

УДК 51-77

***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПОТЕРЬ И
ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ***

Лях П.П.

студент,

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет,*

Санкт-Петербург, Россия

Яркова О.Н.

к.э.н., доцент,

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет,*

Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В работе проанализирован процесс переработки отходов пищевой продукции. Разработана диаграмма процесса переработки в нотации IDEF0, отражающая основные этапы, через которые проходит продукция с момента выброса до полной утилизации и(или) переработки. На выходе бизнес-процесса, помимо отходов, не подлежащих переработке, можно получить энергию, корма и удобрения. Переработанные отходы повторно подлежат использованию и другой реализации, из чего можно извлекать как пользу для окружающей среды, так и экономическую выгоду. Разработана имитационная модель для оценки и прогнозирования динамики образования продовольственных потерь с использованием метода Монте-Карло. Модель апробирована на примере молочной продукции. Разработанные модели (бизнес-процесса переработки и имитационная модель) позволят формировать стратегии управления пищевыми потерями.

Ключевые слова: пищевые отходы, потери продукции, статистическое моделирование, переработка отходов, бизнес-процесс

***MODELING OF THE PROCESSES OF WASTE GENERATION AND
PROCESSING OF FOOD WASTE***

Lyakh P.P.

student,

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,

St. Petersburg, Russia

Yarkova O.N.

PhD, Associate Professor,

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,

St. Petersburg, Russia

Abstract

The paper analyzes the process of processing food waste. A diagram of the recycling process in IDEF0 notation has been developed, reflecting the main stages through which products pass from the moment of release to complete disposal and (or) recycling. At the exit of the business process, in addition to non-recyclable waste, energy, feed and fertilizers can be obtained. Recycled waste can be reused and sold in other ways, from which both environmental benefits and economic benefits can be derived. A simulation model has been developed to assess and predict the dynamics of food loss formation using the Monte Carlo method. The model has been tested on the example of dairy products. The developed models (the business process of processing and the simulation model) allow you to form strategies for managing food losses.

Keywords: food waste, product losses, statistical modeling, waste recycling, business process

В современном мире много проблем, требующих решения. Одна из них, это проблема продовольственных потерь и пищевых отходов, затрагивающая сразу несколько важных жизненных сфер: экономика несет большие финансовые потери из-за нереализованной или испорченной продукции; в окружающую среду выбрасываются вредные вещества из-за неправильной утилизации; проблема голода, сохраняющаяся несмотря на миллионы тонн продовольственных потерь и отходов ежегодно. В то же время, в современном мире, при наличии больших технологических и производственных возможностей, эту проблему если и нельзя решить полностью, то можно существенно уменьшить ее негативное влияние на нашу жизнь и окружающую среду, что обуславливает актуальность исследований в указанной сфере. В первую очередь необходимо оценить потери и выработать пути снижения потерь продукции и образования отходов, а во вторую – научиться правильно перерабатывать и преобразовывать их в другие полезные ресурсы.

Исследованиям в сфере продовольственных потерь посвятили свои труды многие авторы. Романов А.В. выделил основные причины возникновения продовольственных потерь на предприятиях, среди которых: недостаточное соблюдение технологических режимов при хранении и транспортировке, недостаточный мониторинг на всех производственных стадиях переработки, отсутствие стимулов к внедрению новых ресурсосберегающих технологий переработки сырья [7]. Зинина О.В. и Оленцова Ю.А. предложили необходимые действия для сокращения пищевых отходов со стороны государства, бизнеса и обычных граждан [4]. Гаврилов А.В. обозначил проблему цифровизации сельского хозяйства, решением которой должна стать система, подразумевающая высокую производительность, прогнозируемость и приспособляемость в условиях изменчивости климата, сокращение водных и земельных ресурсов и другое [3]. Белинская И.В., Карандашева И.В. и Макаренко Е.А. разработали механизм реализации концепции по переработке органических пищевых отходов и предложили диаграмму, показывающую структуру отходов в сетях розничной

Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМИ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

торговли [2]. Романенко Ю.Д. [6] разработала концепцию оптово-распределительных центров (ОРЦ), которая включает функции хранения, контроля качества, продажи и транспортировки товаров с минимальными потерями. ОРЦ представляют собой современные складские комплексы, оснащенные высокотехнологичным оборудованием и системами управления. Они играют ключевую роль в логистической цепочке, обеспечивая эффективное распределение товаров от производителей к потребителям [6].

Математико-статистические исследования в сфере доступности продовольствия и оценки продовольственных потерь проводили Никифорова И.В. [5] и Марсо М.С. соавторами [1]. Никифорова И.В. решила оптимизационную задачу, критериями которой стали: соответствие качества продуктов питания требуемым нормам, уровень физической и экономической доступности продовольствия для различных категорий населения, удельный вес отечественного сельскохозяйственного сырья и продовольствия в общем объеме продаж на рынке [5]. В результате решения задачи было предложено несколько направлений обеспечения продовольственной безопасности как региона, так и страны. Марсо М., Carola F., Lasinio J. провели работу, целью которой было совершенствование подхода к моделированию при оценке годового процента продовольственных потерь по странам и продуктам. Помимо этого, оценивались наиболее важные факторы, влияющие на потери по всему миру, а также прогнозировались потери с помощью Байесовской бета-регрессии [1].

На наш взгляд исследования необходимо дополнить анализом процесса переработки пищевых отходов и разработкой модели для оценки и прогнозирования динамики пищевых потерь. Задачи исследования: разработка модели бизнес-процесса переработки пищевых отходов; разработка и апробация модели оценки и прогнозирования динамики потерь пищевых продуктов.

Модели, методы, результаты

На первом этапе исследования проведен анализ процесса переработки пищевой продукции.

Сформулируем основные этапы:

1) Вынести отходы в мусорные контейнеры. Регулируется СанПиНом, актами о списании испорченных продуктов, расписанием выноса мусора.

Отходы поступают в мусорные контейнеры из:

– магазинов (просроченная и испорченная при реализации / транспортировке продукция). Ответственный: сотрудник магазина, проверяющий сроки годности, состояние упаковки и снимающий с продажи испорченный товар.

– ресторанов (испорченные продукты и отходы от приготовления). Ответственный: шеф-повар, следит за сроком годности, сортирует отходы.

– государственных учреждений. Ответственный – сотрудник пищевого блока, сортирует и выносит отходы.

– медицинских учреждений (отсортированные отходы из медицинского учреждения). Ответственный: сотрудник, относящий отходы в разные места хранения отходов разного класса опасности.

– бытовые отходы. Ответственный: житель, собирающий и, при желании, сортирующий свои пищевые отходы.

2) Отвезти отходы в места переработки. Регулируется расписанием вывоза мусора. Ответственный: компания, занимающаяся вывозом мусора (государственная/частная), отвозит отходы в места их сортировки и переработки.

3) Отсортировать отходы. Отходы сортируются на предприятии по переработке, в медицинском учреждении, на предприятии производства.

Отходы из медицинских учреждений сортируются по трем категориям опасности: класс А включает безопасные отходы; класс Б – потенциально опасные отходы, которые могли быть заражены кровью или выделениями. Класс В – чрезвычайно опасные отходы, контактировавшие с инфицированными больными.

Издержки производства и непригодные для реализации продукты. Ответственный – работник производства, отбирающий непригодный для реализации товар.

Общие отходы – сортируются на специализированном предприятии, автоматически, так как собранные отходы из организации, должны сортировать их при выбросе мусора.

Сортировка происходит: по пригодности к переработке, происхождению (животное/растительное), фракции.

4) Переработка.

Переработка предусматривает:

– измельчение в диспозере – жители, установившие специальную систему в свою раковину, перерабатывают отходы дома, после чего они поступают в канализацию;

– сжигание в печи, получается энергия, используемая на предприятия;

– компостирование – помещение отходов в специальную яму вместе с раствором, содержащим бактерии, после чего получается перегной, использующийся в качестве удобрения;

– перемалывание в муку – переработка рыбных и мясных костных отходов в муку, которая потом используется в качестве биологической добавки в кормах животных.

Анализ процесса переработки позволил провести моделирование бизнес-процесса переработки пищевых отходов в нотации *idef0*. Модель бизнес-процесса переработки и утилизации пищевых отходов приведена на рисунках 1-4.

Входы бизнес-процесса: бытовые отходы, продукция магазинов, отходы ресторанов, отходы мед. учреждений, отходы государственных учреждений, издержки производства. Выходы бизнес-процесса: удобрения, корм, энергия, утилизированные отходы, отходы в сливе канализации.

На рисунке 1 приведена контекстная диаграмма процесса переработки и утилизации пищевых отходов.

На рисунке 2 приведена диаграмма уровня А0 процесса переработки и утилизации пищевых отходов.

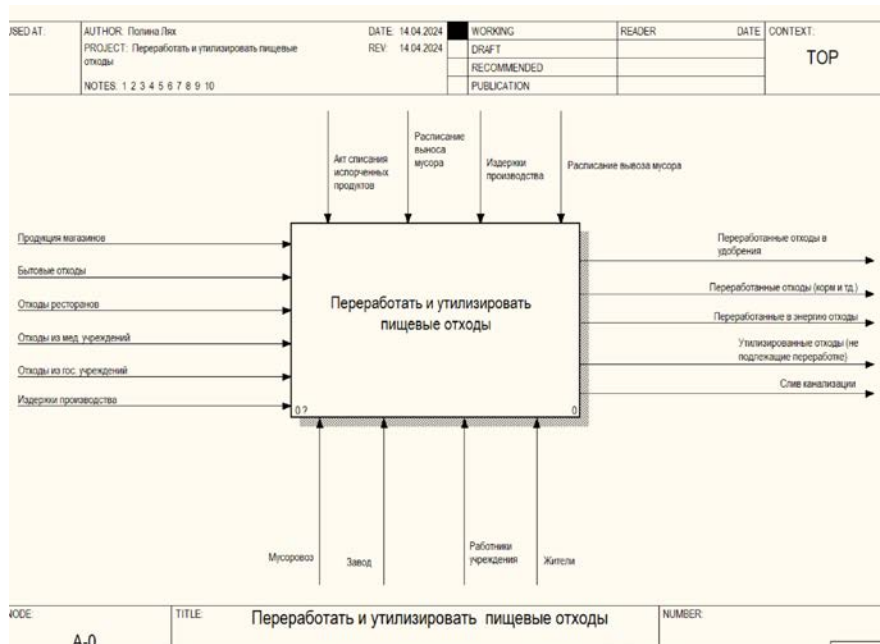


Рис. 1 – Контекстная диаграмма бизнес-процесса (авторская разработка)

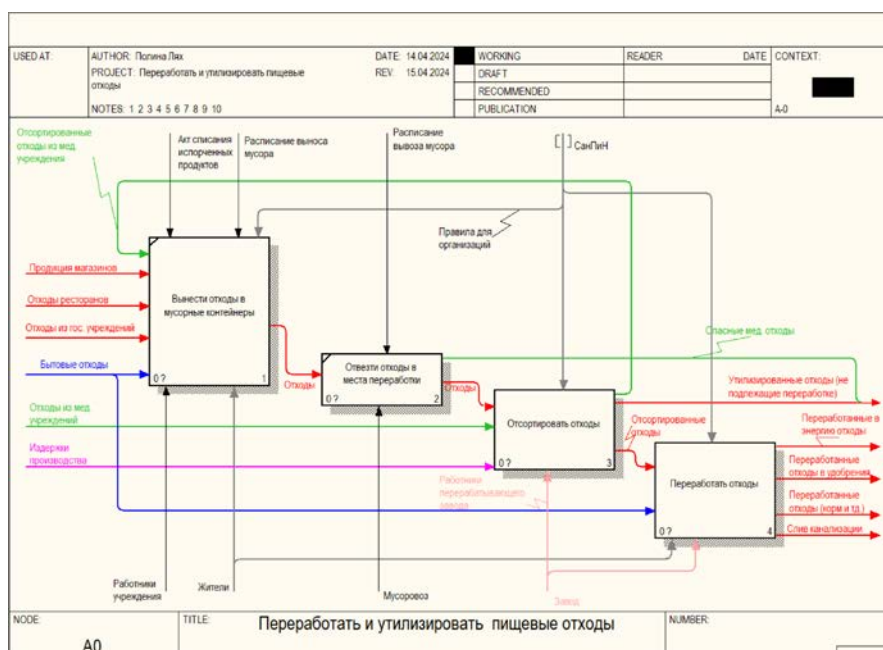


Рис. 2 – Уровень бизнес-процесса А0 (авторская разработка)

На рисунке 3 приведена диаграмма декомпозиции блока сортировки отходов процесса переработки и утилизации пищевых отходов. Процесс сортировки включает этапы: сортировка по пригодности к переработке, сортировка по происхождению (молочное, растительное, смешанное и т.д.), сортировка по фракции.

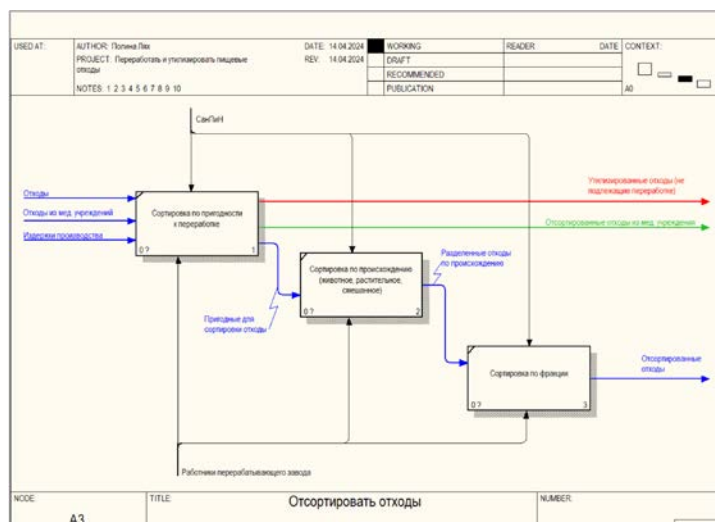


Рис. 3 – Декомпозиция блока А3 (авторская разработка)

На рисунке 4 приведена декомпозиция блока переработки отходов. Переработка включает этапы (в том числе альтернативные): измельчение в диспозере, сжигание, компостирование, перемалывание в муку.

Таким образом, на схемах отражены основные этапы, через которые проходит продукция с момента выброса до полной утилизации и(или) переработки. На выходе бизнес-процесса, помимо отходов, не подлежащих переработке, можно получить энергию, корма и удобрения. Переработанные отходы повторно подлежат использованию и другой реализации, из чего можно извлекать как пользу для окружающей среды, так и экономическую выгоду.

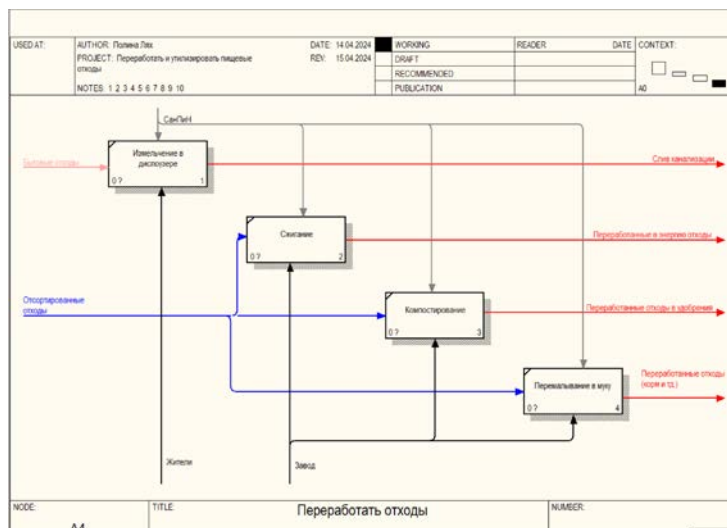


Рис. 4 – Декомпозиция блока А4 (авторская разработка)

Одним из важных аспектов при выработке стратегии управления образованием потерь и отходов пищевой продукции является выявление источников потерь и прогнозирование объема потерь пищевой продукции. Для оценки и прогнозирования потерь пищевой продукции и объема запасов пищевой продукции разработана имитационная модель (1), учитывающая этапы образования потерь и отходов, подробно описанные в работе [8].

$$\begin{aligned}
 P_t &= Q_{t-1}r^{hr} + Q_t^{pr}r^{pr} + Q_t^{imp}r^{imp} + Q_t^{per}r^{per} + Q_t^{self}r^{self}, \\
 Q_t &= Q_{t-1}(1 - r^{hr}) + Q_t^{pr}(1 - r^{pr}) + Q_t^{imp}(1 - r^{imp}) - Q_t^{exp} - \\
 &\quad - Q_t^{per}(1 + r^{per}) - Q_t^{self}(1 + r^{self}), \\
 t &= 1, 2..T, \quad Q_0 = Q^0,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где P_t – потери пищевой продукции в момент t ;

Q_t – объем запасов пищевой продукции в момент времени t , случайная функция, в которой параметр, характеризующий случайную составляющую здесь и далее опущен;

r^{hr} – доля потерь при хранении запасов на единицу продукции в единицу времени, случайная величина;

Q_t^{pr} – объем производства, в общем случае это случайная функция времени, позволяющая учесть сезонность производства пищевой продукции, например овощей;

r^{pr} – доля потерь при производстве продукции на единицу продукции, случайная величина;

Q_t^{imp} – объем импорта, в общем случае это случайная функция времени, позволяющая учесть сезонность ввоза пищевой продукции, например фруктов;

r^{imp} – доля потерь при импорте продукции на единицу продукции, случайная величина, включает потери при контроле качества, уничтожение контрафакта и т.п.;

Q_t^{per} – случайная функция, характеризующая объем продукта, направленного на переработку с целью получения нового вида продукции, зависит от объема продукции, наличия производственных мощностей;

r^{per} – случайная величина, характеризующая долю потерь при переработке продукции на единицу продукции, включает потери при контроле качества, отходы производства, порчу при длительном хранении и т.п.;

Q_t^{self} – случайная функция, характеризующая объем потребления продукта домохозяйствами/реализованной продукции, зависит от численности населения и личных предпочтений домохозяйств по отношению к исследуемому продукту;

r^{self} – случайная величина, характеризующая долю потерь продукции при реализации, личном потреблении, порчу при длительном хранении в розничной сети и т.п.;

Q_t^{exp} – объем экспорта, в общем случае это случайная функция времени, позволяющая учесть сезонность экспорта пищевой продукции, например овощей;

Q^0 – запасы продукта в начальный момент времени.

Объем продукции и потери могут исчисляться в тех единицах измерения, в которых измерен соответствующий продукт согласно статистическим данным.

Т.е. картофель, например, в центнерах или тоннах, яйца в штуках, молоко в тоннах/литрах и т.п.

Модель позволит оценить динамику потерь продукции. Проведем апробацию модели на примере производства молока и молочной продукции в Белгородской области. Для моделирования долей потерь экспертно заданы веса потерь, возникающих на этапах производства, импорта, переработки, реализации для личного потребления. Далее с учетом указанных весов найдены доли потерь в зависимости от объема производства, импорта, переработки и личного потребления по статистическим данным за 2019-2021 гг., приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Доли потерь в зависимости от объема производства, импорта, переработки и личного потребления для молока, тыс. тонн

| Показатель | r^{pr} | r^{imp} | r^{per} | r^{self} | r^{hr} |
|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|
| Веса потерь | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,25 | 0,15 |
| 2019 | 2,93E-05 | 7,46E-05 | 0,000655 | 6,22E-05 | 0,000448 |
| 2020 | 2,91E-05 | 7,12E-05 | 0,000652 | 6,12E-05 | 0,000408 |
| 2021 | 5,73E-05 | 0,000101 | 0,001282 | 0,00012 | 0,000802 |
| Min(r) | 2,91E-05 | 7,12E-05 | 0,000652 | 6,12E-05 | 0,000408 |
| Max(r) | 5,73E-05 | 0,000101 | 0,001282 | 0,00012 | 0,000802 |

Для моделирования долей потерь будем использовать равномерный закон распределения с параметрами минимальное значение и максимальное соответственно, $\min(r)$ и $\max(r)$. В таблице 2 приведены статистические данные по объемам запаса, производства, импорта, экспорта, потребления молока за 2019-2021 гг. и статистические оценки параметров: $M[Q]$ – математическое ожидание и $\sigma[Q]$ – среднее квадратическое отклонение.

Таблица 2 – Статистические данные по объемам запаса, производства, импорта, экспорта, потребления молока за 2019-2021 гг., тыс. тонн

| | Производство | Импорт | Производственное потребление | Экспорт | Потери | Личное потребление |
|------|--------------|--------|------------------------------|---------|--------|--------------------|
| 2019 | 683,50 | 134,10 | 45,80 | 366,70 | 0,10 | 366,70 |
| 2020 | 686,60 | 140,50 | 46,00 | 371,80 | 0,10 | 371,80 |
| 2021 | 697,90 | 198,90 | 46,80 | 433,40 | 0,20 | 433,40 |

| | | | | | | |
|-------------|--------|--------|-------|--------|------|--------|
| $M[Q]$ | 689,33 | 157,83 | 46,20 | 390,63 | 0,13 | 390,63 |
| $\sigma[Q]$ | 7,58 | 35,71 | 0,53 | 37,13 | 0,06 | 37,12 |

Для моделирования объемов производства, импорта, экспорта, потребления молока будем использовать нормальный закон распределения с параметрами $N(M[Q]/12, \sigma[Q])$. Для простоты предположим, что производство не зависит от месяца, но в общем случае при моделировании этот факт может быть учтен. $Q^0=33,50$ тыс. тонн. В результате моделирования получены статистические характеристики запасов продукции и потерь, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Точечные оценки законов распределения объема запасов и потерь, полученные в результате моделирования

| t | $M[Q_t]$ | $\sigma[Q_t]$ | $As[Q_t]$ | $Ex[Q_t]$ | $M[P_t]$ | $\sigma[P_t]$ | $As[P_t]$ | $Ex[P_t]$ |
|-----|----------|---------------|-----------|-----------|----------|---------------|-----------|-----------|
| 1 | 42,706 | 3,347 | 0,088 | 0,284 | 0,0228 | 0,0021 | 0,0202 | -0,8079 |
| 2 | 31,862 | 10,052 | -0,002 | -0,048 | 0,0235 | 0,0035 | 0,3363 | 0,4185 |
| 3 | 36,799 | 9,053 | -0,003 | -0,132 | 0,0238 | 0,0036 | 0,3071 | -0,1462 |
| 4 | 32,071 | 3,660 | -0,012 | 0,105 | 0,0238 | 0,0036 | 0,3829 | 0,1411 |
| 5 | 33,822 | 3,377 | -0,033 | -0,095 | 0,0235 | 0,0036 | 0,2500 | -0,1051 |
| 6 | 35,229 | 9,106 | -0,050 | 0,187 | 0,0236 | 0,0034 | 0,2655 | -0,2658 |
| 7 | 34,807 | 0,094 | 0,110 | -0,162 | 0,0237 | 0,0034 | 0,0921 | -0,2495 |
| 8 | 31,290 | 3,066 | 0,002 | -0,137 | 0,0237 | 0,0036 | 0,3535 | -0,1256 |
| 9 | 35,749 | 0,061 | 0,303 | 1,828 | 0,0235 | 0,0036 | 0,2447 | -0,1517 |
| 10 | 37,984 | 0,748 | -0,124 | 0,052 | 0,0236 | 0,0035 | 0,5936 | 2,0041 |

На рисунке 5 приведены графики динамики запасов и потерь, построенные по ожидаемым значениям показателей, полученных в результате моделирования выборок.

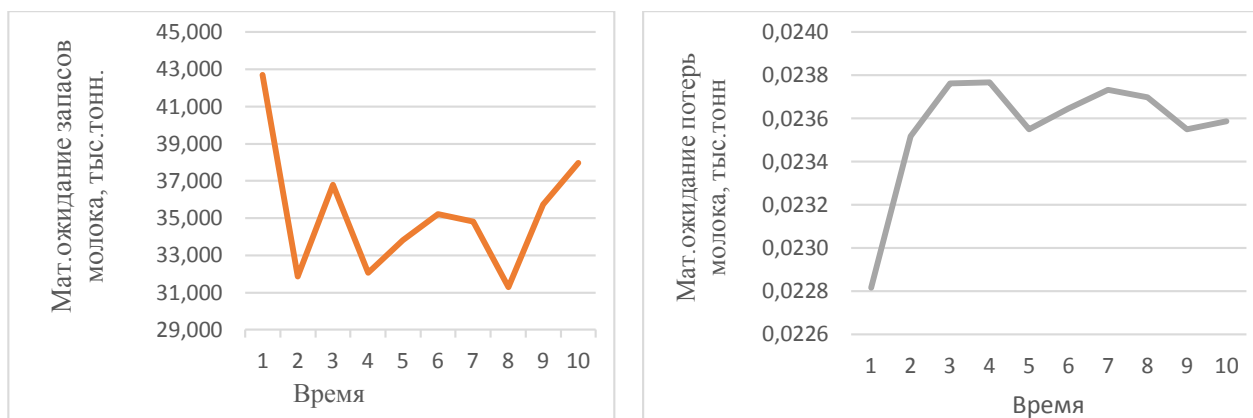


Рис. 5 – Динамика запасов и потерь молока (авторская разработка)

Приведенная модель позволяет моделировать динамику запасов продукции и оценивать потери во времени в зависимости от источников получения продукции и распределения продукции по потребителям с учетом законов распределения объемов поставляемой продукции, зависимостей поставок от времени, потерь продукции на разных этапах жизненного цикла.

Заключение

В ходе работы были собраны и проанализированы данные о продовольственных потерях и пищевых отходах. По проделанной работе можно сделать следующие выводы: существует множество способов переработки и утилизации пищевых отходов, но, несмотря на это, в России чаще отходы выкидываются на неконтролируемую свалку, чем перерабатываются. Выбор конкретного вида переработки зависит от типа перерабатываемых отходов, их количества и экономических возможностей. Разработанная модель бизнес-процесса показывает, что утилизация это сложный, многоступенчатый процесс, задействующий самые разные инстанции. Предложенная модель позволяет выработать пути переработки отходов.

Разработанные модели (бизнес-процесса переработки и имитационная модель) позволят формировать стратегии управления пищевыми потерями. Для решения проблемы продовольственных потерь необходимо улучшать инфраструктуру, тщательнее контролировать процесс производства и условия

хранения продукции. Важно также собирать статистику о потерях пищевой продукции на разных этапах жизненного цикла, что позволит прогнозировать образование потерь и отходов и вырабатывать комплексные направленные действия на их снижение.

Работа выполнена в рамках гранта на выполнение научно-исследовательских работ обучающимися Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) на тему «Анализ и моделирование показателей образования продовольственных потерь и органических отходов».

Библиографический список:

1. Marco M., Carola F., Giovanna J.L. Measuring and Modeling Food Losses / M. Marco, F. Carola, J.L. Giovanna // Journal of Official Statistics. – 2021. – 37. – P. 171-211. DOI: 10.2478/JOS-2021-0008
2. Белинская И.В. Построение концепции переработки органических отходов / И.В. Белинская, И.В. Карандашева, Е.А. Макаренко // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2023. – № 2. – С. 48-56. – DOI 10.18101/2304-4446-2023-2-48-56. – EDN WUGCFS
3. Гаврилов А.В. Проблемы цифровизации сельского хозяйства развивающихся стран / А.В. Гаврилов // Наука без границ. – 2021. – № 7(59). – С. 38-45. – EDN ZHUGQG
4. Зинина О.В., Оленцова Ю.А. Сокращение продовольственных потерь как инструмент управления экономическим и социальным развитием / О.В. Зинина, Ю.А. Оленцова // E-Management. – 2024. – Т. 7, № 1. – С. 28-35. – DOI: 10.26425/2658-3445-2024-7-1-28-35. – EDN NQNAMA
5. Никифорова И.В. Применение моделирования в обеспечении ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ Безопасности / И.В. Никифорова // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2010. – № 3. – С. 59-64. – EDN MBFWJF

6. Романенко Ю.Д. Снижение рисков потери продукции рынка овощей путем совершенствования механизма системы сбыта продукции / Ю.Д. Романенко // Управление рисками в АПК. – 2016. – № 4. – С. 71-83. – EDN XAFYAR

7. Романов А.В. Основные направления снижения продовольственных потерь в пищевой и перерабатывающей промышленности АПК / А.В. Романов // Наука и бизнес: пути развития. – 2020. – № 5(107). – С. 145-147. – EDN BMELZZ

8. Яркова О.Н., Лях П.П. Анализ и моделирование взаимосвязей между показателями потерь, производства и потребления пищевой продукции / О.Н. Яркова, П.П. Лях // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 10. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2024/9564 (Дата обращения 24.10.2024)

Оригинальность 89%