

УДК 539.374

Модель динамики развития предприятия, учитывающая переработку его производственных отходов

К. А. Родионова, Л. А. Сараев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С. П. Королева, Россия, 443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Аннотация

В публикуемой статье предложена математическая модель динамики развития многофакторного предприятия, учитывающая переработку его производственных отходов в полезную продукцию. Производственная деятельность такого предприятия описывается двумя производственными функциями, одна из которых преобразует ресурсы в продукцию предприятия, а другая превращает ресурсы в отходы. Процесс перехода на некотором временном интервале предприятия к безотходной циркулярной экономике описывается с помощью специальной безразмерной логистической функцией. Построена система дифференциальных уравнений, описывающая процесс преобразования части отходов предприятия в полезную продукцию. Подробно исследован вариант однофакторной модели предприятия, перерабатывающего отходы производственной деятельности. Рассмотрены особенности изменений экономических показателей предприятия, сопровождающие его обычного производства в безотходное производство.

Ключевые слова: предприятие; ресурсы; факторы производства; производственная функция; выпуск; отходы; прибыль; издержки.

Получение: 3 октября 2024 г. / Исправление: 2 ноября 2024 г. /

Принятие: 2 декабря 2024 г. / Публикация онлайн: 28 января 2025 г.

Математические статистические и инструментальные методы экономики (научная статья)

© Коллектив авторов, 2024

© Самарский университет, 2024 (составление, дизайн, макет)

Ⓙ © ⓘ Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

Образец для цитирования:

Родионова К. А., Сараев Л. А. Модель динамики развития предприятия, учитывающая переработку его производственных отходов // *Вестник Самарского университета. Экономика и управление*, 2024. Т. 15, № 4. С. 76–88. doi: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2024-15-4-76-88>.

Сведения об авторах:

Ксения Алексеевна Родионова  <http://orcid.org/0000-0001-6959-8053>

аспирант кафедры математики и бизнес-информатики; e-mail: ksurora@gmail.com

Леонид Александрович Сараев  <http://orcid.org/0000-0003-3625-5921>

доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры математики и бизнес-информатики; e-mail: saraev_leo@mail.ru

Введение

Трансформация современных производственных предприятий в экологически устойчивые системы обусловлена рядом ключевых вызовов современности, к которым можно отнести экономическую нестабильность, глобальный рост населения, ограниченность ресурсов, экологические проблемы и социальные трудности т.д..

Системные исследования экономических показателей зарубежных и отечественных предприятий за несколько последних десятилетий выявили неуклонное расширение круга проблем, связанных с необходимостью утилизации отходов, вторичной переработки продукции, использованием экологических материалов и т.д.

Эти исследования показывают ограниченность линейной экономической модели, для которой характерно одностороннее потребление ресурсов и неспособность удовлетворить растущий спрос на производственные товары [1–4].

Для производственных предприятий оптимизация управления отходами становится актуальной задачей в условиях усиления экологических требований и необходимости снижения издержек. Современные исследования фокусируются на разработке экономико-математических моделей, позволяющих прогнозировать и повышать эффективность переработки отходов, включая их вовлечение в производственные процессы.

Такие модели учитывают влияние экологических, технических и экономических факторов, что позволяет минимизировать объемы захоронения отходов, сократить использование первичных ресурсов и повысить экологическую устойчивость предприятий [5–8].

Экономика замкнутого цикла или циркулярная экономика (Circular Economy, далее *CE*) представляет собой альтернативный подход к традиционной модели экономического развития и предлагает концептуально новый формат производственной и хозяйственной деятельности, основанный на возобновляемых решениях и инновационных бизнес-моделях.

В мировом поле лидирующими странами по внедрению принципов *CE* выступают члены Европейского Союза. Европейская комиссия около десяти лет назад впервые представила комплексный план перехода к экономике замкнутого цикла, именно по этой причине крайне важно учитывать зарубежный опыт перехода предприятий к моделям *CE*.

Кроме того, инициативы по продвижению *CE* также реализуются на федеральном уровне в Китае, в Южной Корее через «Стратегию зелёного развития», и в Японии в рамках концепции «Общество правильного материального цикла» [9–11].

Принципы внедрения *CE* в производство предприятий России, учитывают, проецируют и адаптируют зарубежные сценарии моделей *CE*. Они ориентированы на трансформацию производственных процессов с акцентом на экологическое и экономичное использование ресурсов.

Одним из основополагающих принципов становится формирование замкнутых производственных циклов, в рамках которых сырьё и ресурсы остаются в обращении: по завершении одного цикла они трансформируются в материалы или компоненты для новых товаров и услуг, исключая образование отходов.

Особую роль играет межотраслевое взаимодействие, направленное на переработку и использование производственных отходов в качестве полезной продукции. Так, материалы, которые не могут быть повторно использованы в рамках одного предприятия, передаются другим промышленным объектам для включения в их производственные процессы [12–15].

Обзор современных работ в области изучения особенностей экономики замкнутого цикла показывает растущий интерес исследователей и специалистов в области производ-

ства. Однако эти исследования в основном носят методологический характер или описывают конкретные технологические решения.

Развитие экономико-математических методов и построение с их помощью моделей, описывающие деятельность предприятий в условиях перехода к экономике замкнутого цикла, представлены пока недостаточно широко. Результаты такого моделирования могут позволить анализировать деятельность предприятия и прогнозировать количественные оценки его экономических показателей.

Целью данной работы является разработка новой экономико-математической модели перехода производственного предприятия к экономике замкнутого цикла.

Научная новизна и особенность этой модели состоит в том, что в ней учтены особенности изменений экономических показателей предприятия, сопровождающие его обычного производства в безотходное производство.

1. Постановка задачи

Пусть динамика выпуска продукции предприятия обеспечивается произвольным числом производственных факторов (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) , представляющие собой финансовые объемы основного капитала, оборотного капитала, объемы трудовых ресурсов, материалы, технологии и т.д.

Переменные величины этих объемов $Q_i = Q_i(t)$, предполагаются непрерывными, непрерывно-дифференцируемыми и ограниченными на интервале $(0 \leq t < \infty)$ функциями времени t

$$Q_i^0 \leq Q(t) < Q_i^\infty, (i = 1, 2, \dots, n).$$

Здесь Q_i^0 – заданные начальные значения ресурсов $Q_i = Q_i(t)$, $Q_i^\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} Q_i(t)$ – его предельные значения, которые подлежат вычислению.

Поскольку любое производственное предприятие помимо выпуска полезной продукции производит отходы производства, его деятельность целесообразно описывать двумя производственными функциями.

Первая производственная функция, выражающая объем выпускаемой продукции предприятия, задается мультипликативной производственной функцией Кобба–Дугласа

$$V = P \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{p_s}, \quad (1)$$

а вторая производственная функция, выражающая объем отходов предприятия задается производственной функцией

$$W = R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{r_s}. \quad (2)$$

Здесь степенные показатели p_s и r_s производственных функций (1) и (2) представляют собой эластичности выпуска продукции и отходов по соответствующим ресурсам Q_s , P – стоимость продукции произведенной на единичные объемы ресурсов, R – стоимость произведенных отходов на единичные объемы ресурсов.

Если предприятие в результате принятия дополнительных мер при помощи специальных инновационных технологий преобразует часть отходов производства в выпуск допол-

нительной продукции, то его производственная функция принимает вид

$$U = V + S \cdot W = P \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{p_s} + S \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{r_s}. \quad (3)$$

Здесь S – безразмерный коэффициент (доля переработанных отходов в выпуск дополнительной продукции). В общем случае этот коэффициент удовлетворяет неравенству $0 \leq S \leq SM$, где SM – максимальная доля перерабатываемой продукции. При $SM = 1$ предприятие полностью перерабатывает свои отходы в полезную продукцию.

Следует отметить, что безразмерный коэффициент S в общем случае зависит от времени, задается руководством предприятия и является управляющим элементом.

Оставшаяся часть непереработанных отходов $(1 - S) \cdot W$ включается в издержки предприятия, которые вместе с пропорциональными и постоянными издержками принимают вид

$$TC = \sum_{s=1}^n H_s \cdot Q_s + TFC + (1 - S) \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{r_s}. \quad (4)$$

Здесь H_s – стоимости затрат на единичные объемы ресурсов, соответственно, TFC – постоянные затраты предприятия.

Прибыль рассматриваемого предприятия, представляющая разность между выпуском продукции и издержками задается формулой

$$PR = U - TC = P \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{p_s} + S \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{r_s} - \sum_{s=1}^n H_s \cdot Q_s - (1 - S) \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s^{r_s} - TFC. \quad (5)$$

В качестве безразмерного показателя трансформации предприятия S ограничимся логистической функцией

$$S(t) = SM \cdot \frac{\exp\left(2 \cdot \frac{t - t_S}{\sigma_S}\right)}{\exp\left(2 \cdot \frac{t - t_S}{\sigma_S}\right) + 1}. \quad (6)$$

Здесь t_S и σ_S – центр и радиус временного интервала $(t_S - \sigma_S, t_S + \sigma_S)$, на котором происходит процесс переработки отходов в полезную продукцию.

На рис. 1 показаны варианты кривых логистической функции (6) для различных уровней максимальной доли перерабатываемой продукции SM .

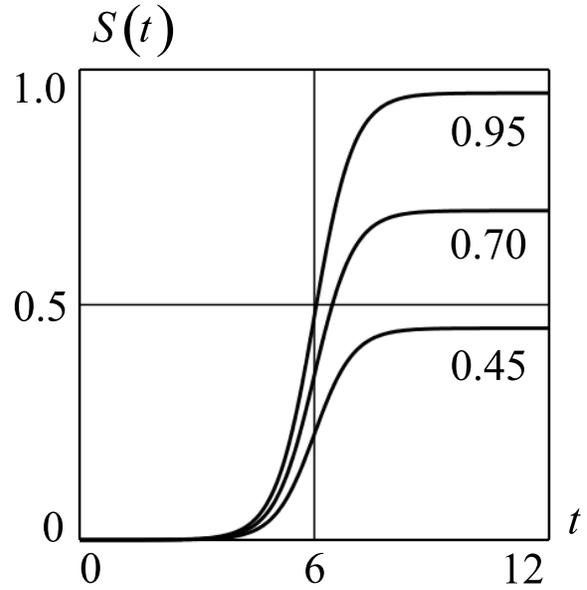
2. Уравнения динамики выпуска продукции и переработки отходов для многофакторного предприятия

Приращения объемов ресурсов $Q_i(t)$ на некотором малом отрезке времени $[t, t + \Delta t]$ имеет вид

$$\Delta Q_i = Q_i(t + \Delta t) - Q_i(t), (i = 1, 2, \dots, n).$$

Рис. 1: Варианты кривых логистической функции (6) для различных уровней максимальных долей перерабатываемой продукции SM . Цифры у кривых – значения параметра SM .

Fig. 1: Variants of the logistic function curves (6) for different levels of maximum shares of processed products SM . The numbers near the curves are the values of the SM parameter.



Каждое такое приращение может быть представлено в виде двух слагаемых

$$\Delta Q_i = \Delta Q_i^A + \Delta Q_i^I. \quad (7)$$

Здесь ΔQ_i^A – частичные амортизации объемов факторов производства $Q_i(t)$ за время Δt ; ΔQ_i^I – частичные восстановления объемов факторов производства $Q_i(t)$ счет внутренних инвестиций за время Δt .

Приращения частичных амортизаций объемов ΔQ_i^A за время Δt имеют вид

$$\Delta Q_i^A(t) = -A_i \cdot Q_i(t) \cdot \Delta t, \quad (8)$$

Приращения частичных восстановлений объемов ΔQ_i^I за время Δt можно записать в виде

$$\Delta Q_i^I(t) = I_i(t) \cdot \Delta t, \quad (9)$$

Здесь A_i – коэффициенты амортизации (доли выбывших за единицу времени объемов факторов производства $Q_i(t)$); $I_i(t)$ – инвестиции, восстанавливающие объемы ресурсов $Q_i(t)$

$$I_i(t) = B_i \cdot V(t),$$

или, с учетом формулы (3) для производственной функции

$$I_i(t) = B_i \cdot \left(P \cdot \prod_{s=1}^n Q_s(t)^{p_s} + S(t) \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s(t)^{r_s} \right), \quad (10)$$

Здесь B_i – нормы накопления внутренних инвестиций для факторов производства $Q_i(t)$.

Подстановка формул (8)–(10) в уравнения (7) дает

$$\Delta Q_i(t) = \left(-A_i \cdot Q_i(t) + B_i \cdot \left(P \cdot \prod_{s=1}^n Q_s(t)^{p_s} + S(t) \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s(t)^{r_s} \right) \right) \cdot \Delta t. \quad (11)$$

Предельный переход в соотношениях (11) при условии $\Delta t \rightarrow 0$, приводит к системе дифференциальных уравнений

$$\frac{dQ_i(t)}{dt} = -A_i \cdot Q_i(t) + B_i \cdot \left(P \cdot \prod_{s=1}^n Q_s(t)^{p_s} + S(t) \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n Q_s(t)^{r_s} \right). \quad (12)$$

Начальные условия для системы уравнений (12) имеют вид

$$Q_i \Big|_{t=0} = Q_i(0) = Q_i^0. \quad (13)$$

Система дифференциальных уравнений (12) показывает, что рассматриваемое производственное предприятие будет иметь поступательное развитие, до тех пор пока объемы внутренних инвестиций в бизнес-процессы будет численно превосходить объемы амортизационных отчислений. Очевидно, что при этом производные функций этих объемов будут принимать положительные значения. Если численные значения объемов внутренних инвестиций и объемов амортизационных отчислений сравняются, то производные функций этих объемов будут обращаться в нуль, и процесс развития предприятия выйдет на свою предельную мощность. Предельные значения факторов производства Q_i^∞ удовлетворяют системе уравнений

$$A_i \cdot Q_i^\infty = B_i \cdot \left(P \cdot \prod_{s=1}^n (Q_s^\infty)^{p_s} + SM \cdot R \cdot \prod_{s=1}^n (Q_s^\infty)^{r_s} \right). \quad (14)$$

3. Уравнения динамики выпуска продукции и переработки отходов для однофакторного предприятия

Пусть выпуск продукции предприятия обеспечивается одним производственным фактором $Q(t) = Q_1(t)$, который интегрирует в себе объемы факторов производства, складывающихся из основного капитала, производственных фондов, привлекаемых в производство трудовых ресурсов, используемых в производстве материалов, применяемых технологий, различного рода инноваций и т.д.

Тогда формула (3) для производственной функции принимает вид

$$U(t) = V(t) + S(t) \cdot W(t) = P \cdot Q(t)^p + S(t) \cdot R \cdot Q(t)^r. \quad (15)$$

Выражение для общих издержек (4) записывается в виде

$$TC(t) = H \cdot Q(t) + TFC + (1 - S(t)) \cdot R \cdot Q(t)^r. \quad (16)$$

Формула для функции прибыли (5) принимает вид

$$PR(t) = P \cdot Q(t)^p + S(t) \cdot R \cdot Q(t)^r - H \cdot Q(t) - TFC - (1 - S(t)) \cdot R \cdot Q(t)^r. \quad (17)$$

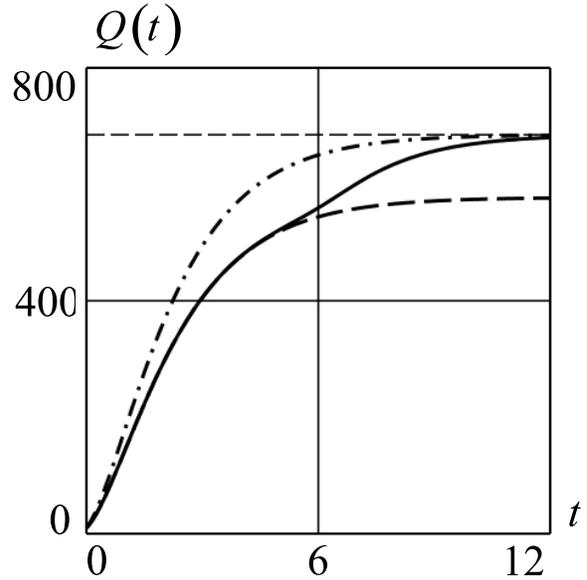
Система уравнений баланса (12) и начальные условия (13) принимают вид

$$\begin{cases} \frac{dQ(t)}{dt} = -A \cdot Q(t) + B \cdot \left(P \cdot Q(t)^p + S(t) \cdot R \cdot Q(t)^r \right), \\ Q \Big|_{t=0} = Q(0) = Q^0. \end{cases} \quad (18)$$

На рис. 2 представлены три варианта кривых роста объемов фактора производства $Q(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18). В первом варианте переработка отходов не производится ($S(t) \equiv 0$), во втором варианте переработка отходов производится самого начала производственного процесса ($S(t) \equiv SM$), в третьем варианте переработка отходов производится на временном интервале ($t_S - \sigma_S, t_S + \sigma_S$) с центром в точке t_S и радиусом σ_S .

Рис. 2: Варианты кривых роста объемов фактора производства $Q(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18). Штриховая линия соответствует первому варианту, штрихпунктирная линия соответствует второму варианту, сплошная линия соответствует третьему варианту.

Fig. 2: Variants of growth curves of the production factor volumes $Q(t)$, constructed based on the results of the numerical solution of the Cauchy problem (18). The dashed line corresponds to the first variant, the dashed-dotted line corresponds to the second variant, the solid line corresponds to the third variant.



На рис. 3 представлены три варианта кривых роста объемов издержек $TC(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (16). В первом варианте переработка отходов не производится ($S(t) \equiv 0$), во втором варианте переработка отходов производится самого начала производственного процесса ($S(t) \equiv SM$), в третьем варианте переработка отходов производится на временном интервале ($t_S - \sigma_S, t_S + \sigma_S$) с центром в точке t_S и радиусом σ_S .

На рис. 4 представлены три варианта кривых роста объемов выпуска продукции $U(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (15). В первом варианте переработка отходов не производится ($S(t) \equiv 0$), во втором варианте переработка отходов производится самого начала производственного процесса ($S(t) \equiv SM$), в третьем варианте переработка отходов производится на временном интервале ($t_S - \sigma_S, t_S + \sigma_S$) с центром в точке t_S и радиусом σ_S .

Рис. 3: Варианты кривых роста объемов издержек $TC(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (16). Штриховая линия соответствует первому варианту, штрих-пунктирная линия соответствует второму варианту, сплошная линия соответствует третьему варианту.

Fig. 3: Variants of growth curves of cost volumes $TC(t)$, constructed based on the results of the numerical solution of the Cauchy problem (18) and formula (16). The dashed line corresponds to the first variant, the dashed-dotted line corresponds to the second variant, the solid line corresponds to the third variant.

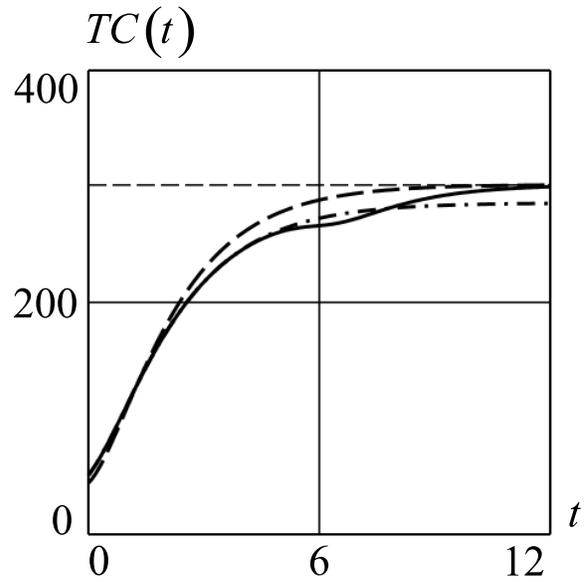
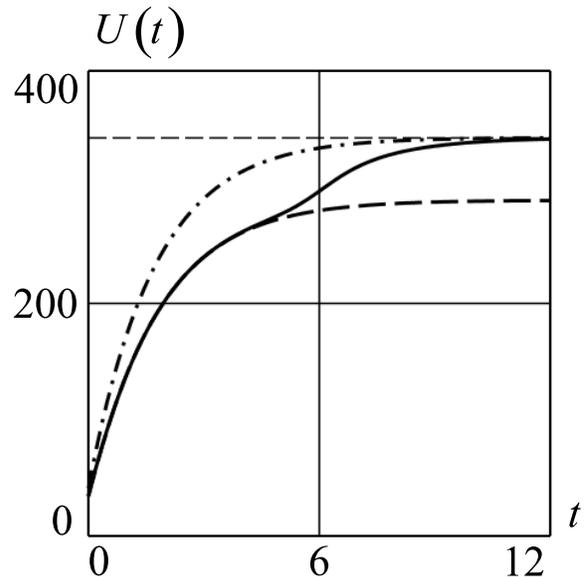


Рис. 4: Варианты кривых роста объемов выпуска продукции $U(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (15). Штриховая линия соответствует первому варианту, штрих-пунктирная линия соответствует второму варианту, сплошная линия соответствует третьему варианту.

Fig. 4: Variants of output growth curves $U(t)$, constructed based on the results of the numerical solution of the Cauchy problem (18) and formula (15). The dashed line corresponds to the first variant, the dashed-dotted line corresponds to the second variant, the solid line corresponds to the third variant.



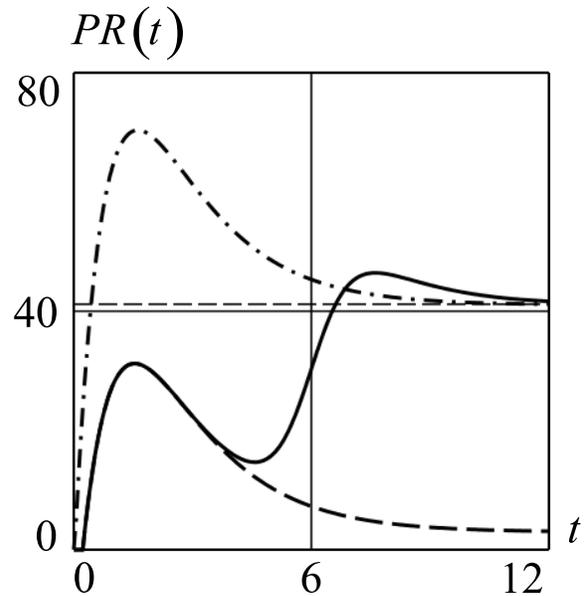
На рис. 5 представлены три варианта кривых роста объемов прибыли предприятия $PR(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (17). В первом варианте переработка отходов не производится ($S(t) \equiv 0$), во втором варианте переработка отходов производится самого начала производственного процесса ($S(t) \equiv SM$), в третьем варианте переработка отходов производится на временном интервале $(t_S - \sigma_S, t_S + \sigma_S)$ с центром в точке t_S и радиусом σ_S .

На рис. 6 представлена поверхность объемов прибыли предприятия $PR(Q, t)$, построенная по формуле (17), и пространственная кривая роста объемов прибыли предприятия

$$\begin{cases} S = S(t), \\ Q = Q(t), \\ PR = PR(t), \end{cases} \quad (19)$$

Рис. 5: Варианты кривых роста объемов прибыли предприятия $PR(t)$, построенных по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (17). Штриховая линия соответствует первому варианту, штрих-пунктирная линия соответствует второму варианту, сплошная линия соответствует третьему варианту.

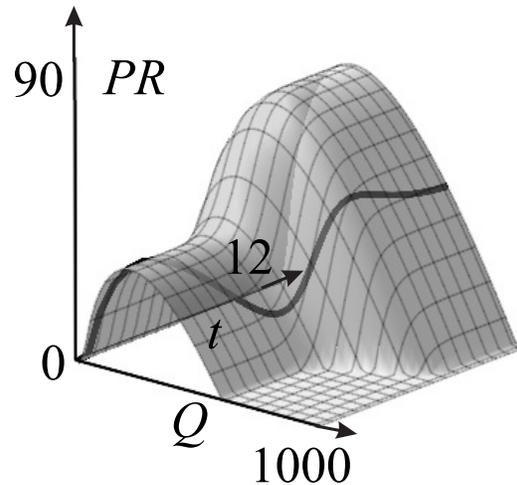
Fig. 5: Variants of curves of growth of enterprise profit volumes $PR(t)$, constructed according to the results of numerical solution of the Cauchy problem (18) and formula (17). The dashed line corresponds to the first variant, the dashed-dotted line corresponds to the second variant, the solid line corresponds to the third variant.



построенная по результатам численного решения задачи Коши (18) и формулы (17).

Рис. 6: Поверхность объемов прибыли предприятия $PR(Q, t)$, построенная по формуле (17) и пространственная кривая роста объемов прибыли предприятия (19).

Fig. 6: The surface of enterprise profit volumes $PR(Q, t)$, constructed using the formula (17) and the spatial curve of growth of enterprise profit volumes (19).



Заключение

1. Разработана новая математическая модель предприятия, производственная деятельность которого обеспечивается производственной функцией выпуска продукции и производственной функцией производства отходов.
2. Построена система дифференциальных уравнений, описывающая процесс преобразования части отходов предприятия в полезную продукцию.

3. Подробно исследован вариант однофакторной модели предприятия, перерабатывающего отходы производственной деятельности.
4. Рассмотрены особенности изменений экономических показателей предприятия, сопровождающие его обычного производства в безотходное производство.

Конкурирующие интересы: Конкурирующих интересов нет.

Библиографический список

1. Okorie O., Salonitis K., Charnley F., Moreno M., Turner Ch., Tiwari A. Data-Driven Approaches for Circular Economy in Manufacturing for Digital Technologies: A Review of Current Research and Proposed Framework // Preprints. – 2018. DOI: 10.20944/preprints201808.0159.v1..
2. Потравный И.М., Нямдорж Д., Сухорукова И.В., Лихачев Г.Г. Экономико-математическая модель влияния экологических и производственных характеристик рудника на прибыль горнодобывающего предприятия на примере «предприятия Эрдэнэт» // Экономический анализ: теория и практика. – 2017. – Т. 16. – № 9 (468). – С. 1759–1777. EDN: ZHLEGB.
3. Потравный И.М., Новоселов А.Л., Новоселова И.Ю. Оптимизация использования ресурсов техногенных месторождений с учетом факторов неопределенности // Экономика региона. – 2017. – Т. 13. – № 4. – С. 1280–1290. EDN: ZXQKHX.
4. Ma H.W., Shih H.C., Liao M.I. Circular Economy and New Research Directions in Sustainability // International Series in Operations Research and Management Science. – 2021. – pp. 141–168. DOI: 10.1007/978-3-030-58023-0_6.
5. Османов И.Х. Экономико-математическая модель оптимального размещения и определения рациональных мощностей предприятий по переработке твердых бытовых отходов (ТКО) на региональном уровне // Экономика строительства и природопользования. – 2020. – № 3 (76). – С. 23–27. EDN: JAHDWU.
6. Zhang W., Zhang M., Wu Sh., Liu F. A complex path model for low-carbon sustainable development of enterprise based on system dynamics // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 321. – Pp. 128934. EDN: MLHCZA.
7. Charnley F., Tiwari D., Hutabarat W., Moreno M., Okorie O., Tiwari A. Simulation to Enable a Data-Driven Circular Economy // Sustainability. – 2019. – no. 11 (12). DOI: 10.3390/su11123379.
8. Rahayu N., Arai T., Yudoko G., Morimoto H. System dynamics models for planning long-term integrated municipal solid waste management in Bandung city // The Sustainable City. – 2013. – Vol. 2. – no. 8. DOI: 10.2495/SC130982.
9. Богатырев В.Д., Ростова Е.П. Анализ и моделирование динамики обезвреженных и утилизированных отходов производства и потребления промышленных отраслей // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28. – № 3. – С. 50–54. EDN: PVOZFK.
10. Ковальчук А.П., Милорадов К.А. Организационно-экономическая модель развития системы управления отходами на региональном уровне // Креативная экономика. – 2022. – Т. 16. – № 3. – С. 1147–1158. EDN: IOYMBV.
11. Пономарева С.В., Каменских Д.Н. Рециклинг отходов от осуществления основных бизнес-процессов промышленными предприятиями // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2024. – № 2–1. – С. 80–86. EDN: PUUOBU.
12. Xiao S., Dong H., Geng Y. Policy impacts on Municipal Solid Waste management in Shanghai: A system dynamics model analysis // Journal of Cleaner Production. – 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121366.

13. Nogueira L. The Industrial Dynamics of Waste Management and Recycling: A Call for Research and a Proposed Agenda // SSRN. – 2022. EDN: EKPLHG.
14. Hunger T., Arnold M., Ulber M. Circular value chain blind spot – A scoping review of the 9R framework in consumption // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 440. – Pp. 140853. EDN: ALOARX.
15. Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Ветрова М.А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2017. – Т. 33. – № 2. – С. 244–268. EDN: ZCMMCX.

Model of the dynamics of enterprise development, taking into account the processing of its production waste

K. A. Rodionova, L. A. Saraev

Samara National Research University, 34,
Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia.

Abstract

The published article proposes a mathematical model of the dynamics of the development of a multifactor enterprise, taking into account the processing of its production waste into useful products. The production activity of such an enterprise is described by two production functions, one of which transforms resources into the enterprise's products, and the other transforms resources into waste. The process of transition at a certain time interval of the enterprise to a waste-free circular economy is described using a special dimensionless logistic function. A system of differential equations is constructed that describes the process of converting part of the enterprise's waste into useful products. A version of a single-factor model of an enterprise processing production waste is studied in detail. The features of changes in the economic indicators of the enterprise accompanying its normal production into waste-free production are considered.

Keywords: enterprise; resources; factors of production; production function; output; waste; profit; costs.

Received: Thursday 3rd October, 2024 / Revised: Saturday 2nd November, 2024 /
Accepted: Monday 2nd December, 2024 / First online: Tuesday 28th January, 2025

Competing interests: No competing interests.

Mathematical Statistical and Instrumental Methods of Economics (Research Article)

© Authors, 2024

© Samara University, 2024 (Compilation, Design, and Layout)

Ⓙ © ⓘ The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Please cite this article in press as:

Rodionova K. A., Saraev L. A. Model of the dynamics of enterprise development, taking into account the processing of its production waste, *Vestnik Samarskogo Universiteta. Ekonomika i Upravlenie = Vestnik of Samara University. Economics and Management*, 2024, vol. 15, no. 4, pp. 76–88. doi:<http://doi.org/10.18287/2542-0461-2024-15-4-76-88> (In Russian).

Authors' Details:

Ksenia A. Rodionova  <http://orcid.org/0000-0001-6959-8053>

Postgraduate Student of the Mathematics and Business Informatics Department;
e-mail: ksurora@gmail.com

Leonid A. Saraev  <http://orcid.org/0000-0003-3625-5921>

Doctor of Physical and Mathematical Sciences; Professor; Professor of the Mathematics and Business Informatics Department; e-mail: saraevleo@mail.ru

References

1. Okorie O., Salonitis K., Charnley F., Moreno M., Turner Ch., Tiwari A. Data-Driven Approaches for Circular Economy in Manufacturing for Digital Technologies: A Review of Current Research and Proposed Framework // Preprints. – 2018. DOI: 10.20944/preprints201808.0159.v1..
2. Potravny I.M., Nyamdorzh D., Sukhorukova I.V., Likhachev G.G. Economic and mathematical model of the influence of environmental and production characteristics of a mine on the profit of a mining enterprise using the example of the Erdenet enterprise // Economic analysis: theory and practice. – 2017. – Vol. 16. – No. 9 (468). – pp. 1759–1777. EDN: ZHLEGB. (In Russ.)
3. Potravny I.M., Novoselov A.L., Novoselova I.Yu. Optimization of the use of resources of technogenic deposits taking into account uncertainty factors // Economy of the region. – 2017. – Vol. 13. – No. 4. – pp. 1280–1290. EDN: ZXQKH. (In Russ.)
4. Ma H.W., Shih H.C., Liao M.I. Circular Economy and New Research Directions in Sustainability // International Series in Operations Research and Management Science. – 2021. – pp. 141–168. DOI: 10.1007/978-3-030-58023-0_6.
5. Osmanov I.Kh. Economic and mathematical model of optimal placement and determination of rational capacities of enterprises for processing municipal solid waste (MSW) at the regional level // Economics of construction and nature management. – 2020. – No. 3 (76). – pp. 23–27. EDN: JAHDWU. (In Russ.)
6. Zhang W., Zhang M., Wu Sh., Liu F. A complex path model for low-carbon sustainable development of enterprise based on system dynamics// Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 321. – pp. 128934. EDN: MLHCZA.
7. Charnley F., Tiwari D., Hutabarat W., Moreno M., Okorie O., Tiwari A. Simulation to Enable a Data-Driven Circular Economy // Sustainability. – 2019. – No. 11 (12). DOI: 10.3390/su11123379.
8. Rahayu N., Arai T., Yudoko G., Morimoto H. System dynamics models for planning long-term integrated municipal solid waste management in Bandung city// The Sustainable City. – 2013. – Vol. 2. – no. 8. DOI: 10.2495/SC130982.
9. Bogatyrev V.D., Rostova E.P. Analysis and modeling of the dynamics of neutralized and utilized waste from production and consumption of industrial sectors // Ecology and Industry of Russia. – 2024. – Vol. 28. – No. 3. – pp. 50–54. EDN: PVOZFK. (In Russ.)
10. Kovalchuk A.P., Miloradov K.A. Organizational and economic model for the development of a waste management system at the regional level // Creative Economy. – 2022. – Vol. 16. – No. 3. – pp. 1147–1158. EDN: IOYMB. (In Russ.)
11. Ponomareva S.V., Kamenskikh D.N. Recycling of waste from the implementation of core business processes by industrial enterprises // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. – 2024. – No. 2–1. – pp. 80–86. EDN: PUUBU. (In Russ.)
12. Xiao S., Dong H., Geng Y. Policy impacts on Municipal Solid Waste management in Shanghai: A system dynamics model analysis // Journal of Cleaner Production. – 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121366.
13. Nogueira L. The Industrial Dynamics of Waste Management and Recycling: A Call for Research and a Proposed Agenda// SSRN. – 2022. EDN: EKPLHG.
14. Hunger T., Arnold M., Ulber M. Circular value chain blind spot – A scoping review of the 9R framework in consumption // Journal of Cleaner Production. – 2024. – Vol. 440. – pp. 140853. EDN: ALOARX.
15. Pakhomova N.V., Richter K.K., Vetrova M.A. Transition to a circular economy and closed supply chains as a factor in sustainable development // Bulletin of St. Petersburg University. Economics. – 2017. – Vol. 33. – No. 2. – pp. 244–268. EDN: ZCMCV. (In Russ.)