

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА ФАЗЕ ВЫМАЧИВАНИЯ

Д. И. Махмутова

Проблема повышения эффективности технологического оборудования в значительной степени связана с процедурой оптимизации протекающих тепло-массообменных процессов.

Проанализируем построенную нами математическую модель процесса:

$$\frac{\partial U(r, \varphi, \tau)}{\partial \tau} = a_{m_c} \left( \frac{\partial^2 U(r, \varphi, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \varphi, \tau)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U(r, \varphi, \tau)}{\partial \varphi^2} \right),$$
$$\frac{\partial W(r, \varphi, \tau)}{\partial \tau} = a_{m_s} \left( \frac{\partial^2 W(r, \varphi, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial W(r, \varphi, \tau)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 W(r, \varphi, \tau)}{\partial \varphi^2} \right),$$

где  $U(r, \varphi, \tau)$  – концентрация спирта в полимерном продукте;  $W(r, \varphi, \tau)$  – концентрация воды в полимерном продукте;  $a_{m_c}$  и  $a_{m_s}$  – коэффициенты диффузии спирта и воды, для которых мы используем следующие зависимости:  $a_{m_c} = k_1 \cdot a_{m_{c0}} \cdot U^{n_1} \cdot T^{m_1}$ ,  $a_{m_s} = k_2 \cdot a_{m_{s0}} \cdot W^{n_2} \cdot T^{m_2}$ , где  $T$  – температура.

Математическая модель позволяет рассчитать и проанализировать кинетику процесса. Одновременно с этим, модель может быть использована для расчёта оптимальных технологических условий его проведения.

За показатель, который мог бы быть критерием оптимальности исследуемого процесса, может быть принято значение времени полного извлечения растворителя из частиц  $\tau_n$ , за которое будет достигнута требуемая концентрация.

При расчёте оптимального температурного профиля критерий оптимальности необходимо дополнить некоторыми ограничениями, характеризующими необходимые условия протекания технологического процесса.

Из полимерной композиции при помощи воды извлекается растворитель – спирт и отчасти эфир. При значительном содержании растворителя в полимерных

элементах после провяливания вымачивание будет происходить с большей скоростью, что может привести к нарушению структуры полимерных изделий. Межпачечные и межмакромолекулярные связи не восстанавливаются, полимер делается непрочным и пористым. Если растворителя в полимерном продукте перед вымачиванием очень мало, то процесс его удаления замедляется, так как при глубоком провяливании возможно образование корочки на поверхности полимерных элементов. Отсюда получаем ограничение для значения начального массосодержания  $u_0$ :  $u_2 \leq u_0 \leq u_1$  (1).

Экстрагирование имеет место только в том случае, когда объемная доля экстрагируемого вещества в растворяющей среде ниже, чем объемная доля его в веществе, из которого оно извлекается. Значит, заливка должна проходить спиртовым раствором меньшей концентрации, чем текущее массосодержание растворителя в твердой фазе:  $u(r, \varphi, \tau) \geq c_i(\tau)$  (2).

Увеличение объемной доли спирта в воде способствует удалению эфира в процессе вымачивания, вместе с тем чрезмерное увеличение его объемной доли приводит к извлечению стабилизатора. Объемная доля спиртовых вод на вымачивании не должна быть более 12%, с повышением ее разрушается структура зерна, и имеет место вымачивание из полимерного продукта стабилизатора:  $c_i(\tau) \leq 0,12$  (3).

Водная экстракция спирто-эфирного растворителя из природных полимеров, как правило, ограничена скоростью диффузии в твердой фазе. Одним из способов интенсификации диффузионных процессов в твердой фазе является увеличение температуры процесса. Однако, повышение температуры выше определенной температуры  $t_1$  при значительном содержании растворителя, что наблюдается при первых заливках, приводит к слишком быстрому извлечению спирта, большим потерям стабилизатора и, как следствию, нарушению структуры полимера и снижению качества продукта. Ограничение записывается в виде:  $T_i \leq t_1$  ( $i = 1, 2$ ) (4). Температуру последующих заливок можно повышать, но не опять не выше некоторой температуры  $t_2$ :  $T_i \leq t_2$  ( $i = 3, \dots, n$ ) (5).

Факторы качества продукции. Плотность полимера на выходе должна лежать в определенных пределах:  $|\rho - \rho_0| \leq \Delta\rho$  (6), где  $\Delta\rho$  – допустимое отклонение плотности от заданной.

В качестве ограничения, характеризующего качество продукции на выходе управляемого объекта, выбираем следующее условие:  $\iint_{r\varphi} (u(r, \varphi) - \Theta(r, \varphi))^2 dr d\varphi \leq \Delta u$ , (7), где  $\Theta(r, \varphi)$  – заданный состав выходного продукта.

Факторы ресурсов. Наиболее общим и полным представляется технико-экономический критерий эффективности в виде суммы приведенных затрат, т.е. показателей удельных капитальных и эксплуатационные затрат  $F = \frac{S_{kan}}{T_{н.о.}} + S_{э}$ , где  $S_{kan}$  – капитальные затраты;  $T_{н.о.}$  – нормативный срок окупаемости капитальных затрат;  $S_{э}$  – эксплуатационные затраты. Выбранное нами ограничение гласит, что приведенные затраты не должны превышать некоторой величины  $F_0$ :  $F \leq F_0$  (8).

Тогда постановку задачи оптимизации можно было бы записать как следующую задачу нелинейного программирования: в области  $\{u_i \leq 0,12, i = 1, \dots, n; T_i \leq t_1, i = 1, 2, T_i \leq t_2, i = 3, \dots, n; n \in Z\}$  найти значения управляющих параметров, удовлетворяющих ограничениям (1) – (8), и минимизирующих целевую функцию  $\tau_n$  – суммарное время процесса вымачивания. Значение выбранного критерия оптимальности  $\tau(T_i, u_i, n)$  рассчитывается при помощи комплекса программ, основанного на математической модели процесса и реализованного в программной среде Delphi, и зависит от тех же управляющих параметров, что и в задаче оптимизации.

Входными для расчета процесса вымачивания на модели являются: исходный состав полимера и его геометрические размеры, конечные характеристики продукта.

В качестве управляющих параметров выбраны следующие факторы: концентрация спиртовых вод каждой из заливок; температура воды при заливках; количество заливок.