

## ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКО-ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПАРКОВ

Иванова К. А., студент,

Монтик О. Н., канд. экон. наук, доцент

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Из-за исчерпания линейной экономики и роста стоимости ресурсов ключевой практикой циркулярной экономики становятся эко-индустриальные парки (ЭИП). Для оценки их эффективности разработана экономико-математическая модель. В качестве примера рассмотрен гипотетический ЭИП: ТЭЦ, цементный завод и тепличный комплекс.

В условиях исчерпания модели линейной экономики, роста стоимости первичных ресурсов и ужесточения экологического регулирования переход к циркулярной экономике становится наиболее важным аспектом экономического развития. Эффективнейшей практической реализацией этой парадигмы является создание эко-индустриальных парков (ЭИП), в которых промышленный симбиоз стал ключевым принципом организации. Он представляет собой кооперацию предприятий, при которой отходы или побочные продукты одного производства становятся сырьем в другом производстве. И вопреки очевидным экологическим преимуществам, решение о создании ЭИП требует комплексной экономической оценки. Поэтому здесь приобретают высокую научную и практическую значимость разработка адекватных экономико-математических моделей, которые позволяют предприятию количественно оценить финансовую целесообразность и эффективность проекта [1]. В данной работе разработана комплексная экономико-математическая модель для оценки эффективности создания и функционирования эко-индустриального парка. Эко-индустриальный парк является целенаправленно спланированным сообществом производственных и сервисных компаний, расположенных на одной территории и взаимодействующих для повышения социальной, экономической, экологической эффективности. Ключевым экономическим механизмом ЭИП является промышленный симбиоз, генерирующий несколько типов эффектов:

– прямые экономические эффекты (снижение затрат на сырье, издержек на утилизацию, дополнительные доходы такие, как продажа побочных продуктов вместо оплаты их утилизации);

– косвенные экономические эффекты (снижение экологических платежей и штрафов, синергетический эффект, включая транзакционные издержек за счет близости партнеров, совместное использование инфраструктуры, повышение инвестиционной привлекательности и деловой репутации, создание новых рынков для продукции рециклинга) [2]. При создании ЭИП структура издержек будет включать капитальные затраты (*capex*) – инвестиции в специализированное оборудование для переработки отходов, модернизацию технологических линий, строительство инфраструктурных объектов, и операционные затраты (*opex*), включающие затраты на транспортировку вторичных ресурсов, энергопотребление перерабатывающих мощностей, техобслуживание и оплату труда. Построим математическую модель, интегрирующую материальные и финансовые потоки между предприятиями-участниками ЭИП. Она будет состоять из нескольких взаимосвязанных модулей:

1. Модуль оптимизации материальных потоков, где главная задача – определить наиболее экономически эффективную конфигурацию обмена побочными продуктами между предприятиями-участниками. Формально, модель представляет собой задачу

оптимизации и ставит цель минимизировать совокупные издержки всех участников системы на сырье, энергию и утилизацию за счет нахождения оптимальных потоков  $X(i \rightarrow k)$  (объем передачи отхода/продукта типа  $j$  от предприятия  $i$  к предприятию  $k$ ). Решение такой задачи ответит на вопросы: «Кому что продавать?» и «В каких объемах?». Это формирует технико-экономическое обоснование для последующих финансовых расчетов.

2. Инвестиционный модуль, который агрегирует все капиталовложения, необходимые для запуска ЭИП. Они делятся на две группы: затраты предприятия на модернизацию, инфраструктурные затраты.

3. Операционный модуль, в котором на основе результатов модуля оптимизации рассчитываются ежегодные денежные потоки ( $CF$ ) от операционной деятельности. Денежный поток будет получен суммой притоков и оттоков, а чистый операционный денежный поток за год  $t$  – разница между притоками и оттоками.

4. Оценочный модуль сводит вместе данные об инвестициях и операционных потоках для расчета классических показателей инвестиционной привлекательности.

Рассмотрим гипотетический пример ЭИП, состоящий из ТЭЦ (производитель золы и тепловой энергии), цементный завод (потребитель золы) и тепличный комплекс (потребитель углекислого газа и тепла). Базовый сценарий будет следующим:

Цементный завод инвестирует в оборудование для приема и смешивания золы, строится трубопровод для подачи  $CO_2$  и тепла в теплицы. ТЭЦ получает отходы от продажи золы и  $CO_2$ , экономя на их утилизации. Цементный завод экономит на покупке дорогостоящих добавок. Тепличный комплекс экономит на отоплении и удобрениях, так как  $CO_2$  ускоряет рост растений. При совокупных инвестициях в 15 млн руб. и ежегодном чистом денежном потоке в 3 млн руб. (после вычета операционных расходов), чистая приведенная стоимость (ЧПС) проекта составляет примерно +4,015 млн руб., внутренняя норма доходности 14,5 %, дисконтированный срок окупаемости 7 лет (при ставке дисконтирования 10 % – проект экономически целесообразен, но также нужно учесть и риски [3]. Если увеличится капиталовложение на 20 %, то ЧПС снизится до +1,015 млн руб., что значительно ближе к нулевой отметке. При сценарии государственной поддержки 20 % произойдет снижение инвестиционной нагрузки и увеличение ЧПС до +5,815 млн руб. и сокращение срока окупаемости, что подчеркивает критическую роль государственных стимулов. А если произойдет ужесточение экологического регулирования (рост платы за выбросы  $CO_2$  на 50 %), увеличится альтернативная стоимость выбросов для ТЭЦ, делая их утилизацию еще более выгодной. Денежный поток и ЧПС проекта растут. Проведенный анализ показывает, что экономика ЭИП сильно зависит от внешних условий и точности управления затратами. Можно сделать вывод о том, что ЭИП создают экономическую ценность через синергию, снижая издержки и генерируя доходы. Основные барьеры – высокие инвестиции, долгая окупаемость и риски координации, а эффективность ЭИП зависит от господдержки. Ужесточение экологического законодательства стимулирует развитие симбиоза. Перспективы дальнейших исследований в учете неопределенности в модели и оценке социально-макроэкономических эффектов циркулярной экономики.

#### Список использованных источников

1. Чернова, О. А. Управление эко-индустриальными парками в системе устойчивого развития региона / О. А. Чернова, В. И. Петров // Экономика и управление народным хозяйством. – 2021. – № 5. – С. 34–42.

2. Сакович, В. В. Математическое моделирование экономических процессов: учебное пособие / В. В. Сакович. – Мн.: БГУ, 2019. – 203 с.