

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВОЧНЫХ РАСЧЕТОВ РОТОРНО-НОЖЕВЫХ АГЛОМЕРАТОРОВ

Я. А. Гребнева

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В. Г. Шипинский

Физико-механическая переработка термопластичного полимерного сырья во вторичный материал, используемый в производстве продукции, определяется во многом его исходным состоянием. В частности, мало загрязненное пленочное полимерное сырье обычно перерабатывается в агломерат – сыпучий материал (окатыши), имеющий более высокую насыпную плотность и используемый далее для грануляции либо непосредственно в производстве изделий литьем под давлением. Производится такая переработка в агломераторах – технологическом оборудовании, которое по особенностям конструктивного исполнения подразделяется на роторно-ножевые агломераторы периодического действия, а также червячные и дисковые агломераторы непрерывного действия.

И если для червячных и дисковых агломераторов методики проектировочных расчетов их основных функциональных параметров имеются [1], то для роторно-ножевых агломераторов такая методика в соответствующей специализированной технической литературе отсутствует и это не позволяет при конструировании рас-

четным путем определять оптимальные значения их параметров. Традиционные же методики инженерных расчетов механических машин здесь не приемлемы, так как в этом оборудовании за счет механической энергии осуществляются термодинамические процессы, приводящие к превращению исходного пленочного сырья в сыпучий материал (окатыши) с более высокой насыпной плотностью. Целью этой работы является создание такой методики и ее экспериментальная проверка на агломераторе двухроторном модели А-01, созданном в СКТБ «Металлополимер» (г. Гомель).

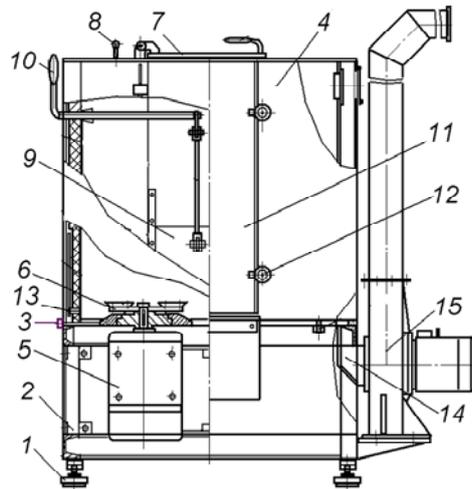


Рис. 1

Данный агломератор, приведенный на рис. 1 [2], содержит установленное на виброопорах 1 основание 2, к которому шарнирным соединением 3 крепится размольно-смесительная камера 4. В дне этой камеры выполнены подшипниковые узлы, через которые проходят валы двух электродвигателей 5, расположенных в основании 2. На этих валах крепятся в свою очередь дисковые роторы 6, содержащие на рабочих поверхностях по четыре ножа клиновидной формы. Сверху на камере 4 имеется загрузочный люк, закрываемый крышкой 7, и электроклапан 8, автоматически впрыскивающий в нее необходимую порцию воды. В боковой же стенке этой камеры содержится окно для выгрузки агломерата, закрываемое шибером 9, перемещаемым поворотом рукоятки 10. Эту зону выгрузки закрывает также дверца 11, фиксируемая гайками-барашками 12, находящимися на откидных болтах. Камера 4 через закрепленный в ее боковой стенке термопреобразователь 13, связана с прибором контроля температуры, а также через отверстие в дне соединяется с воздухопроводом 14, установленного на основании 2 вентилятора 15, обеспечивающего удаление из ее рабочей зоны пара. Агломератор обслуживается и управляется оператором с расположенного рядом помоста, содержащего присоединенный кабелем пульт.

При работе перерабатываемое пленочное полимерное сырье рабочим вручную сортируется по видам материалов (на полиэтиленовое, поливинилхлоридное и т. д.), очищается от загрязнений и посторонних непластмассовых компонентов, группируется, уплотняется, сворачивается в небольшие рулоны, которые загружаются через верхний люк, закрываемый крышкой 7, в размольно-смесительную камеру 4, и агломератор включается в работу. Загруженное сырье при этом измельчается ножами быстро вращающихся дисковых роторов 6 с интенсивным перемешиванием и за счет трения его измельченных фрагментов между собой и поверхностью камеры за

3–5 мин разогревается до вязкотекучего состояния. В этот момент через электроклапан 8 в камеру 4 впрыскивается определенная порция воды, которая, превращаясь в пар, быстро охлаждает пластицированную массу, и она формируется в отдельные окатыши (агломерат) округлой формы. В это же время включается вентилятор 15, удаляющий пар и пыль из камеры через пылесборник в магистраль вытяжной вентиляции, а также обеспечивающий конвективную сушку полученного агломерата. Отработав предусмотренное время, вентилятор 15 выключается, и оператор поворотом рукоятки 10 поднимает вверх шибер 9, открывая тем самым выгрузочное окно камеры 4. После этого открывается дверца 11 и через открытое окно полученный агломерат выгружается из камеры 4 в технологическую тару.

Методика проектировочных расчетов данных агломераторов должна обеспечивать определение оптимальных значений их следующих основных функциональных параметров: массы пленочного полимерного сырья, загружаемого в размольно-смесительную камеру; мощности привода дисково-ножевого ротора; массы воды, впрыскиваемой в размольно-смесительную камеру для быстрого охлаждения пластифицированных полимерных фракций; объема пара создаваемого испаряющейся охлаждающей водой; мощности электродвигателя вентилятора, удаляющего пар и пыль из размольно-смесительной камеры.

• Масса пленочного полимерного сырья, загружаемого в размольно-смесительную камеру, определяется по формуле

$$m = V\rho k_v, \text{ кг}, \quad (1)$$

где V – объем полости размольно-смесительной камеры, м^3 ; ρ – плотность загружаемого полимерного сырья, $\text{кг}/\text{м}^3$; k_v – коэффициент объемного заполнения камеры пленочным полимерным сырьем; проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что при ручном уплотнении загружаемого сырья в камере $k_v = 0,25$.

• Мощность электропривода дисково-ножевого ротора затрачивается в итоге на нагрев и расплавление в размольно-смесительной камере полимерного сырья, поэтому ее определяем по суммарному количеству расходуемой на нагрев энергии из следующего уравнения энергетического баланса [3]:

$$Q = Q_m + Q_l + Q_k, \quad (2)$$

где Q_m – количество энергии, затрачиваемой на нагрев полимерного сырья; Q_l и Q_k – количество энергии, отдаваемой наружной поверхностью камеры в окружающую среду лучеиспусканием и конвекцией соответственно.

Количество энергии, затрачиваемой на контактный нагрев полимерного сырья за единицу времени, определяется по формуле:

$$Q_m = mC(T_k - T_0)n, \text{ кДж/ч}, \quad (3)$$

где m – масса пленочного полимерного сырья, загружаемого в размольно-смесительную камеру, кг; C – удельная массовая теплоемкость полимерного сырья, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$; T_k и T_0 – конечная и начальная температуры нагреваемого полимерного сырья соответственно, К; n – количество полных рабочих циклов, совершаемых в течение часа, при непрерывной работе агломератора, циклов/ч.

Количество энергии, отдаваемой наружной поверхностью камеры в окружающую среду лучеиспусканием, определяется по формуле

$$Q_{\text{л}} = \sigma \varepsilon F T^4, \text{ Вт.} \quad (4)$$

Количество энергии, отдаваемой наружной поверхностью камеры в окружающую среду конвекцией, определяется по формуле

$$Q_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}} F (T - T_{\text{в}}), \quad (5)$$

где в формулах (4)–(5) σ – постоянная Стефана–Больцмана; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$; ε – степень черноты (излучающая способность) наружной поверхности камеры; F – площадь наружной поверхности камеры, м^2 ; T – средняя абсолютная температура наружной поверхности камеры, К ; $T_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, К ; $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Суммарная мощность Q определяется сложением вычисленных значений $Q_{\text{м}}$, $Q_{\text{л}}$ и $Q_{\text{к}}$ с учетом следующего коэффициента соотношения величин: $1 \text{ кДж/ч} = 0,278 \text{ Вт}$. Следовательно:

$$Q = 0,278 Q_{\text{м}} + Q_{\text{л}} + Q_{\text{к}}, \text{ Вт.} \quad (6)$$

По вычисленному значению Q принимаем мощность электропривода дисково-ножевого ротора.

• Массу воды $m_{\text{в}}$, впрыскиваемой в размольно-смесительную камеру для быстрого охлаждения пластицированных полимерных фракций, находим из уравнения энергетического баланса: $Q_{\text{м}} = m_{\text{в}} C_{\text{в}} (T_{\text{к}} - T_0) + L m_{\text{в}}$, преобразовав которое получаем:

$$m_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{м}}}{C_{\text{в}} (T_{\text{к}} - T_0) + L}, \text{ кг,} \quad (7)$$

где $Q_{\text{м}} = m C (T_{\text{к}} - T_0)$ – количество энергии, затрачиваемой на нагрев полимерного сырья за цикл, кДж ; $C_{\text{в}}$ – удельная массовая теплоемкость воды ($C_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$); L – удельная теплоемкость парообразования ($L = 2,3 \cdot 10^3 \text{ кДж/кг}$); $T_{\text{к}}$ и T_0 – конечная и начальная температуры испаряемой воды.

• Объем пара $V_{\text{п}}$, создаваемого испаряющейся охлаждающей водой, определяется по формуле

$$V_{\text{п}} = m_{\text{в}} \nu k n, \text{ м}^3/\text{ч,} \quad (8)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса воды, впрыскиваемой в размольно-смесительную камеру, кг ; ν – удельный объем парообразования ($\nu = 1,673 \text{ м}^3/\text{кг}$); k – кратность воздухообмена за час; n – количество полных рабочих циклов совершаемых в течение часа, при непрерывной работе агломератора, циклов/ч .

• Мощность электродвигателя вентилятора, удаляющего пар и пыль из размольно-смесительной камеры, определяем по формуле [4]:

$$N_{\text{в}} = \frac{k_3 V_{\text{п}} \rho_{\text{в}} \cdot 10^{-5}}{3,6 \eta_{\text{в}} \eta_{\text{п}}}, \text{ кВт,} \quad (9)$$

где k_3 – коэффициент запаса ($k_3 = 1,05\text{--}1,5$); $V_{\text{п}}$ – объем удаляемого пара, м³/ч; $p_{\text{в}}$ – полное давление, развиваемое вентилятором, Па ($p_{\text{в}} = 12$ кПа); $\eta_{\text{в}}$ – КПД вентилятора ($\eta_{\text{в}} = 0,5$); $\eta_{\text{п}}$ – КПД привода (при непосредственной установке колеса на валу электродвигателя $\eta_{\text{п}} = 1$).

По приведенной методике выполнены проектировочные расчеты агломератора модели А-01, созданного и эксплуатирующегося в СКТБ «Металлополимер», г. Гомель. Расчетные данные совпали с фактическими характеристиками этого агломератора с отклонениями в пределах 10 %. Следовательно, данную методику можно применять как при проектировании такого оборудования, так и в учебном процессе при выполнении соответствующих курсовых и дипломных проектов.

Приведенные роторно-ножевые агломераторы периодического действия являются универсальным оборудованием, которое кроме переработки пленочного полимерного сырья в агломерат, может производить дробление тонкостенных пластмассовых изделий (бутылок, банок, термоформованной тары, одноразовых шприцев) в хлопьевидную структуру и использоваться в качестве скоростного смесителя, а также применяться для промывки перерабатываемого сырья водой и для сушки влажного сыпучего материала. А еще они позволяют в процессе агломерации вводить в перерабатываемое сырье различные модификаторы и красители.

Литература

1. Лукач, Ю. Е. Оборудование для производства полимерных пленок / Ю. Е. Лукач, А. Д. Петухов, В. А. Сенатос. – М. : Машиностроение, 1981. – 224 с.
2. Шипинский, В. Г. Оборудование и оснастка упаковочного производства : учеб. пособие / В. Г. Шипинский. – Минск : Выш. шк., 2015. – 382 с.
3. Шипинский, В. Г. Практическое пособие по проектировочному расчету электронагревателей для полимерных материалов / В. Г. Шипинский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 1998. – 52 с.
4. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры : учеб. для теплоэнергет. специальностей вузов / В. М. Черкасский. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.