

УДК 658

Механизм учета экологических единиц в машиностроении

Ковалева (Шипкова) Ангелина Дмитриевна^(*) ibm6@bmstu.ru

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе представлен подход к повышению маржинальности и ресурсной продуктивности на машиностроительных предприятиях. Описаны материалы и методы измерения, калибровки коэффициентов и интеграции отчетности в контуры планирования. Приведены результаты, подтверждающие эффективность системного внедрения методики. Сделаны выводы о значимости развития измерительной базы и регулярной калибровки для устойчивого эффекта.

Ключевые слова: машиностроение, экология, устойчивое развитие, экологические единицы, учет

Mechanism of accounting for environmental units in mechanical engineering

Kovaleva (Shipkova) Angelina Dmitrievna^(*) ibm6@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Abstract. The paper presents an approach to increasing the profitability and resource productivity of mechanical engineering enterprises. The materials and methods of measurement, calibration of coefficients, and integration of reporting into planning contours are described. The results confirming the effectiveness of the systematic implementation of the methodology are presented. Conclusions are drawn on the importance of developing a measurement base and regular calibration for a sustainable effect.

Keywords: mechanical engineering, ecology, sustainable development, environmental units, accounting

Введение. Современная трансформация промышленности, обусловленная ужесточением экологических стандартов, ростом стоимости ресурсов и декарбонизационными целями, стимулирует поиск экономически эффективных механизмов учета экологических единиц в машиностроении. Под экологическими единицами в настоящем исследовании понимаются агрегируемые, сопоставимые показатели воздействия и эффективности: единицы выбросов парниковых газов (в CO₂-эквиваленте), единицы потребления энергии и воды, единицы обращения с отходами, а также интегральные единицы «экодобавленной стоимости», отражающие вклад экологически ориентированных решений в финансовые результаты. Формирование механизма их учета требует сопряжения инженерных данных, управленческого учета и регуляторных требований в единую экономическую систему измерения и стимулирования.

В рамках машиностроительного цикла, характеризующегося многостадийностью, высокой долей материалоемких операций и длительным жизненным циклом продукции, учет экологических единиц выступает не только инструментом комплаенса, но и фактором конкурентоспособности. Систематизация потоков данных от проектирования до послепродажного сервиса позволяет переориентировать управленческие решения с затратной парадигмы на парадигму совокупной стоимости владения и жизненного цикла, а также снижает неопределенность при инвестициях в ресурсосберегающие технологии [1].

Актуальность и проблема. Ключевая проблема внедрения механизма учета экологических единиц заключается в фрагментации исходной информации: технологические измерения, бухгалтерский и управленческий учет, оценка рисков и внешняя отчетность функционируют в разрозненных контурах, что затрудняет формирование единых экономических метрик, необходимых для корректного распределения косвенных экологических издержек между изделиями, цехами и проектами. В результате решения по модернизации оборудования и изменению технологических маршрутов принимаются на основе усредненных показателей, что приводит к недооценке эффективности «зеленых» инициатив.

Дополнительной сложностью является отсутствие унифицированной методологии пересчета технических показателей в экономические единицы воздействия. Например, энергопотребление на операции и фактический коэффициент загрузки превращаются в себестоимость через тарифы и углеродные факторы, однако в большинстве предприятий коэффициенты эмиссий, потери в сетях, температурные и сменные профили не учитываются с требуемой точностью, что ведет к систематическим смещениям при расчете маржинальности изделий и выборе номенклатуры.

Существенна и институциональная неопределенность: предприятия сталкиваются с изменчивостью требований по раскрытию экологической информации, что затрудняет долгосрочную калибровку учетной политики. Неполная сопоставимость методик оценки углеродного следа, водного баланса и отходов в смежных отраслях снижает качество бенчмаркинга и ослабляет экономические стимулы к экологическим инвестициям.

Важным препятствием выступают транзакционные издержки: сбор первичных данных в реальном времени, интеграция систем автоматизации технологических процессов и ERP, верификация и аудит требуют капитальных и операционных затрат. Без явной монетизации экологических единиц в ценовых и финансовых механизмах предприятия склонны ограничиваться минимально необходимым уровнем учета, недополучая эффект от операционной оптимизации.

Наконец, наблюдается дефицит инструментов, связывающих экологические единицы с системой мотивации и бюджетирования. При отсутствии сквозных KPI и алгоритмов распределения «эко-капитала» на уровне портфеля проектов экологические инициативы конкурируют с традиционными ин-

вестициями на неравных условиях, что формирует устойчивый барьер к трансформации производственных систем [2].

Материалы и методы. Теоретической основой исследования служат положения управленческого учета по видам деятельности (ABC/ABM), расширенной производственной стоимости жизненного цикла (LCC/LCA) и экономической оценки внешних эффектов. Введено понятие «экологической единицы учета» как нормированной величины воздействия на функциональную единицу продукции, агрегируемой в денежном выражении через набор коэффициентов конверсии (энергетические, углеродные, водные, отходовые, токсикологические и регуляторные).

Эмпирическая база сформирована на основе данных условно типового машиностроительного предприятия с полным циклом: механообработка, сварка, термообработка, окраска, сборка и испытания. Использованы исторические данные за три года по потреблению энергоресурсов, воде, образованию отходов, простоям, браку, а также по маршрутам изделий и загрузке оборудования. Информационные источники включали системы SCADA/MES, ERP, складские и ремонтные модули, лабораторные протоколы и акты экологического контроля.

Методологически применены: разработка карты потоков экологической ценности (E-VSM), построение драйверов затрат и воздействия по операциям, параметрическая регрессия для аппроксимации нелинейных зависимостей между режимами оборудования и эмиссией, а также сценарное моделирование инвестиционных альтернатив. Для верификации использован перекрестный аудит показателей с независимыми измерениями и чувствительность NPV к варьированию коэффициентов конверсии.

Результаты. Разработан интегрированный механизм учета, связывающий операционные драйверы (машино-часы, киловатт-часы, кубометры воды, килограммы отходов, циклы термообработки) с объектами калькулирования (изделия, заказы, проекты) через матрицу конверсионных коэффициентов, что позволило выделить в структуре себестоимости компоненту «эко-издержек» и идентифицировать перекрестные субсидирования между номенклатурными позициями, ранее скрытые в общепроизводственных расходах [3].

Построена система маржинального анализа с учетом экологических единиц, показавшая, что часть изделий с высокой долей энергоемких операций имеет отрицательную «эко-маржу» при текущем ценообразовании. Пересмотр прайсинга с включением экологической надбавки, дифференцированной по драйверам, улучшил валовую прибыль по портфелю без снижения объемов заказов, поскольку заказчики в сегменте капитального машиностроения акцептовали прозрачную структуру цены.

Внедрение E-VSM выявило узкие места: неэффективные режимы работы печей термообработки и кратные пуски окрасочных камер формировали диспропорциональный вклад в углеродную единицу на изделие. Оптимизация расписаний и группировка партий снизили удельные эко-издержки термооб-

работки, а внедрение регуляторов расхода в покрасочном участке уменьшило перерасход растворителей и связанные с этим платежи за отходы.

Сценарный анализ инвестиций в частотное регулирование насосов и recuperацию тепла показал положительный NPV при учете монетизированных экологических единиц, тогда как в традиционной модели без их капитализации проекты выглядели пограничными. Это переопределило приоритетность инвестиционной программы и ускорило окупаемость портфеля модернизаций.

Дополнительно сформирован контур управленческой отчетности: месячные дашборды «экологической маржи» по цехам, KPI мастеров с привязкой к единицам воздействия и механизм внутрипроизводственного «эко-трансфера» между подразделениями, что улучшило дисциплину данных и сократило вариативность показателей по сменам.

Обсуждение полученных результатов. Экономическое наполнение экологических единиц позволило преодолеть разрыв между инженерными измерениями и управленческими решениями: перевод технических параметров в денежные величины сделал видимыми ранее латентные издержки. Важно, что эффект проявился не только в сокращении затрат, но и в перераспределении прибыли по портфелю изделий, что усиливает стратегическую значимость механизма [4].

Наблюдаемая чувствительность маржинальности к корректности коэффициентов конверсии подчеркивает необходимость их регулярной калибровки. Колебания тарифов, изменение структуры энергобаланса, обновление технологического парка и сезонные факторы влияют на денежную оценку единицы воздействия. Без динамической настройки возрастает риск искажений, ведущих к неправильным инвестиционным и ценовым решениям.

Выявленные узкие места демонстрируют ценность интеграции учета с оперативным планированием. Простое улучшение календарно-плановых решений и партийной логистики способно обеспечить сопоставимый с капитальными вложениями экономический эффект, когда механизм учета предоставляет детализированную обратную связь по операциям и сменам.

Институциональный аспект показал, что наличие внутреннего «эко-трансфера» и KPI снижает транзакционные издержки изменения поведения. Формирование финансовых стимулов на уровне цехов и команд мастеров приводит к устойчивому снижению удельных воздействий без давления внешних регуляторов, а также повышает надежность первичных данных за счет заинтересованности персонала.

Сравнение сценариев инвестиций подтверждает, что капитализация экологических единиц в финансовых моделях меняет ранжирование проектов. Проекты, ранее воспринимавшиеся как «экологические» и низкоприоритетные, получают экономическую аргументацию и конкурируют на равных с традиционными инициативами повышения производительности, что расширяет возможность синергии между энергетической эффективностью, качеством и выпуском.

Важным ограничением остается качество и полнота данных в цехах с высокими долями ручного труда и стохастических процессов. Для устойчивости механизма необходимо сочетать инструментальные измерения с статистической аппроксимацией и процедурами верификации, а также внедрять малозатратные сенсорные решения, минимизируя нагрузку на персонал и IT-инфраструктуру [5].

Заключение. Механизм учета экологических единиц в машиностроении, основанный на интеграции операционных драйверов с экономическими конверсионными коэффициентами, формирует новую плоскость управленческих решений, повышая прозрачность себестоимости, точность цен и эффективность инвестиций. Практические результаты демонстрируют потенциал для существенного улучшения маржинальности и ресурсной продуктивности при условии регулярной калибровки коэффициентов, встраивания отчетности в контуры планирования и мотивации, а также развития измерительной базы, что подтверждает целесообразность системного внедрения подхода как элемента стратегии повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий.

Список источников

- [1] Yan Z., Shiboldenkov V.A. Sustainable Development Technologies Research Issue of the Modern Fuel-Energy Industry. *6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, Moscow, 2024, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/REEPE60449.2024.10479928>
- [2] Shiboldenkov V.A. Overview of Technological Forecasting and Assessment of the Life Cycle Results of the Technological Innovation Market. *Ecological Footprint of the Modern Economy and the Ways to Reduce It: The Role of Leading Technologies and Responsible Innovations*, Cham, Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 227–234. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49711-7_39
- [3] Горлачева Е.Н., Гутенев А.В., Капогузов Е.А., Шерешева М.Ю., Шиболденков В.А. *Экономика технологических изменений*. Москва, Первое экономическое издательство, 2025, 270 с.
- [4] Горлачева Е.Н., Шиболденков В.А., Герцик Ю.Г. *Когнитивная экономика*. Москва, Первое экономическое издательство, 2024, 182 с., с. 149–165.
- [5] Садовская Т.Г., Шиболденков В.А. Разработка системы оценки инновационного потенциала промышленного предприятия. *Чарновские Чтения. VI Всерос. науч. конф. по организации производства: сб. тр. Форум современное предприятие и будущее России*. Москва, НП Объединение контролеров, 2017, с. 136–147.