

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПОПУТНЫХ ПРОДУКТОВ И ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВОГО АВТОКОМПОНЕНТА

В статье представлен подход к минимизации воздействия автомобильного производства на природную среду, при минимизации расхода ресурсов за счет адекватного планирования объемов порождения отходов на рабочих местах и разработки процессов их жизненного цикла на стадии подготовки производства автокомпонента. Приведен алгоритм проектирования технологии изготовления автокомпонентов с разработкой процессов порождения на рабочих местах всех видов попутных продуктов. Блоки расчетных процедур синхронизированы с этапами подготовки производства нового продукта в автомобилестроении. Разработана методика структурирования процесса, выполняется моделирование содержания внутриоперационных процессов создания товарного продукта и формирования временных цепей с последующим планированием удаления попутных продуктов, отходов и выбросов в процессах функционирования и обслуживания рабочих мест. Выполняются экономические расчеты для принятия решения инженерными службами предприятия.

**Ключевые слова:** интегрированная система управления качеством, попутные продукты, отходы, выбросы, планирование, управление отходами, проект подготовки производства.

**Введение.** Мировое сообщество все жестче ставит требования производить продукцию с минимальным расходом ресурсов и минимальным воздействием на природную среду. В России основные субъекты отрасли — компактные предприятия-поставщики автокомпонентов. В соответствии с требованиями систем экологического менеджмента [1, 2] на многих предприятиях проведение корректирующих действий ведется на основании выявленных надзорными органами фактов превышения предельно допустимых норм выбросов (рис. 1а).

Технологическая подготовка производства по российским отраслевым стандартам была ранее нацелена на обеспечение заданного качества товарных изделий. Требования к технологиям излагались в стандартизованных комплектах технологической документации.

Внедрение на предприятиях-поставщиках автокомпонентов отраслевой СМК по требованиям ISO/TS 16949 [3] вынудило инженерные службы предприятий дополнять эти комплекты документами и записями, необходимыми уже для регулирования значений ключевых показателей качества. Между

тем корпорации мирового уровня предъявляют ко всем предприятиям дополнительные, более жесткие требования [4, 5] по обеспечению выполнения экологических требований и безопасности персонала.

Потенциальные проблемы гораздо выгоднее предупреждать, чем устранять после их выявления. Это значит, что решить эту задачу следует на этапах подготовки производства. Для этого необходимо добавить в общий процесс подготовки производства процедур проектирования отходов, выбросов и загрязнений в зависимости от фактического содержания процессов создания основных товарных продуктов (рис. 1б).

Многие авторы отмечают тенденцию одновременного внедрения на производственных предприятиях одновременно двух и более систем менеджмента качества, что приводит к необходимости гармонизации требований различных стандартов [6–8]. Повышению конкурентоспособности машиностроительных предприятий способствует внедрение информационных систем планирования закупок и расхода ресурсов MRP, MRP 2 [9–12]. Эти си-

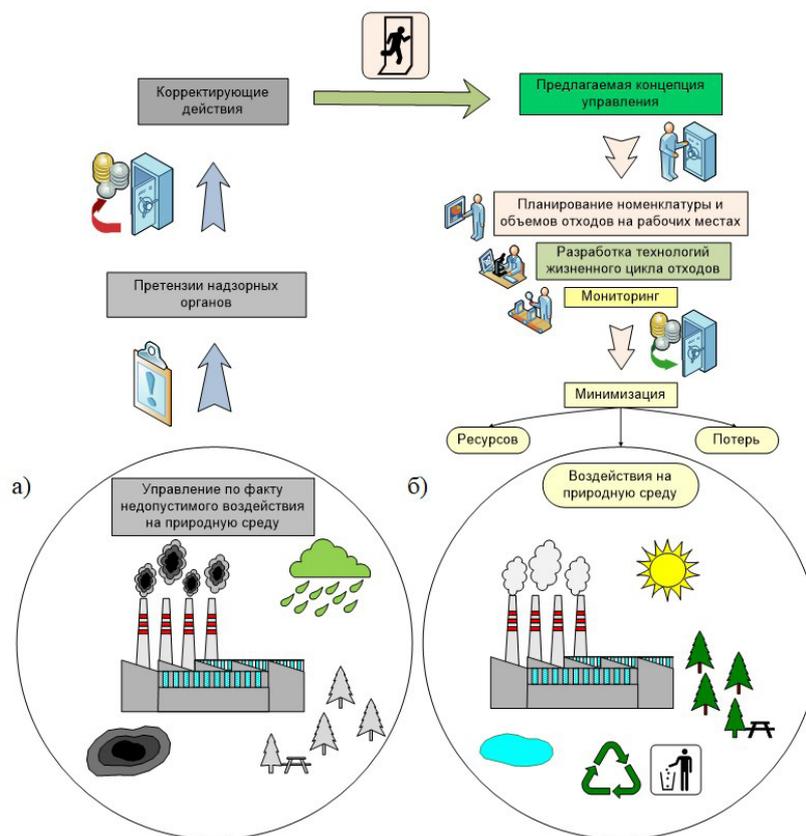


Рис. 1. Концепция предупредительного проектирования технологий жизненного цикла попутных продуктов: а) базовая схема работы предприятий по предписаниям надзорных органов; б) предлагаемая схема работы предприятий с минимизацией экологического воздействия на природную среду

Таблица 1

Карта потока технологий жизненного цикла выбросов эмульсола в виде аэрозоля

№ п/п	Операция	Тип				Ключевые характеристики отхода или продукта	Ключевые характеристики процесса
		Производство	Перемещение	Хранение	Контроль		
		◆	●	■	▲		
050	Торцевкруглошлифовальная	x				не более 5 мг/м <sup>3</sup>	
060	Вентиляционная		x				
070	Фильтровальная			x			
080	Контрольная				x		
090	Чистка	x					
100	Хранение отработанного фильтра			x			Герметичность бака хранения, t-ра 20 °C ± 5 °C
110	Транспортная		x				
120	Утилизация			x			

стемы рассматривают основные производственные процессы укрупненно, ограничиваясь показателями их длительности и ресурсами для их производства.

Тенденция к всеобщей цифровизации процессов проектирования машиностроительных изделий

отмечается в [13], примерами которой являются работы [14, 15]. В этих работах содержание процесса изготовления машиностроительной продукции рассматривается более детально — до показателей качества отдельных поверхностей изделия

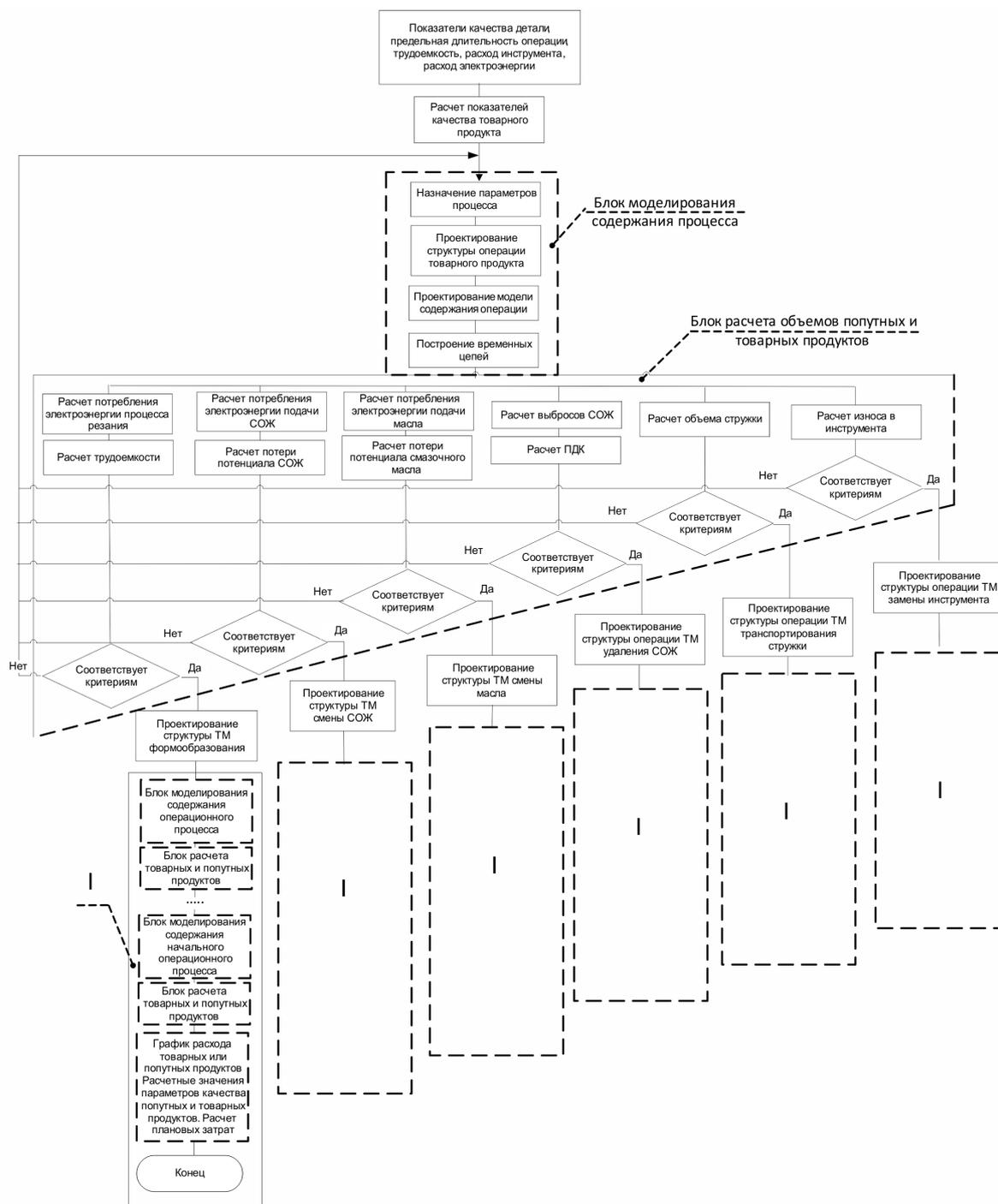


Рис. 2. Принципиальный алгоритм планирования результатов технологических процессов с учетом образования попутных отходов, выбросов и загрязнений на станочном рабочем месте (однотиповой блок расчетов для каждого вида продукта)

и параметров отдельных технологических переходов. Следует отметить, что в них не предусматривается рассмотрение экологических аспектов технологических процессов или условий работы рабочего персонала. Поэтому актуальной задачей является разработка процессного подхода, пригодного для решения как задач менеджмента качества, так и экологического менеджмента, а также менеджмента персонала.

**Теоретическая часть.** На примере торцевую шлифовальной операции обработки опорного цилиндрического элемента детали — корпуса подшипника распревала на станке модели ЗТ160 показано планирование образования двух разных типов попутных продуктов — выбросов смазочно-охлаждающей жидкости в виде аэрозоля и образо-

вания стружки. Расчеты выполнены в процессе реализации разработанного алгоритма планирования результатов технологических процессов с учетом образования попутных отходов, выбросов и загрязнений, приведенного на рис. 2.

С точки зрения обеспечения экологических требований на рабочем месте наиболее значимыми отходами шлифовальной операции являются выбросы смазочно-охлаждающей жидкости в виде аэрозоля (предельно допустимая концентрация (ПДК) не более  $5 \text{ мг/м}^3$ ), наличие чугунной пыли в воздухе (ПДК не более  $2 \text{ мг/м}^3$ ), а также шум — не более 85 дБ (табл. 1).

Технологическая структура является основой построения модели содержания, которая встраивает все внутриоперационные процессы — доставку



Рис. 3. Технологическая структура круглошлифовальной операции обработки опорных элементов корпуса подшипника распревала

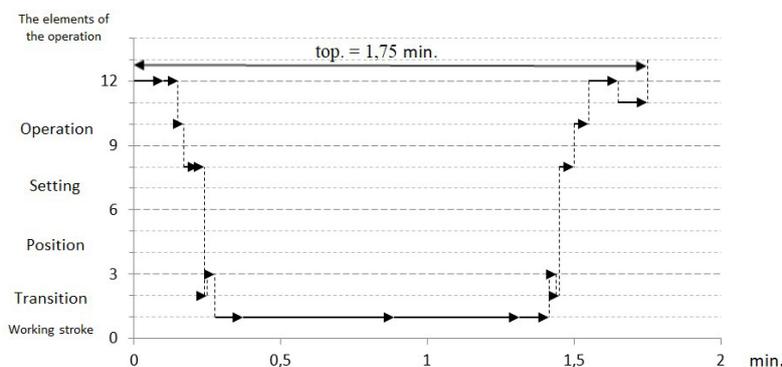


Рис. 4. Элементы круглошлифовальной операции в координате операционного времени

и установку и снятие заготовки с оправки, перемещения станочных модулей, переключения режимов и т.д. в координаты времени (рис. 3).

Операция выполняется в один установ, позицию, четыре перехода — черного и чистового врезного шлифования, доводочного шлифования и выхаживания. Каждый переход выполняется в один рабочий ход.

Основой для расчетов объемов всех попутных продуктов являются данные операционных технологических карт и временная цепь выполнения операционных процессов (рис. 4). Так, выделение СОЖ в виде аэрозоля зависит от следующих технологических параметров и условий выполнения внутри операционных процессов: технологических режимов шлифования, метода подачи СОЖ в зону резания, состояния предохранительных устройств обеспечения герметизации рабочей зоны.

Все они учитываются в процессе выполнения расчета объемов попутных продуктов. Расчетные значения образовавшегося в операции аэрозоля приведены в табл. 2.

Согласно принятым нормам, выбросы аэрозоля нормируются в зависимости от мощности двигателя главного движения за одну секунду его работы. Эта норма составляет  $0,041 \cdot 10^{-5}$  г/кВт.

Максимальная мощность электродвигателя главного движения станка ЗТ160 составляет 17 кВт. При валовых расчетах эта номинальная мощность электродвигателя используется экологами предприятия для определения максимально возможного выброса аэрозоля. Длительность выброса принимается из условия стопроцентной загрузки станка.

В действительности при шлифовании деталей автокомпонентов эти условия невыполнимы. В различных рабочих ходах процесса шлифования элементов корпуса потребление электроэнергии и их длительность различна [6], следовательно, объемы

выбросов аэрозоля в разных рабочих ходах значительно отличаются (табл. 2).

Далее, имея информацию об объеме выброса аэрозоля в операции шлифования, проверяются условия достижения предельно допустимой концентрации (ПДК) аэрозоля в  $5 \text{ мг/м}^3$ . Объем рабочей зоны станка ЗТ160 составляет около  $3 \text{ м}^3$ . В процессе выполнения операции выброс аэрозоля составляет  $0,05847 \text{ мг/м}^3$ . С учетом действительного объема рабочей зоны в  $3 \text{ м}^3$  проектная концентрация аэрозоля составит  $0,01949 \text{ мг/м}^3$ , что меньше предельно допустимой концентрации в 256 раз. Таким образом, экологические требования по расчетным значениям выбросов аэрозоля гарантированно выполняются.

Далее разрабатывается операция удаления выбросов с рабочего места. Для удаления образовавшегося аэрозоля достаточно имеющейся на рабочем месте местной вентиляционной установки производительностью  $6 \text{ м}^3$  в минуту. Затем необходимо запланировать периодичность смены быстросменных фильтров вентиляционной установки, задерживающих эмульсол в виде аэрозоля.

В процессе выполнения производственного задания за один месяц в фильтре накапливается  $0,308 \text{ г}$  эмульсола. При постоянном объеме выпуска корпусов за год фильтр задержит  $3,696 \text{ г}$  эмульсола. Фильтр задерживает не более  $100 \text{ г}$  эмульсола и других воздушных загрязнений без значительной потери производительности установки. Паспортная периодичность смены фильтра составляет один раз в год. Расчеты подтверждают эту периодичность (чаще фильтр менять нет необходимости). Поскольку обработка детали ведется с охлаждением, то чугунная пыль полностью смывается в бак и в рабочую зону станка не выделяется.

Другой попутный продукт — стружка. Это отход, не оказывающий в каких-либо концентрациях влияние на рабочий персонал круглошлифовальной

Расчетные данные выбросов аэрозоля в рабочую зону круглошлифовального станка

Составляющие технологического процесса	Длит., сек.	N гл. движ., кВт	N х.х., кВт	N сумм. гл. движ., кВт	Кол-во составл.	Выделения аэрозоля, г/м <sup>3</sup>
Расчет выбросов в производственной операции						
Рабочий ход 040.1.1.1.1	5,76	2,29	1,7	3,99	1	9,42278E-06
Рабочий ход 040.1.1.2.1	30,78	0,3	1,7	2	1	2,52396E-05
Рабочий ход 040.1.1.3.1	25,68	0,16	1,7	1,86	1	1,95836E-05
Рабочий ход 040.1.1.4.1	6	0	1,7	1,7	1	0,000004182
Переход 040.1.1.1	0,0375	----	1,7	1,7	1	2,61375E-08
Переход 040.1.1.2	---	----	----	----	1	2,52396E-05
Переход 040.1.1.3	----	----	----	----	1	1,95836E-05
Переход 040.1.1.4	0,0354	----	1,7	1,7	1	2,46738E-08
Позиция 040.1.1	1,55	---	---	---	4	5,84788E-05
Установ 040.1	1,6	---	---	---	1	5,84788E-05
Операция 040	1,75	---	---	---	1	5,84788E-05
Расчет выбросов в производственном задании						
Настр цикл 1.1.1	19,5				10	0,000584788
Налад. цикл 1.1	507				22	0,012865328
Произв. задание 1					24	0,30876787

Таблица 3

Выход значимых попутных продуктов выполнения производственного задания шлифования опорных шеек корпуса подшипника распревала

Наименование цикла	Отходы обрабатываемого материала	Группы продуктов			
		Твердые	Жидкие	Газообразные	Излучения
1. Техническое обслуживание оборудования			Отработанные: — СОЖ, 175 л — промывочные жидкости, 60 л — гидравлические жидкости, 195 л — смазочные масла, 20 л		
2. Выполнение месячного производственного задания		Загрязнения твердые 1,9 кг	Загрязнения жидкие 20 л		
3. Недельное производственное задание		Ветошь обтирочная загрязненная, 1,5 м <sup>2</sup>	Загрязнения жидкие, 30 л		
4. Выполнения операции				Аэрозоли (испарение СОЖ), 0,05847 мг	Электромагнитное излучение ----
5. Рабочий процесс	Стружка: 24,6 г 6,30 см <sup>3</sup>	Пыль абразивная ----			Теплота, электромагнитное излучение ----

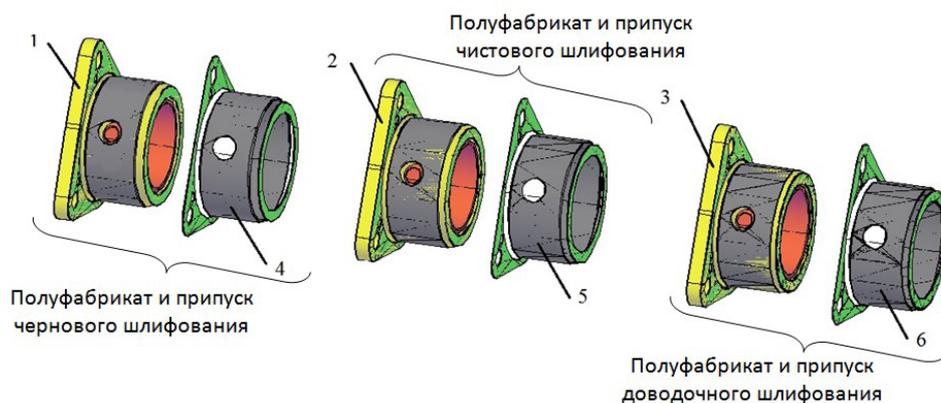


Рис. 5. 3D модели полуфабрикатов корпуса подшипника распределителя как результат выполнения шлифовальных переходов:

1 — черного; 2 — чистового; 3 — доводочного;

4, 5, 6 — номинальные припуски шлифовальных переходов — черного, чистового, доводочного

операции. В рассматриваемой операции стружка образуется мелкодисперсная, смешанная с продуктами износа шлифовального круга и смазочно-охлаждающей жидкостью. Ее отделение от продуктов износа шлифовального круга, улавливание из бака хранения СОЖ и транспортирование в специальную тару выполняется подвижным магнитным сепаратором. Для ее переработки на машиностроительных предприятиях применяются дополнительные технологические процессы — транспортирование, хранения, термической обработки, брикетирования, плавления и разливки (табл. 3). Основные операции являются источниками выбросов продуктов выгорания смазочно-охлаждающей жидкости.

Чтобы определить номинальный объем стружки, образующийся в результате шлифования, необходимо последовательно каждого рабочего хода производственной операции найти разности объемов заготовки и полуфабриката. Для геометрически простых элементов определить их величину возможно применением формул определения их объемов (рис. 4).

$$m_{\text{стружки}} = (V_{\text{заг}} - V_{\text{дет}}) \cdot \rho_{\text{материала}} \quad (1)$$

где  $V_{\text{заг}}$  — объем заготовки до обработки в рабочем ходу,  $\text{см}^3$ ;  $V_{\text{дет}}$  — объем полуфабриката после обработки в рабочем ходу,  $\text{см}^3$ ;  $\rho_{\text{материала}}$  — плотность обрабатываемого материала,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Объемы находятся в результате построения 3D моделей полуфабрикатов как результата выполнения каждого полуфабриката (рис. 5). Другой характеристикой попутного продукта является насыпной объем, который занимает стружка при хранении в таре. Он зависит от геометрической формы ее отдельных элементов и вычисляется по следующей формуле:

$$V_{\text{стружки}} = (V_{\text{заг}} - V_{\text{дет}}) \cdot K_{\text{стружки}} \quad (2)$$

где  $K_{\text{стружки}}$  — коэффициент насыпного объема стружки.

При оформлении технологами технологической документации выполнение трехмерного моделирования операционных полуфабрикатов с целью выполнения расчетов об объеме припуска и массе стружки считается излишним, поэтому все процес-

сы переработки стружки выполняются по фактическому накоплению на рабочих местах.

Поскольку шлифовальная операция является финишным процессом обработки и снимаемые припуски незначительны, то насыпной объем и масса мелкодисперсной чугушной стружки также незначительна по сравнению с черновыми операциями обработки детали. В результате выполнения месячного производственного задания образуется 130 кг стружки или  $0,0333 \text{ м}^3$  насыпного объема. Для данного вида стружки лимитирующим фактором является процесс ее коксования при длительном хранении в таре (слипания частиц стружки в виде плотного массивного комка, сопровождающегося ее окислением). Коксование приводит к ухудшению исходного состава материала, ухудшению качества отжига и брикетирования. По результатам расчета объемов образовавшейся стружки желательно, независимо от степени ее заполнения, принять еженедельный график уборки, совмещенный с уборкой стружки с других шлифовальных станков, обрабатывающих детали из чугуна.

Таким образом, расчетные объемы накопления стружки в производственных операциях позволяют своевременно спланировать дальнейшие процессы ее транспортированием и переработки, а также рассчитать объемы вторичных попутных продуктов, связанных с нагревом и брикетированием перед транспортированием на литейный участок, а также выполнить расчеты затрат на эти процессы.

Расчетный выход других попутных продуктов, отходов и выбросов рассчитан согласно алгоритму, приведен в табл. 3 и позволяет спланировать другие вспомогательные технологические процессы, связанные с хранением и переработкой отработанных смазочных материалов, промывочных жидкостей, загрязненных жидкостей, твердых бытовых отходов.

В дополнение к найденным объемам попутных продуктов рассчитывается расход инструментов, потребление электроэнергии, трудоемкость выполнения операции и необходимых процедур измерения. Выполняются расчеты затраты процесса обработки детали в каждой составляющей производственного задания.

**Результаты.** В результате применения разработанной методики проектирования операций вза-

мен реагирования на уже выявленные факты превышения нормативных показателей появляется качественно новая стратегия управления отходами: и осуществляется своевременное планирование порождения отходов на каждом рабочем месте в конкретные моменты времени. Применение разработанного алгоритма проектирования существенно повышает точность оценки объемов и сроков работ, сокращает сроки планирования корректирующих действий, создает условия для минимизации расхода ресурсов. Информация о расчетных объемах и местах возникновения выбросов значительно снижает риски нарушения законодательных требований.

Руководство предприятий получает эффективное средство предупреждения потерь, связанных с негативным воздействием на окружающую природную среду, что позволяет успешно и с высокой результативностью выполнять требования. Через углубление знаний о содержании единичной операции становится возможным реально интегрировать стандарты 16949 с экологическими стандартами серии 14000 и стандартами безопасности персонала серии 22000.

#### Библиографический список

1. Лебедева Н. А., Свежинцев С. С., Качанова О. Н. Проблемы эффективного функционирования систем экологической безопасности на промышленных предприятиях // Инженерный вестник Дона. 2020. № 8. С. 213–222.
2. Сорокин А. Е., Афонина О. А., Галкина Е. Е. [и др.]. Обоснование необходимости внедрения систем экологического менеджмента в практику работы российских авиационных предприятий // Инновации и инвестиции. 2018. № 12. С. 105–109.
3. ISO 16949:2016. Quality management systems. Particular requirements for the application of SO 9001:2015 for automotive production and relevant service part organizations Examples taken from published papers. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:ru> (дата обращения: 06.03.2022).
4. ISO 14001:2015 Systimes de management environnemental — Exigences et lignes directrices pour son utilization. URL: <https://www.iso.org/fr/standard/60857.html> (дата обращения: 06.03.2022).
5. ГОСТ Р 51814.6-2005. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов. Введ. 2005–07–01. Москва: Изд-во стандартов, 2005. 38 с.
6. Григорян Е. С., Киреева С. С. Методологические аспекты построения интегрированной системы управления качеством // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 2 (71). С. 62–66.
7. Махиянов И. М. Этапы эволюции современного менеджмента качества // Компетентность. 2020. № 6. С. 18–25.
8. Хармац И. Г., Куприков Н. М. Укрупненное планирование производства в сложном машиностроении: расширенные алгоритмы оценки потребности в мощностях // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2018. № 1. С. 210–221. DOI: 10.15593/2224-9354/2018.1.19.
9. Родионов Д. Г., Данияли С. М., Мокеева Т. В. Формирование интегрированной системы управления в контексте развития инновационного менеджмента // Вестник университета. 2020. № 5. С. 24–31. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-5-24-31.

10. Агиновский О. В., Шестаков А. Л., Голлай А. В. Современные информационные технологии и необходимость повышения качества управления организационными и корпоративными структурами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2019. Т. 19, № 3. С. 116–125. DOI: 10.14529/ctr190311.

11. Кравченко Ю. А., Курсытис И. О. Комбинированный подход к решению задачи распределения ресурсов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 7 (192). С. 111–122.

12. Сочнев А. Н. Планирование ресурсов производства на основе сетевых моделей // Управление большими системами: сб. тр. 2020. № 86. С. 116–131. DOI: 10.25728/ubs.2020.86.5.

13. Рыбаков А. В., Дубовская Н. А. Эволюция процесса проектирования в условиях информационно-технологической среды // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 6 (67). С. 34–46.

14. Акулович Л. М., Ермашкевич Д. Б. Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката // Вестник Белорусско-Российского университета. 2017. № 2 (55). С. 5–15.

15. Беляков Н. В., Махаринский Ю. Е., Попок Н. Н. Алгоритмическое обеспечение САПР технологических процессов изготовления корпусных деталей на станкостроительных предприятиях // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2011. № 2 (21). С. 19–28.

**САФАРОВА Лейля Ринатовна**, аспирант кафедры материалов, технологий и качества Набережно-челнинского института (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ), г. Набережные Челны.

AuthorID (SCOPUS): 57196279310

Адрес для переписки: leila-r.85@mail.ru

**КАСЬЯНОВ Станислав Владимирович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры материалов, технологий и качества Набережночелнинского института (филиал) КФУ, г. Набережные Челны.

SPIN-код: 8174-2600

AuthorID (РИНЦ): 538828

AuthorID (SCOPUS): 57197793774

**САФАРОВ Дамир Тамасович**, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры материалов, технологий и качества Набережночелнинского института (филиал) КФУ, г. Набережные Челны.

SPIN-код: 4346-4997

AuthorID (РИНЦ): 741369

ORCID: 0000-0002-8297-4524

AuthorID (SCOPUS): 6603409746

ResearcherID: 6834-2018

Адрес для переписки: Safarov-dt@mail.ru

#### Для цитирования

Сафарова Л. Р., Касьянов С. В., Сафаров Д. Т. Проектирование технологий жизненного цикла сопутных продуктов и отходов в процессе подготовки производства нового автокомпонента // Омский научный вестник. 2022. № 3 (183). С. 63–69. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-183-63-69.

Статья поступила в редакцию 04.04.2022 г.

© Л. Р. Сафарова, С. В. Касьянов, Д. Т. Сафаров