

УДК 621.96:678.02

Пашков В. Г.
Емченко Е. А.
Борисенко А. В.
Селедцов А. С.
Голубенко Н. Ю.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ИЗМЕЛЬЧЕНИЮ И ВТОРИЧНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОТХОДОВ⁶

Вопросы автоматизированного проектирования, а также совершенствования различных технологий и оборудования получили развитие в работах [1, 2] и в целом ряде других. Результаты указанных исследований позволили в максимальной степени использовать возможности соответствующих производств по отношению к повышению их технико-экономических показателей. Вместе с тем, с точки зрения всей ширины спектра технологий по измельчению синтетических отходов возможности их совершенствования и компьютеризации проектных работ исчерпаны далеко не полностью, что делает актуальным проведение дальнейших работ, имеющих своей целью обобщение результатов экспериментальных и теоретических исследований [3–5], а также разработку конкретных практических рекомендаций.

Целью данной работы является усовершенствование состава и технологических режимов рабочего оборудования по измельчению и вторичному использованию синтетических отходов. Разработка и решение программно задачи по автоматизированному проектированию настройки и технологических режимов работы соответствующего оборудования.

С точки зрения максимального снижения себестоимости получаемой продукции, обеспечения экологической безопасности, а также уменьшения удельных капитальных затрат и сроков промышленного освоения за основу, была принята технология измельчения синтетических, в том числе и резинотехнических отходов при положительных температурах. Кроме того была реализована концепция дифференцированного подхода, предполагающая первоначальное разделение на отдельные фрагменты крупно- и сверхкрупногабаритных фрагментов при помощи ленточных пил [3] на отдельных, по возможности мобильных, участках и последующее измельчение получаемых фракций и других малогабаритных отходов в мелкодисперсную крошку заданного типоразмера на стационарных агрегатах и линиях, максимально приближенных к основным потребителям данного вида продукции. Реализация данного подхода позволит минимизировать удельные транспортные расходы при одновременном расширении объемов промышленного производства за счет более широкого охвата различных источников накопления соответствующих отходов, а также за счет улучшения маркетинговых и финансовых условий сбыта.

Рассматриваемое на примере линии по измельчению изношенных автомобильных шин оборудование включает в себя (рис. 1) борторез 1, конвейер 2, дробилку первичного измельчения 3, конвейеры 4, дробилку роторно-ножевую 5, магнитный сепаратор 6, конвейер 7, сепаратор 8, вальцы дробильные 9, сепаратор 10, грохот 11, вальцы размалывающие 12, сепаратор 13, грохот 14 и бункер-накопитель 15. Работа данной технологической линии основана на принципе многостадийного измельчения изношенных автомобильных шин и резинотехнических отходов при положительных температурах с поэтапным выделением металлического или текстильного корда.

Непосредственно реализуемый в этом случае технологический процесс заключается в следующем. Автомобильные покрышки массового типоразмера после удаления колец в машине для вырезки бортов на специальном станке 1 или фрагментов конвейером 2 транспортируются в дробилку 3 первичного измельчения. Далее фрагменты крупностью менее 50...100 (мм) конвейером 4 подаются в дробилку роторно-ножевую 5, с выхода которой

⁶ Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. Сатонина А. В.

фрагменты крупностью 10...20 (мм) и менее в смеси с частично высвободившимся металлическим кордом (до 80 %) конвейером 4 подаются в магнитный сепаратор 6 для удаления металлического корда. Затем измельчение шин проходит в две стадии на вальцах дробильных 9 и вальцах размалывающих 12 с поэтапным выделением металлического или текстильного корда в магнитных сепараторах 10 и сепараторах для выделения текстиля 11.

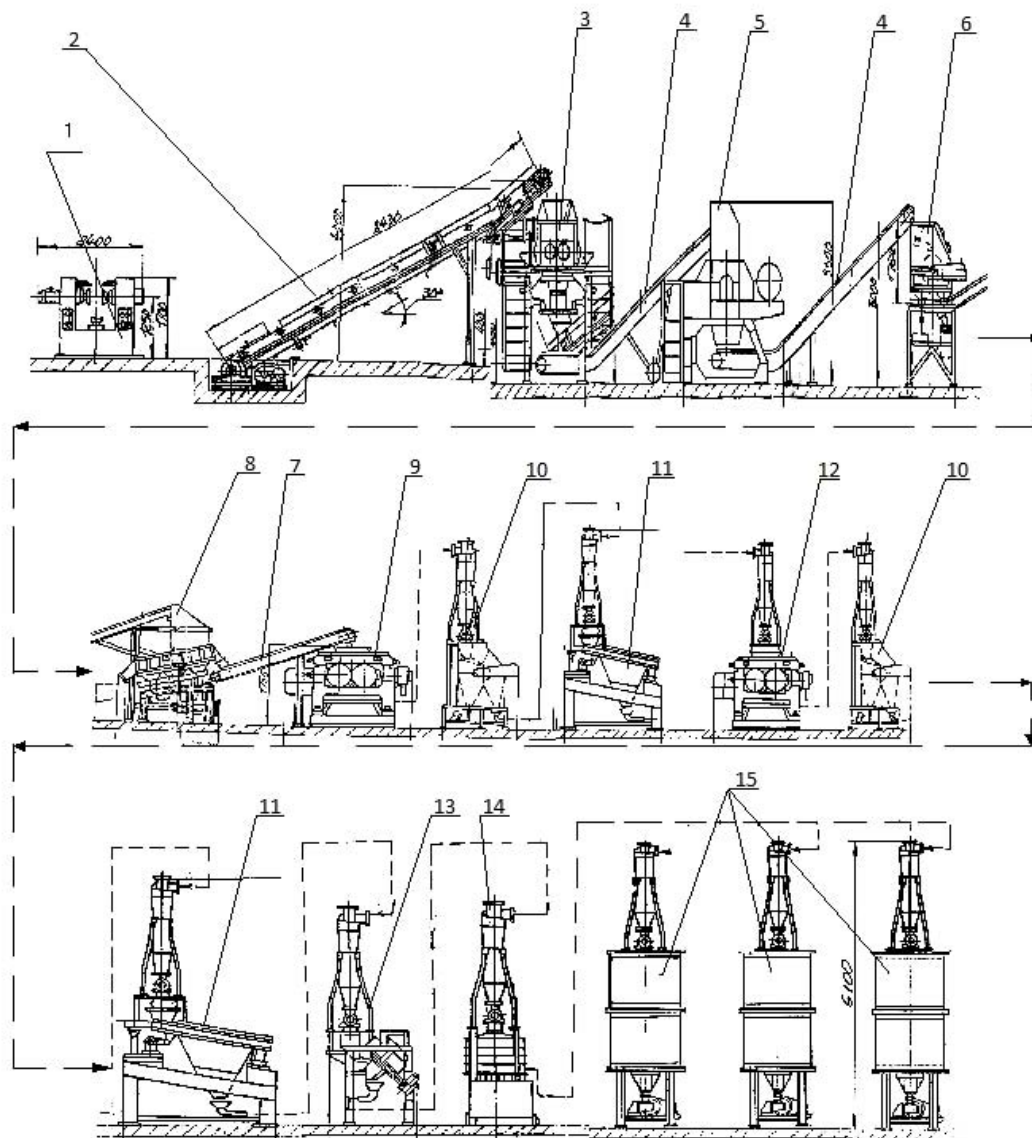


Рис. 1. Состав оборудования линии по измельчению изношенных автомобильных шин и резинотехнических отходов при положительных температурах

Окончательная очистка резиновой крошки от остатков металла происходит в сепараторе электромагнитном 13. С выхода вальцов дробильных 9 дальнейшее транспортирование продуктов измельчения производится пневматическим транспортом. Для этих целей линия снабжена тремя блоками рукавных фильтров вентиляторами высокого давления. В грохоте 14 резиновая крошка рассеивается на требуемые фракции и складывается в бункерах-накопителях 15.

Основным предназначением технологической линии рассмотренной конструкции является получение крошки или порошка с требуемыми геометрическими характеристиками, т. е. с требуемой толщиной h_1 . При этом искомым технологическим параметром для каждого звена процесса измельчения является исходная толщина резинотехнических фрагментов h_0 , являющаяся одновременно конечной толщиной на предыдущей операции. Так, для вальцов

размалывающих 12 (см. рис. 1) исходной является конечная толщина, полученная на вальцах дробильных 9, для которой исходными, в свою очередь, являются геометрические характеристики резинотехнических фрагментов, полученных предварительно на дробилках 3 и 5.

Следуя данной логике основным проектируемым параметром для каждого отдельного звена всей технологической линии процесса измельчения является исходная толщина h_0 , определяемая требуемой конечной толщиной резинотехнических фрагментов h_1 , а также технологическими возможностями оборудования, используемого в рамках данного передела. Таким образом, в качестве критериальной оценки при автоматизированном проектировании процессов измельчения резинотехнических отходов может быть использовано условие достижения максимума производительности, соответствующее использованию максимально допустимых значений исходной толщины h_0 с учетом одновременного выполнения всех ограничений.

Применительно к процессам вальцевания в качестве таких ограничений должны быть использованы допустимые значения силы P и моментов M_1, M_2 , являющиеся паспортными характеристиками соответствующего оборудования, а также условие захвата исходных резинотехнических фрагментов рабочими валками вальцов. По аналогии с традиционными процессами продольной прокатки [6] условие захвата может быть представлено в следующем аналитическом виде:

$$\operatorname{tg} \alpha_{30} \leq f_3, \quad (1)$$

где α_{30} – величина угла захвата в начальный момент времени процесса вальцевания;

f_3 – величина коэффициента трения именно при захвате резинотехнических фрагментов ведущим и ведомым рабочими валками, имеющими радиусы R_1 и R_2 .

Используя понятие приведенного радиуса рабочих валков $R_{np} = 2R_1R_2 / (R_1 + R_2)$ [6], т. е. заменив процесс вальцевания в рабочих валках различного радиуса на аналогичный по условиям реализации процесс вальцевания в рабочих валках равного радиуса, и используя очевидные тригонометрические соотношения, величину угла захвата α_{30} можно определить как:

$$\alpha_{30} = \arccos \left[1 - (h_0 - S_{10}) / (2R_{np}) \right], \quad (2)$$

где S_{10} – первоначальное расстояние между образующими поверхностями рабочих валков в плоскости осей их вращения, соответствующее расстоянию S_1 в начальный момент захвата, т. е. при отсутствии силы вальцевания.

Количественно, следуя известной зависимости Головина-Симса [6], величина первоначального межвалкового зазора соответствует выражению вида:

$$S_{10} = S_1 - P_g / G_{клев}, \quad (3)$$

где P_g – сила процесса вальцевания в установившемся режиме, являющаяся согласно результатам математического моделирования [5] величиной расчетной;

$G_{клев}$ – модуль жесткости рабочей клетки вальцов, определяемый, как и в случае рабочих клеток прокатных станов традиционной конструкции [6], упругими податливостями основных элементов их силовых линий.

С учетом заданного значения конечной толщины h_1 расчетной является и величина межвалкового зазора S_1 , а вместе с этим, согласно (4), и величина настроечного межвалкового зазора S_{10} . При этом, вследствие наличия довольно сложных функциональных взаимосвязей непосредственное определение S_1 было осуществлено путем организации дополнительной внешней итерационной процедуры решения, основанной на использовании метода целенаправленного перебора вариантов со следующей схемой:

$$S_{1(t+1)} = S_{1t} + A_{s1} \operatorname{sign}([h_1] - h_{1pt}), \quad (4)$$

где t – порядковый номер очередного цикла итерационной процедуры решения;

A_{s1} – шаг изменения величины межвалкового зазора в плоскости сопряжения зоны пластического формоизменения и зоны упругого восстановления очага деформации процесса вальцевания [5];

$\operatorname{sign}([h_1] - h_{1pt})$ – функция знака, соответствующая:

$$\operatorname{sign}([h_1] - h_{1pt}) = \begin{cases} 1 & \text{при } h_1 > h_{1pt}; \\ 0 & \text{при } h_1 \approx h_{1pt}; \\ -1 & \text{при } h_1 < h_{1pt}, \end{cases}$$

h_1, h_{1pt} – заданное и расчетное значения конечной толщины.

Итерационно на основе метода целенаправленного перебора вариантов была решена и задача по определению максимально допустимого значения исходной толщины резинотехнических фрагментов h_0 соответствующего одновременному выполнению всех трех условий:

$$P_e \leq [P_e]; \quad M_e \leq [M_e]; \quad \alpha_{30} \leq [\alpha_{30}], \quad (5)$$

где P_e, M_e, α_{30} – расчетные согласно результатам математического моделирования [5] и зависимостям (2)–(4), значения силы и моментов процесса вальцевания, а также величины угла захвата;

$[P_e], [M_e], [\alpha_{30}]$ – предельно допустимые, исходя из паспортных характеристик значений соответствующих параметров.

Аналитически, обобщив расчетные и предельно допустимые характеристики единичными показателями Y_e и $[Y_e]$ форму записи рассматриваемого итерационного решения можно представить как:

$$h_{0(k+1)} = h_{0k} + A_{h0} \operatorname{sign}([Y_e] - Y_e), \quad (6)$$

где k – порядковый номер очередного цикла итерационной процедуры решения по отношению к исходной толщине h_0 ;

A_{h0} – шаг изменения исходной толщины, принятый равный 0, 1 мм;

$\operatorname{sign}([Y_e] - Y_e)$ – функция знака, соответствующая:

$$\operatorname{sign}([Y_e] - Y_e) = \begin{cases} 1 & \text{при } P_e < [P_e] \text{ и } M_e < [M_e] \text{ и } \alpha_{30} < [\alpha_{30}]; \\ 0 & \text{при } P_e > [P_e] \text{ или } M_e > [M_e] \text{ или } \alpha_{30} > [\alpha_{30}]; \end{cases}$$

Следует указать на то, что, учитывая технологическую последовательность, заданное для вальцов дробильных значение конечной толщины h_1 должно быть равно расчетному согласно (6) значению исходной толщины h_0 резинотехнических фрагментов для вальцов размалывающих. Аналогичную рассмотренной выше структуру имеет и система автоматизированного проектирования настройки и технологических режимов работы оборудования для реализации процесса резки резинотехнических отходов на ножницах поперечной и продольной резки.

В частности, применительно к процессу резки на дисковых ножницах в качестве основных ограничений должны быть использованы условия захвата и количественные оценки энергосиловых параметров [4]. При этом в качестве дополнительного варьируемого параметра может быть использована величина перекрытия дисковых ножей δ_n , увеличение которой

приводит к некоторому снижению силы резания $p_{pд}$. Одновременно со снижением силы резки увеличение перекрытия дисковых ножей приводит к увеличению углов α_0 и, как следствие, к ухудшению условий захвата резинотехнических фрагментов, подвергаемых резке. Аналитически величину угла захвата в этом случае можно выразить как:

$$\alpha_0 = \arccos[1 - (h_0 - \delta_n)/(2R_d)], \quad (7)$$

откуда с учетом методики по расчету силы моментов резки, а также с учетом критериальной оценки условий захвата $tg\alpha_0 \leq f_3$ и может быть определено эффективное значение перекрытия дисковых ножей.

Предложенные аналитические зависимости и схемы их решения в сочетании с математическими моделями процессов резки и вальцевания резинотехнических фрагментов [3–5] были положены в основу комплекса программных средств по автоматизированному проектированию технологических режимов работы и конструктивных параметров оборудования по измельчению и вторичному использованию изношенных автомобильных шин, а также синтетических отходов другого вида.

ВЫВОДЫ

С точки зрения минимизации удельных капитальных затрат и снижения получаемой продукции наиболее перспективными являются технологии и оборудование по измельчению синтетических отходов, включающих в себя изношенные автомобильные шины, реализуемое при положительных температурах с одновременным использованием дифференцированного подхода.

На основе математических моделей различных процессов обработки давлением, используемых при измельчении и вторичном использовании синтетических отходов, сформулирована критериально и решена программно задача по автоматизированному проектированию настройки и технологических режимов работы соответствующего оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петренко А. И. Основы построения систем автоматизированного проектирования / А. И. Петренко, О. И. Семенов. – Киев : Вища шк., 1984. – 296 с.
2. Скороходов А. Н. Оптимизация прокатного производства / А. Н. Скороходов, П. И. Полухин, Б. М. Илюкович. – М. : Металлургия, 1982. – 432 с.
3. Сатонин А. В. Уточнение исходных данных на создание технологий и оборудования по утилизации крупногабаритных шин в условиях горнодобывающих и металлургических комплексов / А. В. Сатонин, Е. А. Емченко // *Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. пр. – Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С. 252–257.*
4. Методика экспериментальных исследований процесса разделения крупногабаритных резинотехнических отходов / А. Н. Бойденко, Е. А. Емченко, А. В. Борисенко, О. А. Титаренко, Е. Ю. Гаврильченко // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 133–136.*
5. Математическое моделирование процессов вальцевания и каландрования резинотехнических отходов / А. В. Сатонин, Э. П. Грибков, Е. А. Емченко, А. С. Селедцов // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2009. – № 1(20). – С. 118–122.*
6. Целиков А. И. Теория продольной прокатки / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М. : Металлургия, 1980. – 320 с.

Пашков В. Г. – канд. техн. наук, доц. кафедры АММ ДГМА;
Емченко Е. А. – канд. техн. наук, ст. преподаватель УЗПИ;
Борисенко А. В. – ст. преподаватель кафедры ИГ ДГМА;
Селедцов А. С. – аспирант ДГМА;
Голученко Н. Ю. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, Г. Краматорск.
УЗПИ – Украинский заочный политехнический институт, г. Славянск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua