

веческой жизнедеятельности (области высокого и низкого давления, неприемлемые температурные диапазоны, большая загазованность или агрессивная химическая среда, состояние невесомости и безвоздушного пространства), позволят более качественно изучить процессы, протекающие в механизмах, оценить возможности созданных машин и перспективы создания машин нового поколения. Внедрение экспертных систем на производствах существенно сократит время на обучение новых специалистов, позволит минимизировать количество неполадок, ускорить процесс решения серьёзных задач производственного характера. Важнейшим фактором, обуславливающим необходимость использования экспертных систем в машиностроении, является возможность сохранения и распределения знаний отдельных опытных экспертов, полученных ими в процессе многолетней работы и колоссального практического опыта, — создание институциональной памяти (люди уходят, а накопленные в процессе их работы знания остаются).

Базы знаний создаются тандемной работой программистов и высококлассных специалистов-инженеров, которые передают свои знания о процессах и объектах, поясняют логическую схему рассуждений по выбору оптимального решения конкретных задач, приводят неформализуемые факторы, которые необходимо учитывать. Процесс работы с экспертами или специалистами состоит в извлечении знаний, это процесс сложный, трудоемкий, содержит факторы технического, производственного, психологического и социального характера. Эксперт должен желать и быть в состоянии помочь досконально изучить предметную область. Он должен осознавать, что экспертная система, базу знаний которой он помогает сформировать, проектируется для помощи ему же и его коллегам в практической деятельности, а не в целях вытеснения их с рынка труда. Проблема извлечения знаний и их распределения — сегодня одна из основных проблем производственных организаций [1, с. 148].

**Заключение.** Экспертные системы — весьма эффективная и полезная технология, способная поднять производство на более высокий качественный и конкурентоспособный уровень. Использование экспертных систем позволяет существенно экономить время и уменьшает шанс возникновения неполадок в производстве. Они способны полностью или частично заменить специалиста-эксперта, вследствие этого специалист-эксперт может быть занят другой, более важной работой. Ещё одна актуальная точка зрения в развитии экспертных систем — финансовая. Экспертные системы позволят в перспективе экономить денежные затраты, вследствие чего повысится эффективность всего производства в целом. В Республике Беларусь перспектива развития экспертных систем есть, необходимо внедрять данное направление развития информационных технологий в машиностроение в целях повышения эффективности производства и для существенного экономического эффекта. Одной из областей использования идей и методов искусственного интеллекта в сфере промышленного производства является область создания промышленных роботов с элементами искусственного интеллекта. При имеющейся сегодня аппаратной и программной базе наблюдается возрождение кибернетики, причем достаточно успешно.

#### Список цитируемых источников

1. Алиев, Р. А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р. А. Алиев, Н. М. Абдикеев, М. М. Шахназаров. — М. : Радио и связь, 2016. — 264 с.

УДК 621.926.3

Л. Л. Сотник<sup>1</sup>, С. И. Ханин<sup>2</sup>, профессор, доктор технических наук

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова», Белгород, Российская Федерация

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ СТУПЕНЧАТОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

**Введение.** В Республике Беларусь имеется ряд отраслей, где эффективно используется ступенчатое измельчение материалов. Это в первую очередь предприятия промышленности строительных материалов, сельскохозяйственного производства, химической промышленности, а также предприятия по переработке строительного мусора. Проведенный анализ литературных данных [1; 2] позволил установить, что реализация неиспользованных резервов помольных агрегатов за счет ступенчатого непрерывного процесса измельчения обеспечивает более рациональные условия разрушения материала, что является весьма перспективным.

При достижении измельчаемых частиц определенного размера эффективность измельчения снижается, поэтому необходимо вовремя выводить готовый продукт из зоны измельчения. Это позволит исключить ненужное переизмельчение материала, повысить производительность, снизить расход энергии, получить конечный продукт заданного гранулометрического состава, а также повысить срок службы измельчающего устройства [3; 4].

**Основная часть.** Технологическая схема многоступенчатого измельчительного комплекса представлена на рисунке 1. Реализация такой схемы позволяет совместить в себе принцип пошагового нагружения измельчаемых частиц и вывода готового продукта после каждой ступени измельчения.

Реализованные в помольных линиях многоступенчатость разрушения и классификации частиц определяет их универсальность, а также позволяет решить вопросы переработки материалов по различным направлениям и отраслям.

Среди предприятий строительных материалов ведущее место в Республике Беларусь занимают цементные заводы. Белорусские флагманы в производстве цемента — РУП «Белорусский цементный завод» (Костюковичи), ОАО «Кричевцементношифер» (Кричев) и ОАО «Красносельскстройматериалы» (Красносельск) — имеют крупное и наиболее модернизированное производство цемента в Беларуси. Перспективная потребность республики в цементе с учетом экспорта продукции прогнозируется в объеме 4 млн т в год. На этих предприятиях измельчение происходит в две ступени:

- сухой способ производства: 1-я ступень — барабанная бесшаровая мельница «Аэрофол» и одновременная подсушка; 2-я ступень — молотковый измельчитель;

- мокрый способ производства: 1-я ступень — барабанная бесшаровая мельница «Гидрофол»; 2-я ступень — барабанная шаровая мельница.

Мощность привода при таком ступенчатом разделении достигает 3 000 кВт, а удельный расход электроэнергии — до 20 кВт · ч на одну тонну сырья. Для сравнения фирма: “Polysius” внедрила на цементном заводе в Гонконге мощную сырьевую мельницу производительностью 310 т/ч с мощностью привода 5 000 кВт, удельный расход электроэнергии — до 40 кВт · ч на одну тонну сырья [5].

Измельчение клинкера на таких предприятиях также осуществляется в две ступени: 1-я ступень — молотковая дробилка; 2-я ступень — барабанная шаровая мельница.

Мощность привода при этом достигает 5 МВт, а расход электроэнергии — до 60 кВт · ч на тонну сырья.

Еще одним представителем строительных материалов, при измельчении которого используется ступенчатая система, является щебень. На предприятии РУПП «Гранит» (Микашевичи) ежегодно выпускается более 15 млн т гранитного щебня. Измельчение осуществляется в две ступени: 1-я ступень — щековая дробилка; 2-я ступень — конусная дробилка.

На предприятии ОАО «Доломит» (Витебск) производят также щебень (доломитовый) и доломитовую муку. Здесь горное сырье при производстве доломитовой муки проходит три ступени: 1-я ступень — щековая дробилка; 2-я ступень — барабанная мельница «Аэрофол» и одновременная подсушка горячими газами; 3-я ступень — шахтная мельница.

На этом предприятии суммарные затраты электроэнергии составляют до 50 кВт · ч на тонну сырья при производительности в 55...60 т/ч.

Еще одним направлением, занимающим высокое место по потреблению электроэнергии в промышленности строительных материалов, занимает производство силикатных изделий. В Республике Беларусь находится большое количество предприятий по производству силикатных блоков и кирпичей, по общей массе превышающих 3,5 млн т. Измельчение известьсодержащей массы занимает небольшую долю (до 10 %) и осуществляется в две ступени: 1-я ступень — пресс-валковый измельчитель (ПВИ); 2-я ступень — барабанная шаровая мельница.

Мощность привода достигает 4 МВт, а удельный расход электроэнергии — до 50 кВт · ч на тонну сырья.

Главным представителем химической промышленности является ПО «Беларуськалий», основной продукцией которого являются калийные удобрения. Объем добываемой предприятием руды превышает 40 млн т в год. Переработкой добываемой силвинитовой руды занимаются три фабрики. Измельчение осуществляется в две ступени: 1-я ступень — молотковые дробилки; 2-я ступень — барабанные стержневые мельницы.

Суммарная проектная мощность привода при этом достигает 1 000 кВт при производительности на первой ступени 3 500 т/ч, на второй — 200 т/ч.

Еще одна фабрика этого предприятия также работает в две ступени, но на обеих установлены молотковые дробилки производительностью 200 т/ч.

Проведенный анализ технологических линий показывает, что большинство предприятий имеют ступенчатую систему производства готового продукта, однако энергозатраты остаются весьма высокими.

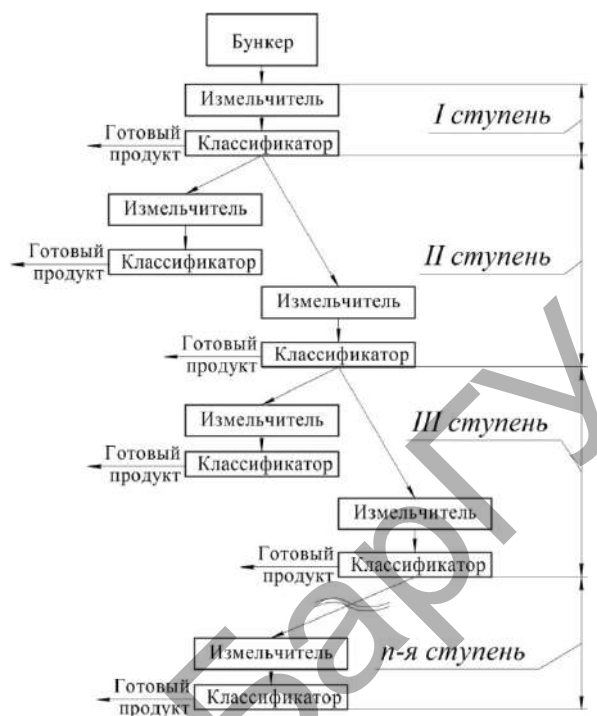


Рисунок 1 — Схема многоступенчатого измельчительного комплекса

Анализ зарубежной практики показывает, что на многих предприятиях в технологическую линию целесообразно внедрять ПВИ перед окончательной стадией измельчения. Использование ПВИ при помоле цемента приводит к снижению удельного расхода электроэнергии на 20...40 % и повышению производительности на 15...40 % [6; 7]. Это достигается за счет меньших затрат энергии, расходуемой на предварительное измельчение клинкера.

Так, например, при внедрении валкового измельчителя перед роторной мельницей на заводе “Titan Cement Company” (Греция) [8] производительность помольной линии возросла с 55 т/ч до 80 т/ч (на 45 %), а удельные энергозатраты конечного помольного агрегата снизились с 13,8 кВт·ч/т до 9,4 кВт·ч/т, при этом на предварительное измельчение в ПВИ расходовалось 2,4 кВт·ч/т.

Наиболее распространенными в настоящее время являются технологические схемы, включающие в себя валковые мельницы (для предварительного измельчения), молотковую дробилку (для дезагрегации спрессованного материала) и шаровую мельницу (для окончательного помола шихт) [9]. За счет использования подобных схем на 20...30 % повышается производительность и на 15...25 % снижается расход электроэнергии.

**Заключение.** Использование ступенчатого процесса измельчения материалов позволяет значительно повысить производительность технологической линии и снизить удельные энергозатраты. Существующие данные по энерго- и ресурсосбережению показывают преимущества реализации технологии переработки сырья в устройствах многоступенчатого разрушения и классификации материала.

#### Список цитированных источников

1. Пироцкий, В. З. Совершенствование техники и технологии измельчения портландцементного клинкера: оценка эффективности помольных систем / В. З. Пироцкий // Совершенствование техники и технологии измельчения портландцементного клинкера и добавок. — 1986. — Вып. 90. — С. 3—23.
2. Романович, А. А. Тенденции развития и направления совершенствования помольного оборудования цементных заводов / А. А. Романович, С. А. Мещеряков // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития—2012 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Одесса. — Одесса, 2012. — Т. 30. — С. 63—67.
3. Денисов, В. А. Механико-технологические основы создания центробежных измельчителей для зерна и других материалов : дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Денисов. — Ижевск, 1991. — 420 л.
4. Йоахим, Х. Развитие одноэтапных процессов измельчения в цементной промышленности / Х. Йоахим // Цемент. Извест. Гипс. — 2006. — № 1. — С. 24—38.
5. Longueville, H. Une installation moderne de broyage de dinker: Latelier Ide da Societe das Cimeses et eugrais de Dannes et de XXIII; Est (CEDEST — 7), HEMING // Cement. Betons. Plâtres. Chaux. — 1980. — № 1. — P. 13—16.
6. Krecal, K. Roller mills have found a role — Pit and Quarry / K. Krecal, S. Stilles // Rock Products. — 1974. — № 1. — P. 49—52.
7. Романович, А. А. Особенности процесса постадийного измельчения материалов с использованием пресс-валкового агрегата / А. А. Романович // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. — 2007. — № 9. — С. 88—91.
8. Романович, А. А. Основы расчета и проектирования пресс-валковых агрегатов для измельчения анизотропных материалов : монография / А. А. Романович, А. В. Колесников. — Белгород : Изд-во БГТУ, 2011. — 165 с.
9. Kohan William, J. Improving ball mill performance with a hydraulic roll crusher / J. Kohan William // Pit and Quarry. — 1988. — № 9. — P. 54—58.

УДК 622.23.05

Н. М. Федосов, Ю. С. Наривончик

Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

### РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ РЕДУКТОРА КОНВЕЙЕРА ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА «УРАЛ 61А»

**Введение.** Конвейер проходческо-очистного комбайна «УРАЛ 61А» служит для транспортировки отбитой горной массы и погрузки её в бункер-перегрузатель. Конструкция конвейера, его привода, а также надёжность работы указанных механизмов имеют существенное значение для обеспечения требуемой производительности комбайна.

**Основная часть.** Повышение производительности труда является основной задачей любого производства. Нами были проанализированы имеющиеся конструкции исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов. В качестве модернизации предложена конструкция исполнительного органа (патент Республики Беларусь № 9284 от 15.03.2013), который, по результатам экспериментальных исследований, показал, что при его использовании, производительность комбайна возрастает с 3 т/мин до 3,3...3,5 т/мин; удельные энергозатраты снижаются с 5...9 кВт·ч/м<sup>3</sup> до 2,7...3,2 кВт·ч/м<sup>3</sup> и выход мелких классов сокращается с 7...9 до 5...6 % [1].

В связи с увеличением производительности в дальнейшем ставилась цель рассчитать основные параметры конвейера и его привода (рисунок 1). Расчеты осуществлялись по методикам, представленным в источниках [2; 3].

Предлагается привод конвейера, состоящего из двух редукторов (рисунок 2) со связью между ними через карданный вал, заменить на более простой редуктор, что приведет к значительному уменьшению металлоёмкости, веса и габаритов механизма. При этом тихоходный вал редуктора обеспечит все необходимые выходные характеристики (рисунок 3).