

легированных сплавов / В. М. Константинов // Вестник ПГУ. Сер. В. – 2003. – Т. 2, № 4. – С. 15–25.

10. **Гуляев, Б. Б.** Синтез сплавов: основные принципы. Выбор компонентов / Б. Б. Гуляев. – М.: Металлургия, 1984. – 160 с.

11. **Авсиевич, А. М.** Технология формирования износостойких газотермических покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08, 05.03.01 / А. М. Авсиевич. – Минск, 2003. – 172 с.

12. **Константинов, В. М.** Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугуновой стружки / В. М. Константинов [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 137 с.

13. **Фруцкий, В. А.** Антифрикционный материал из легированной бором и медью чугуновой стружки для под-

шипников скольжения: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / В. А. Фруцкий. – Новополоцк, 2006. – 156 с.

14. **Пантелеенко, Ф. И.** Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них / Ф. И. Пантелеенко. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

15. **Штемпель, О. П.** Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / О. П. Штемпель. – Новополоцк, 2003. – 166 с.

16. **Семенченко, М. В.** Электрохимикотермическая обработка проволоки для защитных покрытий: дис. ... магистра техн. наук: 05.16.01 / М. В. Семенченко. – Новополоцк, 2003. – 76 с.

Поступила 10.01.2007

УДК 658.562

МЕТОДИКА АНАЛИЗА СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ НА РУП «БМЗ»

Канд. техн. наук, доц. СЕРЕНКОВ П. С., канд. техн. наук АНДРИАНОВ Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

В условиях сложившегося производства и системы управления потенциал для улучшения заключен в глубоком, фундаментальном анализе процессов с применением статистических методов высокого уровня, позволяющих определить необходимые рычаги влияния на ход его протекания и возможные пути оптимизации.

Основной целью исследования процессов является уменьшение потерь за счет недостижения требуемого качества продукции. Под повышением качества подразумевается комплексное управление показателями результативности процесса (параметрами математического ожидания и рассеяния) в целях достижения оптимальных значений с точки зрения требований и затрат.

Методика проведения исследований. Цель разработки данной методики – получить инструмент (информационную модель качества

продукции), позволяющий на основании фактических данных определять причинно-следственные зависимости «влияющие факторы – показатели качества» процессов, прогнозировать значения показателей качества в зависимости от условий и на основании этого принимать эффективные корректирующие и предупреждающие действия.

Использованы статистические методы анализа данных различного уровня, что позволяет извлечь максимальное количество необходимой информации при минимальных затратах на сбор и обработку исходных данных.

Для построения информационной модели качества продукции необходимо решить комплекс задач:

- определить показатель качества продукции (процесса);
- идентифицировать факторы, влияющие на качество продукции (процесса);

- описать модели возможных зависимостей на основании логических связей между процессами.

Для решения задачи построения информационной модели качества в нашем случае использована документация системы менеджмента качества РУП «БМЗ» (СМК).

Построение информационной модели производится с использованием модульного подхода для каждого из уровней детализации процессов, т. е. каждый уровень считается самостоятельной, локальной системой, для которой существуют свои, частные, показатели качества и влияющие факторы.

Этапы построения информационной модели. 1-й этап – предварительный анализ информации. Цель данного этапа – разумное уменьшение факторного пространства, влияющего на показатели качества.

Предварительный анализ производится экспертными методами.

Первоначально изучаются отчеты по функционированию СМК предприятия, на основании чего делают заключение о результативности СМК, а также степени влияния показателей результативности процессов на общие показатели предприятия. Анализируются тенденции показателей и их корреляция с обобщенным показателем качества.

Затем производится анкетирование специалистов предприятия, в результате которого определяют степень влияния каждого из процессов на общие показатели качества.

На основании анализа консолидированной информации из обоих источников делается заключение и для дальнейшего (статистического) анализа оставляются только те показатели, которые имеют высокую значимость, а также потенциал для улучшения.

Анкетирование можно производить при помощи специально разработанных опросников. Далее следует расчет обобщенных оценок и проверяется качество полученных результатов при помощи коэффициента конкордации.

Коэффициент конкордации рассчитывается следующим образом:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{k=1}^m T_k}, \quad (1)$$

где S_i – сумма рангов, присвоенных m экспертами i -му фактору, $S_i = \sum_{k=1}^m R_{ik}$; k – номер эксперта; $\bar{S}$ – среднее значение сумм рангов, $\bar{S} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{n}$; i – номер оцениваемого свойства.

Величина T_k принимает значения, отличные от нуля, в том случае, если в оценках какого-либо эксперта присутствуют «совпадающие» («связанные») ранги:

$$T_k = \sum_{l=1}^{L_k} (t_{kl}^3 - t_{kl}), \quad (2)$$

где t_{kl} – число одинаковых рангов l -го вида в оценках k -го эксперта; L_k – количество групповых факторов с совпавшими рангами в оценках k -го эксперта.

Коэффициент конкордации изменяется от 0 до 1. Значение, равное 1, соответствует полной согласованности мнений экспертов. Считается приемлемым значение коэффициента конкордации $>0,5$.

Затем заполняется сводная таблица, в которой для каждого из процессов фиксируются значения соответствующих показателей. На основании сравнения сводной таблицы и анализа отчетов о результативности делается заключение о необходимости и возможности оптимизации процессов.

2-й этап – статистический анализ данных. Цель этапа – определить все возможные причинно-следственные связи и закономерности с целью возможного прогнозирования целевых значений показателей результативности.

После того как был проведен анализ процессов верхнего уровня экспертными методами и определен перечень процессов, нуждающихся в оптимизации, производится статистический анализ этих процессов с целью определения доминирующих факторов, влияющих на качество процессов. Под качеством процессов подразумевается степень соответствия комплексных характеристик (средних значений и рассеяний) всех показателей продукции на выходе процесса запланированным значениям.

В случае рассмотрения процесса как потока работ для анализа необходимо первоначально составить таблицу данных, в которой последо-

вательно фиксировать данные, возникающие на выходе каждого из этапов потока. Такая таблица свидетельствует о том, что каждый вектор показателей может зависеть от стоящих слева векторов факторов и показателей.

Заполнение таблицы производится априорной информацией – накопленными в автоматизированной системе управления данными. Статистическая обработка массива данных предполагает дисперсионный анализ для дискретных влияющих параметров и регрессионный анализ для непрерывных влияющих факторов. В связи с неоднородностью данных рекомендуется производить однофакторный анализ. На основании анализа однофакторных зависимостей определяются наиболее значимые показатели.

3-й этап – определение вида функции потерь качества. Цель этапа – выбор способа нормирования показателя качества и определения функции потерь, отражающей наилучшие характеристики процесса.

Целью управления качеством является достижение минимально возможного уровня потерь качества. Потери качества описываются функцией потерь, которая показывает зависимость потерь в денежном выражении при отклонении показателей качества продукции от некоторого целевого значения. Возможны три различных варианта реализации функции потерь:

- номинальное значение лучшее;
- минимальное значение лучшее;
- максимальное значение лучшее.

Номинальное значение лучшее – данная задача сводится к попаданию действительного значения показателя в поле допуска, причем желательно «совместить» математическое ожидание с центром поля допуска, а дисперсию сделать по возможности минимальной.

Для случая «номинальное значение лучшее» можно рекомендовать в качестве выходной статистики функцию потерь

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = (\mu(x_1, x_2, \dots, x_n) - M)^2 + D(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

где $\mu(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – функция зависимости среднего значения показателя качества $\bar{Y}$ от сочетания факторов; M – середина поля допуска $\bar{Y}$; D – дисперсия $\bar{Y}$.

Минимальное значение лучшее – потери будут минимальны, если математическое ожидание как можно ближе расположено к некоторой нижней границе, а дисперсия при этом будет минимальна. Функция потерь в этом случае при условии, что минимальное значение равно нулю, имеет вид

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu^2(x_1, x_2, \dots, x_n) + D(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4)$$

Максимальное значение лучшее – потери будут минимальны, если математическое ожидание как можно ближе расположено к некоторой верхней границе, а дисперсия при этом будет минимальна. Функция потерь качества в этом случае имеет вид:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n) = (\mu(x_1, x_2, \dots, x_n) - Y_{\max})^2 + D(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (5)$$

где $Y_{\max}$ – наибольшее ожидаемое значение $\bar{Y}$.

Таким образом, задача нормирования состоит в определении такого сочетания значений управляемых факторов, при котором функция потерь качества будет минимальна. При этом к рассмотрению принимаются факторы, которые были признаны на этапе статистического анализа данных влияющими и управляемыми.

4-й этап – формирование информационной модели на основе процессного подхода. Информационная модель качества строится на основании функциональной модели сети процессов организации, влияющих на качество конечной продукции. Каждый из процессов рассматривается как «черный ящик», который преобразует вход в выход. Для информационной модели в качестве входов каждого «черного ящика» служит информация о факторах, потенциально влияющих на качество продукции (характеристики используемого сырья, состояния окружающей среды, технологические показатели и пр.), в качестве выхода принимается информация по установленным показателям качества продукции.

Информационная модель строится для каждого из уровней детализации функциональной модели, выделенных специалистами. Факторы

обозначим «Число_{индекс}» (X – это факторы, измеряемые/фиксируемые на входе данного процесса, показатели качества обозначаем «Учисло_{индекс}»). При этом «число» – номер процесса в функциональной модели, «индекс» – номер фактора или номер показателя качества соответствующего процесса.

В общем случае политика и цели в области качества организации направлены с одной стороны на удовлетворение потребителя качеством продукции, с другой – на снижение издержек предприятия, связанных с выпуском бракованной продукции или неэффективной деятельностью процессов. Таким образом, на самом верхнем уровне руководства – 0-м уровне в роли показателя качества будет выступать эффективность деятельности организации, которая складывается из многих составляющих: функционирование СМК, системы управления финансами, системы управления производственными процессами, системы управления ресурсами, системы управления окружающей средой и т. д. Определение степени влияния каждой из систем на деятельность предприятия в целом осуществляется экспертными методами. Каждый процесс вносит свою долю в эффективность функционирования, соответственно эксперты оценивают степень влияния этого процесса на текущее качество продукции и потенциал его возможного улучшения.

Рассмотрим процесс построения информационной модели качества продукции в соответствии с уровнями детализации функциональной модели сети процессов СМК РУП «БМЗ».

0-й уровень

Производство металлопродукции. Информационное содержание: вектор факторов X , и вектор показателей качества Y .

1-й уровень

На качество продукции влияют процессы:

1. Ответственность руководства. Информационное содержание: вектор факторов $X1$ и вектор показателей качества $Y1$ (результативность оценивается по выполнению прогнозных показателей).

2. Менеджмент ресурсов. Информационное содержание: вектор факторов $X2$ и вектор показателей качества $Y2$ (результативность оцени-

вается по выполнению запланированных мероприятий).

3. Процессы жизненного цикла. Информационное содержание: вектор факторов $X3$ и вектор показателей качества $Y3$ (результативность оценивается по уровню бракованной продукции).

4. Измерение, анализ и улучшение. Информационное содержание: вектор факторов $X4$ и вектор показателей качества $Y4$ (оценивается количеством рекламаций и потерями от них по вине отдела технического контроля или центральной заводской лаборатории).

Для процесса 0-го уровня функцию потерь качества можно записать в виде

$$Y = F(X) = F(Y1, Y2, Y3, Y4). \quad (6)$$

Степень влияния того или иного процесса на качество продукции производится на основании анализа «Отчетов о результативности функционирования системы менеджмента качества», а также по результатам экспертной оценки специалистами РУП «БМЗ».

Начиная со второго уровня детализации, процессы нельзя рассматривать отдельно, так как многие подпроцессы связаны последовательностью исполнения, и показатели предыдущего процесса могут оказывать значительное влияние на последующий процесс, поэтому для дальнейшего корректного построения информационной модели необходимо определить и исследовать взаимосвязи.

2-й уровень

1. Ответственность руководства (рис. 1).

1.1. Маркетинг ($X1.1, Y1.1$) (результативность оценивается по росту объема продаж).

1.2. Разработка политики в области качества ($X1.2, Y1.2$) (результативность оценивается по степени пригодности «Политики в области качества»).

1.3. Планирование СМК ($X1.3, Y1.3$) (результативность оценивается по выполнению мероприятий программно-целевых приказов и целей).

1.4. Ответственность, полномочия и обмен информацией ($X1.4, Y1.4$) (результативность оценивается по выполнению мероприятий со-вещаний по качеству).

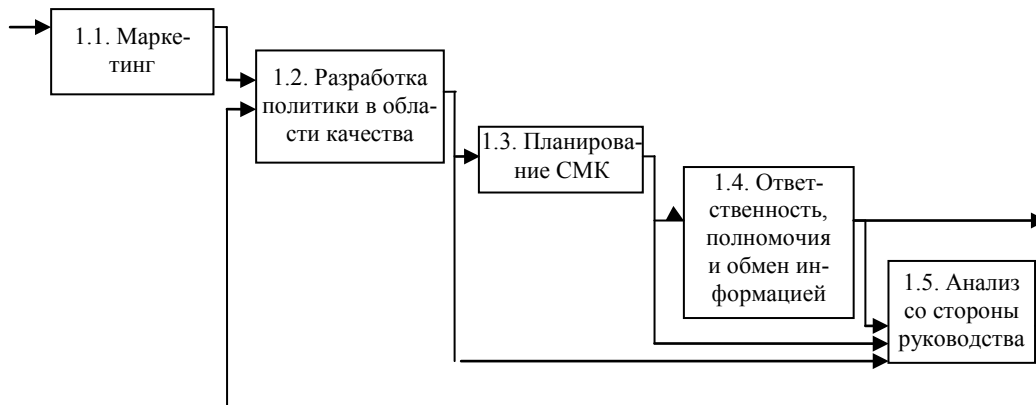


Рис. 1. Подпроцессы 2-го уровня процесса «Ответственность руководства»

1.5. Анализ со стороны руководства (X1.5, Y1.5) (результативность оценивается по выполнению корректирующих и предупреждающих действий по результатам анализа).

Необходимо отметить, что идентифицировать факторы и оценить их влияние для всех подпроцессов процесса «Ответственность руководства» затруднительно, поэтому функция потерь качества данного подпроцесса будет аналогична предыдущей и имеет вид

$$Y1 = F1(Y1.1, Y1.2, Y1.3, Y1.4, Y1.5). \quad (7)$$

Оценка весомостей каждого из влияющих показателей производится экспертными методами.

2. Менеджмент ресурсов (рис. 2).

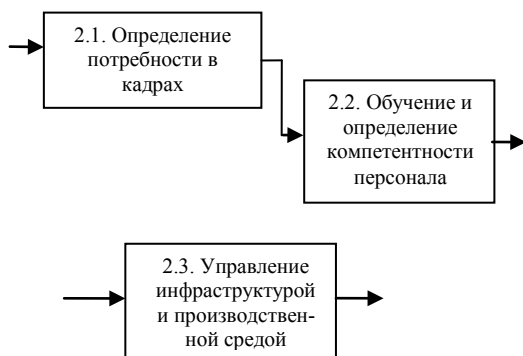


Рис. 2. Подпроцессы 2-го уровня процесса «Менеджмент ресурсов»

2.1. Определение потребности в кадрах (X2.1, Y2.1) (результативность оценивается по укомплектованности структурных подразделений персоналом согласно штатному расписанию).

2.2. Обучение и определение компетентности персонала (X2.2, Y2.2) (результативность оценивается по выполнению планов обучения и экономической эффективности обучения).

2.3. Управление инфраструктурой и производственной средой (X2.3, Y2.3) (результативность оценивается по выполнению норм простоев оборудования и графиков ремонтов, выполнению требований санитарных норм и правил).

Функция потерь качества подпроцесса «Менеджмент ресурсов» будет иметь вид

$$Y2 = F2(Y2.1, Y2.2, Y2.3). \quad (8)$$

Оценка весомостей каждого из влияющих показателей производится экспертными методами.

3. Процессы жизненного цикла (рис. 3).

3.1. Взаимодействие с потребителями (X3.1, Y3.1) (результативность оценивается по срокам проработки контрактов и формированию портфеля заказов, отсутствию замечаний от потребителей по проработке контракта).

3.2. Проектирование и разработка (X3.2, Y3.2) (результативность оценивается как соответствие выходных данных входным требованиям).

3.3. Закупки (X3.3, Y3.3) (результативность оценивается как степень удовлетворенности качеством поступивших на завод ресурсов, а также выполнения сроков поставки).

3.4. Планирование и подготовка производства (X3.4, Y3.4) (результативность оценивается как степень выполнения графика производства и поставки продукции).

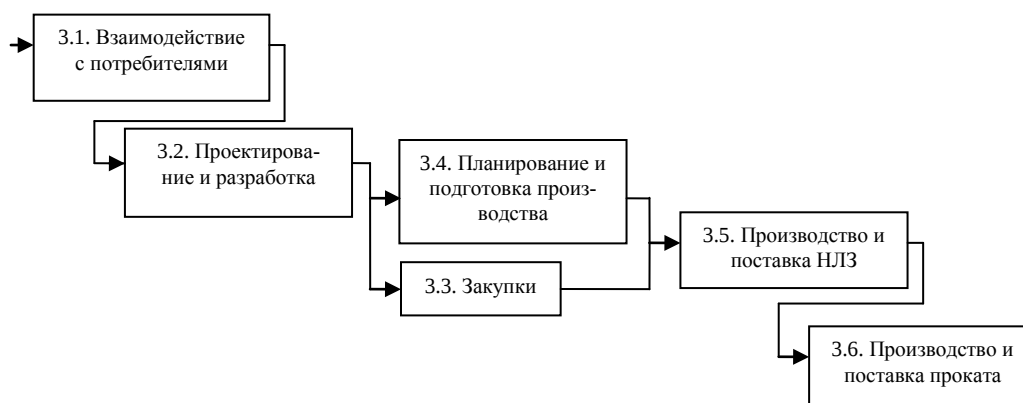


Рис. 3. Процессы 2-го уровня процесса «Процессы жизненного цикла»

3.5. Производство и поставка НЛЗ (Х3.5, У3.5) (результативность оценивается через уровень брака).

3.6. Производство и поставка проката (Х3.6, У3.6) (результативность оценивается через уровень брака).

Функция качества запишется следующим образом:

$$Y3 = F3(Y3.1, Y3.2, Y3.3, Y3.4, Y3.5, Y3.6). \quad (9)$$

Для данной функции существует необходимость выделить отдельную функцию качества, связывающую показатели У3.5, У3.6, так как это логически связанные процессы, кроме того, при работе с этими данными существует возможность провести анализ фактической информации, а не экспертных оценок.

4. Измерение, анализ и улучшение (рис. 4).

4.1. Мониторинг технологических процессов и продукции (Х4.1, У4.1) (результативность оценивается по уровню рекламаций и потерь от них по вине ОТК или ЦЗЛ).

4.2. Внутренний аудит (Х4.2, У4.2) (результативность оценивается по выполнению кор-

ректирующих и предупреждающих действий по итогам аудитов, выполнению графиков аудита).

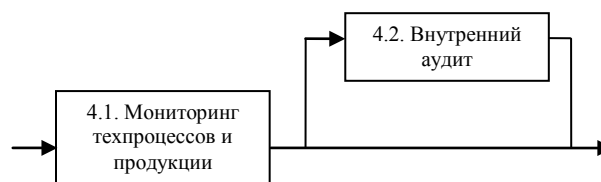


Рис. 4. Процессы 2-го уровня процесса «Измерение, анализ и улучшение»

Функция качества запишется следующим образом:

$$Y4 = F4(Y4.1, Y4.2). \quad (10)$$

В процессе исследования было установлено, что дальнейшая декомпозиция процессов, влияющих на качество, имеет смысл только для процессов 3.5. Производство и поставка НЛЗ и 3.6. Производство и поставка проката стана 850 (на примере трубной заготовки).

3-й уровень

3.5. Производство и поставка НЛЗ; 3.6.1. Производство и поставка проката стана 850 (на примере трубной заготовки) (рис. 5).

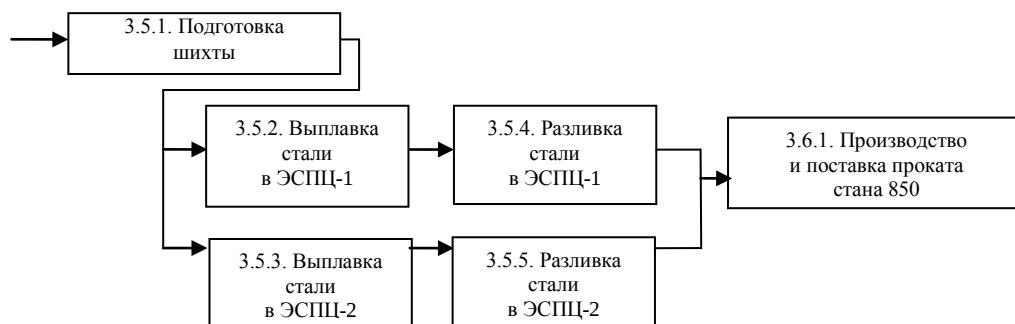


Рис. 5. Подпроцессы 3-го уровня процессов «Производство и поставка НЛЗ» и «Производство и поставка проката стана 850»

3.5.1. Подготовка шихты (ХЗ.5.1, УЗ.5.1).

3.5.2. Выплавка стали в ЭСПЦ-1 (ХЗ.5.2, УЗ.5.2).

3.5.3. Выплавка стали в ЭСПЦ-2 (ХЗ.5.3, УЗ.5.3).

3.5.4. Разливка стали в ЭСПЦ-1 (ХЗ.5.4, УЗ.5.4).

3.5.5. Разливка стали в ЭСПЦ-2 (ХЗ.5.5, УЗ.5.5).

3.6.1. Производство и поставка проката ста-на 850 (ХЗ.6.1, УЗ.6.1).

Для процесса 3.5.1. «Подготовка шихты» установлено, что наиболее значимыми факторами являются лишь показатели шихты, уже подготовленной в результате выполнения данного процесса, поэтому в расчет принимались только параметры выхода процесса.

Анализ выявленных в процессе построения функциональной модели сети процессов ведется «послойно». По мере выявления значимости процессов того или иного уровня детализации, его декомпозиция продолжается, в результате чего «порождаются» уточняющие функции по-

терь, анализ которых позволит выявить источники несоответствий и выработать эффективные корректирующие и предупреждающие действия.

ВЫВОД

В результате проделанной работы получена методика, позволяющая провести анализ существующей системы обеспечения качества производства непрерывнолитой и катанной трубной заготовки в условиях РУП «БМЗ», что позволит значительно снизить потери качества, в том числе и при освоении новой для РУП «БМЗ» продукции – непрерывнолитой трубной заготовки Ø140, 200 мм и катанной трубной заготовки Ø160 мм. Выпуск данной продукции необходим для успешного функционирования строящегося трубопрокатного комплекса РУП «БМЗ».

Поступила 6.12.2006

УДК 666.3.022.41:621.926.3/9

ОБОСНОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МНОГООПЕРАЦИОННОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ПРОХОДНОЙ МЕЛЬНИЦЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА

Докт. техн. наук, проф. ЛОЖЕЧНИКОВ Е. Б., асп. ГАВРИЛЕНЯ А. К.

Белорусский национальный технический университет

Для улучшения и придания материалам потребительских и технологических свойств широко используются операции их измельчения. Наиболее распространены способы измельчения силовым воздействием на материал, в результате которого происходят его деформация и разрушение на мелкие куски, гранулы и порошок (связносыпучая среда с размером частиц не более 1 мм) [1–3]. Разнообразие способов измельчения обусловлено различием свойств обрабатываемого материала, исходными d_n и конечными d_k размерами его частиц и другими требованиями к качеству продукции. Сложность протекающих при измельчении физико-

химических процессов предопределила использование различных подходов и моделей их теоретического исследования, обобщенные результаты которых позволяют принимать обоснованные решения при проектировании и выборе конструкции измельчающих устройств.

В результате силового взаимодействия с размольными телами и между собой частицы измельчаемого материала испытывают упругую, а затем пластическую деформацию до разрушения на более мелкие частицы. Многократность этого взаимодействия обуславливает наклеп, образование и развитие в материале частиц микро- и макродефектов, что приводит