

Неотъемлемой частью инновационного направления развития производства взрывоопасной продукции являются автоматизированные системы проектирования, моделирования и доводки технологических процессов производства [1 - 4]. Важнейшим методом определения направлений инноваций технологического процесса является метод развёртывания функций качества QFD III уровня. Существуют следующие особенности реализации этого метода в современных условиях: - используется большое количество экспертиз (привлекаются эксперты различных уровней и специализаций), что ведёт к отличиям в оценочных шкалах и результирующим оценкам; - сложность понимания и расчётов в традиционной реализации QFD; - при комплексной автоматизации технологических процессов важное значение имеет их моделирование в реальном масштабе времени [4,5]. Далее рассмотрены результаты применения метода QFD при разработке технологического процесса производства УКЗ с подробным описанием реализации QFD III уровня и использование математической модели технологического процесса. Известно, что при проведении QFD III уровня рекомендуется использовать методы PFMEA (FMEA технологического процесса) и ФСА (функциональный стоимостной анализ) для выбора оптимальной концентрации технологического процесса. Когда технологический процесс определён, разработка его параметров осуществляется с использованием Дома качества HOQ III уровня [6,7]. На фазе III QFD характеристики компонентов вместе с полученными приоритетами (рангами) занесены в колонку «что» Дома качества III уровня и, проведя анализ аналогичный проводимому при QFD I и 2 уровня и с использованием данных PFMEA (FMEA процесса), выявлены ключевые параметры технологического процесса производства УКЗ (рис. 1). Абсолютное значение приоритета характеристики Θ_j на фазе III QFD рассчитывается по формуле $\Theta_j = (P_i \cdot N_{ij})$, (1) где N_{ij} - коэффициент взаимосвязи технологического параметра j и технологической характеристики i , P_i - важность i -той технической характеристики, k - количество технических характеристик, n - количество технологических параметров. Рис. 1 - Матрица взаимосвязи потребительских требований и инженерных характеристик. Делением на общую сумму всех полученных абсолютных значений важности, определяются относительные значения важности каждого технологического параметра с присвоением ранга. В технологическом процессе изготовления УКЗ основными операциями являются: наполнение трубчатой заготовки взрывчатом веществом (ВВ); профилирование трубчатой заготовки, наполненной ВВ; обрезка концов УКЗ. Для процесса изготовления УКЗ ключевой операцией является профилирование УКЗ. Многие технологические параметры и характеристики кумулятивного заряда в процессе профилирования (создание кумулятивной выемки) измерить непосредственно затруднительно. Для их оценки часто используются методы косвенных измерений, в большинстве случаев, основанные на уравнениях баланса расхода

вещества и законе сохранения энергии при высоких скоростях и температурных режимах [4,5]. Существующие математические модели позволяют решать следующие задачи: -измерение геометрических размеров трубчатой заготовки (например, угол разворота кумулятивной канавки на выходе из профилирующих роликов прокатного стана); -измерение характеристик процесса профилирования кумулятивного заряда (2). , (2) где P_H – мощность нагрева трубчатой заготовки, ΔT – перепад температуры при создании кумулятивного потока, n – частота вращения роликов прокатного стана, p – давление кумулятивного потока, v – скорость движения газового потока в кумулятивной струе, d – диаметр трубчатой заготовки, $k_1...k_4$ – коэффициент пропорциональности. Построенные математические модели описывают физический процесс в каждом случае приближённо. Уточнение её может быть проведено по результатам экспериментов. Определение оценок параметров состояния (коэффициентов потерь, коэффициентов пропорциональности и др.) в математической модели производится через измеряемые признаки состояния (температура, давление, мощность и др.). Решение сформулированной таким образом задачи параметрической идентификации математической модели позволяет получить уточнённую математическую модель процесса прокатки при изготовлении конкретного УКЗ. Эту модель в дальнейшем можно эффективно использовать для решения практических задач. Линейные взаимосвязи между параметрами и признаками состояния представляются в виде матричного уравнения. , (3) где $\delta\Theta$ – n -мерный вектор, относительных отклонений параметров состояния (характеристики продукции), $\delta\Phi$ – k -мерный вектор относительных отклонений признаков состояния (важности требований и ожиданий потребителей), A – матрица размером $(k \times n)$ коэффициентов взаимосвязи требований и характеристик. Используя матричные преобразования, например, для математической модели операции прокатки УКЗ и распространённый метод наименьших квадратов по формуле (4) получаем не только принятые в QFD оценки приоритетов изменения технологических параметров, но и другие оценки направлений инновационного совершенствования. , (4) где P – весовая матрица погрешностей технических характеристик. В результате проведения QFD III уровня определено, что ключевыми параметрами технологического процесса являются: соответствия входных материалов (относительное значение приоритета 37,7 %), на операции прокатки УКЗ – угол разворота кумулятивной канавки (относительное значение приоритетов 9,7 %). Эти параметры в наибольшей степени влияют на достижение заданных технических характеристик и качество УКЗ. Таким образом, разработан метод развёртывания функций качества для процесса профилирования изделия с использованием математической модели. Предложенный метод идентификации позволяет обоснованно использовать матрицу взаимосвязи между характеристиками качества УКЗ и параметрами процесса профилирования и рассчитать

количественные значения этих технологических параметров.