик №5 и №6: а) промышленный процесс; б) лабораторные методики №5 и №6

При реализации методики №6 с частотой вращения 1400 об/мин произошло нарушение герметичности гранулятора и эксперимент был остановлен.

С целью сравнения методик гранулирования были определены следующие показатели: гранулометрический состав и прочностные характеристика ТУ.

Установлено, что вне зависимости от метода реализации процесса, получаемые гранулы оказались по размеру больше, чем получаемые в промышленном аппарате.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

Среди предложенных методов лучшее распределение гранул по размерам, однородности наблюдается – в методе №1. При гранулировании этим методом удается достичь наибольшей однородности продукта. Кроме того, при данном методе наблюдается наилучшее совпадение основных характеристик гранул с данными, полученными на промышленном грануляторе.

Таким образом, применение метода №1 при проведении опытных исследовании по гранулированию технического углерода является наиболее предпочтительным и может быть рекомендовано для проведения экспериментов по изучению влияния конструктивных параметров гранулятора на качество получаемых гранул.

Литература

1. Орлов В.Ю., Комаров А.М., Ляпина Л.А. Производство и использование технического углерода для резин. Ярославль: Издательство Александр Рутман, 2002. 512 с.

2. Игуменова Т.И., Шульга А.М. Проблемы использования пиролизного технического углерода в производстве шин. Материалы LVIII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2019 год: В 3 частях, Воронеж, 06–07 февраля 2019 года. Том Часть 1. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2020. С. 104.

3. Donnet J.B., .Bansal R.C., Wang M.J. Carbon Black: Science and Technology. New York: Marcel Dekker, 2006. 528 p.

4. Севостьянов В.С., Апатенко А.С., Шамгулов Р.Ю., Проценко А.М. Разработка технических средств для переработки и гранулирования технического углерода термолизной технологии. СТИН. 2022. № 3. С. 37-40.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

5. Васильев П.С., Павлова А.Е. Совершенствование аппаратурного оформления стадии гранулирования технического углерода мокрым способом // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2023. № 1(42). С. 11-19.

6. Knight, P.C. The Science of Granulation Processes. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. 352 p.

7. Макаренков Д.А., Назаров В.И., Мавлюдова Я.А. Особенности процесса гранулирования топливных композиций методом прокатки на роторных грануляторах // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 1. С. 42-49.

8. А.Е. Лебедев, Д.В. Лебедев, А.А. Ватагин, С. Суид. Ударное взаимодействие частиц с тонкими слоями дисперсных материалов // Инженерный вестник Дона, 2018, № 1; URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4724.

9. А.Е. Лебедев, Д.В. Лебедев, М.Н. Романова. К расчету стохастической энергии при моделировании структуры расширяющихся дисперсных потоков // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4; URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5268.

10. Шамгулов Р.Ю., Гончаров А.Н. Разработка барабанно-винтового агрегата для гранулирования технического углерода // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 1844-1847.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

References

1. Orlov V.Yu., Komarov A.M., Lyapina L.A. Proizvodstvo i ispol`zovanie texnicheskogo ugleroda dlya rezin [Production and use of carbon black for rubbers]. Yaroslavl`. Izdatel`stvo Aleksandr Rutman, 2002. 512 p.

2. Igumenova T.I., Shul`ga A.M. Materialy` LVIII otchetnoj nauchnoj konferencii prepodavatelej i nauchny`x sotrudnikov VGUIT za 2019 god : trudy (Proc. Materials of the LVIII reporting Scientific conference of VGUIT teachers and researchers for 2019).V 3 chastyax, Voronezh, 06–07 fevralya 2019 goda. Tom Chast` 1. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvenny`j universitet inzhenerny`x texnologij, 2020. p. 104.

3. Donnet J.B., Bansal R.C., Wang M.J. Carbon Black: Science and Technology. New York: Marcel Dekker, 2006. 528 p.

4. Sevost`yanov V.S., Apatenko A.S., Shamgulov R.Yu., Procenko A.M. STIN. 2022. № 3. pp. 37-40.

5. Vasiliev P.S., Pavlova A.E. E`nergo- i resursosberezhenie: promy`shlennost` i transport. 2023. № 1(42). pp. 11-19.

6. Knight, P.C. The Science of Granulation Processes. Boston. Kluwer Academic Publishers, 2004. 352 p.

7. Makarenkov D.A., Nazarov V.I., Mavlyudova Ya.A. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvenny`e nauki. 2015. № 1. pp. 42-49.

8. A.E. Lebedev, D.V. Lebedev, A.A. Vatagin, S. Suid. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4724.

9. A.E. Lebedev, D.V. Lebedev, M.N. Romanova. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5268.

10. Shamgulov R.Yu., Goncharov A.N. Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya molody`x ucheny`x BGTU im. V.G. Shuxova trudy (Proc. International Scientific and Technical Conference of Young scientists of

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025

BSTU named after V.G. Shukhov): Materialy` konferencii, Belgorod, 30 aprelya 2021 goda. Belgorod: Belgorodskij gosudarstvenny`j texnologicheskij universitet im. V.G. Shuxova, 2021. pp. 1844-1847.

Дата поступления: 6.06.2025

Дата публикации: 25.07.2025

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2025