

Информация

УДК 66.047.5

**Сацердотов А.О.¹, Подыман Г.С.¹, аспирант,
Носов О.П.², Двойнос Я.Г.¹, канд. техн. наук**

¹ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев

просп. Победы, 37, 03056 Киев, Украина, e-mail: 0507293553@ukr.net

² ООО «Первый трубный завод», Киев

ул. Резервная, 8а, 04074 Киев, Украина, e-mail: ptz1@ukr.net

Технологии сушки вторичного измельченного полиэтилена

Рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности процессов сушки вторичного измельченного полиэтилена при использовании его для производства труб и оболочек. Изложены результаты экспериментальных исследований фильтровальных свойств вторичного полиэтилена и кинетики процесса его конвективной сушки воздухом. Предложена методика параметрического расчета сушилки с фильтрующим слоем вторичного измельченного полиэтилена с целью оптимизации затрат энергоносителей. Приведен пример математического моделирования конструкции промышленной сушилки с целью определения рабочей характеристики аппарата (зависимость сопротивления от расхода воздуха). *Библ. 5, рис. 5.*

Ключевые слова: сушка, сушилка, фильтрующий слой, вторичный полиэтилен, измельченный полиэтилен, энергозатраты на процесс сушки.

Наиболее широко для сушки гранулированного полиэтилена используются аппараты с фильтрующим слоем, что связано с большим периодом сушки и малым значением коэффициента диффузии воды в материале. При размере гранул 0,003–0,005 м и температуре воздуха +55 °С процесс считается завершенным при влагосодержании 0,005 массовой доли. Товарный полиэтилен достаточно сухой для непосредственной переработки, однако при производстве труб и оболочек [1] используется HDPE черного цвета, который не выпускается в Украине, а транспортируется в основном морским транспортом. При транспортировке сажа в полиэтилене активно поглощает воду из воздуха, поэтому в процессе переработки необходима сушка. Стандарт [1] регламентирует возможность использования до 15 % вторичного поли-

этилена, который предприятие перерабатывает из отходов собственного производства.

Необходимость сушки полиэтилена обоснована технологическими факторами [2]: внутренняя поверхность труб и оболочек должна быть гладкой, расплав в формующем инстру-

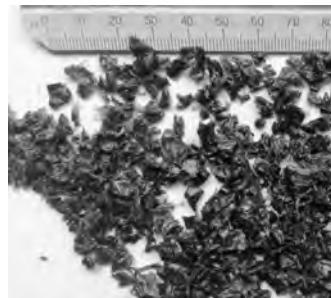


Рис.1. Дробленый вторичный полиэтилен. Средний размер частиц 0,005 м.

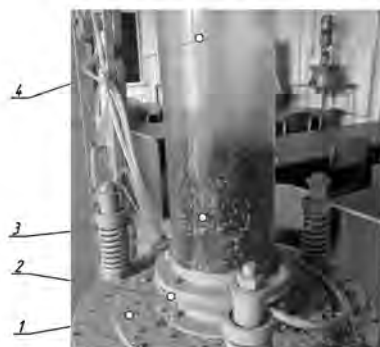


Рис.2

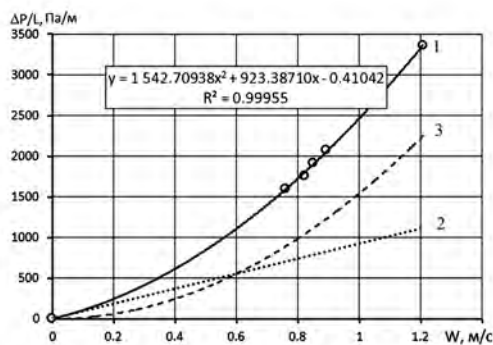


Рис.3

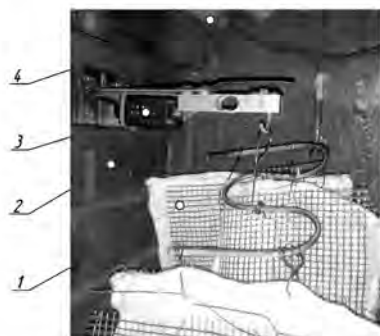


Рис.4

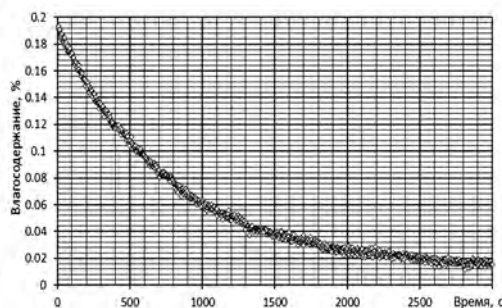


Рис.5

Рис.2. Установка для определения фильтрующих свойств дробленого вторичного полиэтилена. Диаметр цилиндра $D = 0,12$ м, высота слоя $L = 0,125$ м.

Рис.3. Сопротивление фильтрующего слоя дробленого вторичного полиэтилена как функция от скорости фильтрации (экспериментальные данные и аппроксимирующая кривая): 1 — эксперимент (точки) и аппроксимирующая зависимость (сплошная линия); 2 — вязкостная составляющая; 3 — динамическая составляющая.

Рис.4. Экспериментальная установка «сушка с рециркуляцией»: 1 — дробленый вторичный полиэтилен в марлевых контейнерах; 2 — корпус сушильной камеры; 3 — датчик массы; 4 — нагреватели воздуха.

Рис.5. Кривая сушки дробленого вторичного полиэтилена.

менте не должен образовывать «нагар» (пленка шитого под действием влаги полиэтилена).

Производственный брак перерабатывается на предприятиях дроблением отходов, которые также содержат влагу. Использование для сушки дробленого вторичного полиэтилена сушилок для гранулированного полиэтилена выявило недостатки, связанные со свойствами дробленого вторичного полиэтилена, а именно: малый насыпной вес, большое гидравлическое сопротивление слоя, большое влагосодержание (развитая поверхность и наличие микротрещин).

Теоретические предпосылки для моделирования процессов сушки гранулированного полиэтилена достаточно полно изложены в [3], в работе [4] сформулирована математическая модель сушки пористых материалов, включая процессы сорбции в порах сложной формы. Нерешенной проблемой остается экспериментальное определение свойств дробленого вторичного полиэтилена, установление закономерностей для процесса фильтрации воздуха через слой данного

материала, построение кривой сушки для определения периода сушки.

Цель данной работы — обобщение данных проведенных авторами экспериментов в методику параметрического расчета сушилки дробленого вторичного полиэтилена в фильтрующем слое с рекомендациями по проектированию и оптимизации энергозатрат на процесс.

В качестве исследуемого материала выбран дробленый вторичный полиэтилен марки PE100 Black с содержанием сажи 2,25 % (ISO 6964) из стран ЕС, и материал, полученный дроблением отходов труб и оболочек на ИПР-400 с ячейкой сита 0,005 м на предприятии г. Киева ООО «Первый трубный завод» (рис.1).

Фильтрующая способность слоя экспериментально определялась на установке (рис.2).

Перепад давления измерялся дифференциальным манометром с точностью 1 мм вод. ст. Расход

воздуха измерялся дифференциальным манометром по перепаду давления на калиброванной диафрагме. Максимальная скорость воздуха составила 1,2 м/с (без изменения высоты слоя).

Результаты измерений и аппроксимирующая кривая представлены на рис.3. Особенность фильтрующей способности слоя дробленого вторичного полиэтилена в необходимости использования уравнения Форхгеймера [5], которое учитывает динамическое сопротивление слоя (вызвано силами инерции) и сопротивление за счет сил вязкого трения:

$$\frac{dP}{dL} = \frac{\mu}{k_{\mu}} W + \frac{\rho}{k_d} W^2,$$

где dP/dL — градиент давления по высоте слоя, Па/м; μ — динамическая вязкость среды (воздуха), Па·с; W — скорость фильтрации (объемный расход, приведенный к площади сечения аппарата), м/с; ρ — плотность среды, кг/м³; k_{μ} — коэффициент, 1/Па, $k_d =$

$= 1,96 \cdot 10^{-8}$; k_d — коэффициент, $\text{кг}/(\text{Па} \cdot \text{с}^2)$, $k_d = 7,811 \cdot 10^{-4}$.

Кинетика процесса сушки определялась на экспериментальной установке (рис.4). Точность измерения массы — 0,001 кг. Период измерений — 3 с. Температура воздуха — 50,2 °С. Относительная влажность воздуха — 5 %.

Результаты измерений приведены на рис.5.

Анализ результатов показал наличие развитой поверхности в виде пор и трещин, которая абсорбирует влагу, поэтому линейный участок процесса сушки, характерный для первого периода, более развит, чем у гранулированного полиэтилена, и процесс протекает быстрее, однако равновесное влагосодержание материала (после транспортировки и длительного хранения) больше приведенного в [3] на 50 %, что также отличает данный материал.

Прогрев материала осуществляется быстрее. Математический анализ процесса с учетом развитой поверхности материала и повышенного влагосодержания показал необходимость большего удельного массового (на 1 кг материала) расхода теплоты (0,45 кВт·ч/кг) и сушильного агента (4,2 м³/кг). Исследуемый материал имеет меньшую насыпную плотность (270 кг/м³), чем гранулированный (550 кг/м³), что позволяет утверждать об одинаковом удельном объеме (на 1 м³ материала) расходе теплоты и сушильного агента.

Рекомендацией для проектирования или модернизации сушки с фильтрующим слоем является уменьшение высоты слоя в связи с его меньшей проницаемостью.

Проектный расчет сушилки для определения геометрических размеров камеры с фильтрующим слоем должен включать систему уравнений с тремя независимыми уравнениями и тремя неизвестными:

$$\begin{cases} \left[\frac{\mu}{k_\mu} W + \frac{\rho}{k_d} W^2 \right] H_{\text{слоя}} = \Delta P_{\text{слоя}}; \\ \frac{\pi D_{\text{камеры}}^2}{4} H_{\text{слоя}} = V_{\text{камеры}}; \\ W = \frac{4 V_{\text{камеры}}}{\pi D_{\text{камеры}}^2}, \end{cases}$$

где W — скорость фильтрации, м/с; $H_{\text{слоя}}$ — высота фильтрующего слоя, м; $\Delta P_{\text{слоя}}$ — напор вентилятора, Па; $D_{\text{камеры}}$ — диаметр сушильной камеры, м; $V_{\text{камеры}}$ — объем сушильной камеры, м³, определяется из необходимого времени сушки τ_0 и объемной производительности сушилки (массовая производительность G , кг/с,

деленная на кажущуюся насыпную плотность $\rho_{\text{насыпной}}$, кг/м³), $V_{\text{камеры}} = G \tau_0 / \rho_{\text{насыпной}}$; $V_{\text{расход}}$ — расход сушильного агента, м³/с.

Система замкнута при известных значениях: $V_{\text{расход}}$, $\Delta P_{\text{слоя}}$, $V_{\text{камеры}}$. Для решения системы использовался MathCad.

Практическое использование полученных результатов исследований реализовано при проектировании сушилки для предприятия ООО «Первый трубный завод» (Киев) производительностью 500 кг/ч. Расчеты проводились численным методом и с помощью имитационного моделирования.

Выводы

При использовании традиционной сушилки для гранулированного полиэтилена при сушке дробленого вторичного полиэтилена образуются зоны с низкой и высокой скоростью фильтрации сушильного агента, возникает неоднородность влагосодержания в материале после сушилки, нерационально используется температурный потенциал сушильного агента, что ведет к повышению удельного расхода теплоты.

Модернизация существующего сушильного оборудования при использовании его для дробленого вторичного полиэтилена требует замены широких газораспределительных устройств на более мелкие с применением двух- и трехъярусного их расположения, уменьшения толщины фильтрующего слоя и обеспечения равномерности полей скорости фильтрации.

Список литературы

1. ДСТУ В В.2.5-31:2007. Видання. Трубопроводи попередньо теплоізоляовані спіненим поліуретаном для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж. Труби, фасонні вироби та арматура. Технічні умови. [Чинний від 2007-02-05]. Київ, 2007. 84 с.
2. Олексійовець В.О., Двойнос Я.Г. Математична модель процесу течії розплаву у трубних головках гвинтового типу. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки*. 2016. Вип. 14. С. 63–72.
3. Лыков А.В. Теория сушки. М. : Энергия, 1968. 472 с.
4. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сорококая Н.Н. Математическая модель и метод расчета тепломассопереноса и фазовых превращений в процессах сушки. *Пром. теплотехника*. 2001. Т. 23, № 3. С. 65–73.
5. Бойко В.С., Бойко Р.В. Підземна гідрогазо-механіка : Підручник. Київ, 2003. 451 с.

**Сацердотов А.О.¹, Подиман Г.С.¹, аспірант,
Носов О.П.², Двойнос Я.Г.¹, канд. техн. наук**

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

просп. Перемоги, 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: 0507293553@ukr.net

² ТОВ «Перший трубний завод», Київ

вул. Резервна, 8а, 04074 Київ, Україна, e-mail: ptz1@ukr.net

Технологія сушіння вторинного подрібненого поліетилену

Розглянуто питання підвищення енергоефективності процесів сушіння вторинного подрібненого поліетилену при використанні його для виробництва труб та оболонки. Викладено результати експериментальних досліджень фільтрувальних властивостей вторинного поліетилену та кінетики процесу його конвективного сушіння повітрям. Запропоновано методику параметричного розрахунку сушарки з фільтруючим шаром вторинного подрібненого поліетилену з метою оптимізації витрат енергоносіїв. Наведено приклад математичного моделювання конструкції промислової сушарки з метою визначення робочої характеристики апарату (залежність опору від витрат повітря). *Бібл. 5, рис. 5.*

Ключові слова: сушіння, сушарка, фільтруючий шар, вторинний поліетилен, подрібнений поліетилен, енерговитрати на процес сушіння.

**Satserdotof A.O.¹, Podyman H.S.¹, PhD Student, Nosov O.P.²,
Dvoynos Ya.G.¹, Candidate of Technical Sciences**

¹ National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kiev

37, Pobedy Ave., 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: 0507293553@ukr.net

² JSK «First Pipe Plant», Kiev

8a, Reserвна Str., 04074 Kiev, Ukraine, e-mail: ptz1@ukr.net

Technology of Drying Secondary Crushed Polyethylene

The state of the problem of improving the energy efficiency of the drying processes of secondary crushed polyethylene is analyzed when it is used for the production of pipes and shells. The results of experimental research of the filter properties of secondary polyethylene, and the kinetics of its convective air drying process, are established. A technique is proposed for parametric calculation of a dryer with a filtering layer of secondary crushed polyethylene in order to optimize the costs of energy carriers. An example of a simulation modeling of the design of an industrial dryer is given for the purpose of determining the operating characteristics of the apparatus (dependence of resistance on air flow). *Bibl. 5, Fig. 5.*

Key words: drying, filtering layer, secondary polyethylene, ground polyethylene, energy consumption for the drying process.

References

1. DSTU B V.2.5-31:2007. Vidannja. Pipelines pre-insulated with polyurethane foam for hot water supply networks and heating networks. Pipes, fittings and fittings. Tehnichni umovi. [Chinnij vid 2007-02-05]. Kiev, 2007. 84 p. (Ukr.)
2. Oleksijovec' V.O., Dvoynos Ja.G. [Mathematical model of the process of the melt flow in the spiral-type tube heads]. *Matematichne ta komp'juterne modeljuvannja. Serija: Tehnichni nauki*. 2016. Iss. 14. pp. 63–72. (Ukr.)
3. Lykov A.V. [Theory of drying]. Moscow : Jenergija, 1968. 472 p. (Rus.)
4. Nikitenko N.I., Snezhkin Ju.F., Sorokovaja N.N. [Mathematical model and method for calculating heat and mass transfer and phase transformations in drying processes]. *Promyshlennaya Teplotehnika*. 2001. 23 (3). pp. 65–73. (Rus.)
5. Bojko V.S., Bojko R.V. [Underground hydrogasmеchanics]. Kiev, 2003. 451 p. (Ukr.)

Received October 2, 2018