

УДК 517.977

DOI: 10.22213/2410-9304-2021-3-65-73

## Модель информационной системы управления процессами логистики предприятий пищевой промышленности\*

Г. А. Благодатский, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. М. Горохов, доктор физико-математических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. Е. Докучаев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Л. Г. Саетова, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В работе представлена модель информационной системы управления системой серийного выпуска хлебопекарной продукции. Система объекта представляет собой технические средства выпуска и доставки продукции до потребителей, ассортимент изделий, производственный план (формируется спросом на продукцию), множество пунктов продажи изделий, граф транспортной инфраструктуры. Возможности складов системы ограничены, сырье и материалы скоропортящиеся (сроки хранения исчисляются днями), количество средств доставки до пунктов реализации мало ( $<3$ ), потребности потребителей низкие (единичный спрос на изделия), количество точек реализации велико ( $\approx 10^2$ ), срок реализации готовой продукции короткий (2–3 дня). Управляемой величиной является функция  $U(t)$  – отношение недельного объема поставленной продукции (с учетом возврата нереализованной продукции и производственного брака) к стоимости ее доставки. Перед системой управления поставлена задача поддержания максимально возможного уровня функции  $U$ . Предложен алгоритм решения задачи максимизации функции  $U$ , который состоит в следующем: 1) определить максимальный план производства; 2) определить минимальный план доставки готовой продукции (контроль выполнения планов производства и перевозок дает обратную связь в виде объемов продукции, не прошедшей контроль качества  $Q_b$  и не поставленной потребителям  $Q_R$ ); 3) информацию обратной связи использовать для корректировки планов выпуска и перевозок продукции путем применения человеко-машинных процедур принятия решений. Для решения поставленной задачи необходима автоматизация путем разработки и внедрения специализированного программного обеспечения. Системный подход к разработке информационного обеспечения предполагает анализ бизнес-процессов предприятия. В структуре процессов выявлены процессы трех групп: основные процессы, вспомогательные бизнес-процессы и процессы управления. Критическими процессами для обеспечения непрерывного функционирования системы являются: процессы заказа ингредиентов и доставки готовой продукции. Задача обеспечения своевременного пополнения склада решается путем внедрения системы работы с поставщиками (SCM). Задача обеспечения доставки готовой продукции решается путем нахождения оптимального плана перевозок. Приведена адаптация алгоритма решения задачи по транспортировке готовой продукции для объекта исследования. Описан алгоритм обработки нештатной ситуации с перераспределением груза при поломке транспортного средства во время рейса.

**Ключевые слова:** моделирование, бизнес-процессы, логистика, пищевая промышленность, маршрутизация, транспорт.

### Введение

Существенным направлением повышения эффективности производственной системы является оптимизация логистической цепи, что способствует увеличению уровня прибыли и улучшает его восприятие контрагентами, повышает конкурентоспособность [1]. В силу закономерности целостности и иерархичности систем обеспечение конкурентоспособности должно носить системный характер. В структуру производственной системы входит логистическая подсистема [2]. Возможность построения процесса принятия решений в задаче оптимизации маршрута гарантирует оператив-

ные изменения маршрута в случае возникновения нештатных ситуаций [3]. Задача оперативно обеспечить непрерывную деятельность производственной системы актуальна при оперативном планировании работы логистических центров [4].

На сегодняшний день существуют информационные системы для оптимизации торговой логистики. Для предприятий пищевой промышленности нужен иной алгоритм оптимизации общего времени и расстояния обхода всех пунктов реализации готовой продукции с учетом малого срока хранения и меняющегося спроса на изделия. Алгоритм решения задачи сбора груза

из множества неравномерно нагруженных точек при наличии временных и маршрутных ограничений рассматривался в [5].

В работе представлена модель информационной системы управления системой выпуска продукции. Для качественного планирования разработки информационных систем требуется проводить системное исследование предметной области [6–8]. Будем рассматривать разработку информационной системы на примере системы выпуска пищевой продукции [9, 10]. Осуществляется выпуск  $m$  типов изделий  $\bar{y} = \{y_i\}, i = \overline{1, m}$ , где  $y_i$  – тип продукции. Вектор  $\bar{w} = \{w_i\}, i = \overline{1, m}$ , где  $w_i$  измеряется в кг, задает веса тестовых заготовок изделий. Вектор  $\bar{x} = \{x_i\}, i = \overline{1, m}$ , где  $x_i$  – производство

единиц в день, задает плановый объем выпуска продукции. Плановый объем выпуска изделий

$$Q = \bar{w}\bar{x}T, \quad (1)$$

где  $T$  – количество рабочих дней в неделе. Положим  $T = 7$ ,  $\bar{w} = \{0,5;0,5;0,3;0,3;0,3\}$ ,  $\bar{x} = \{3000;1600;150;50;50\}$ , тогда  $Q = 16625$  кг.

Бизнес-процессы предприятия можно разделить на три группы: основные процессы, вспомогательные бизнес-процессы и процессы управления.

Для разработки информационной системы предприятия необходимо автоматизировать [11–13] ряд процессов, например, для рассматриваемого предприятия – это процессы пополнения материалов, выпуска продукции и доставки ее до точек реализации [14, 15] (рис. 1).

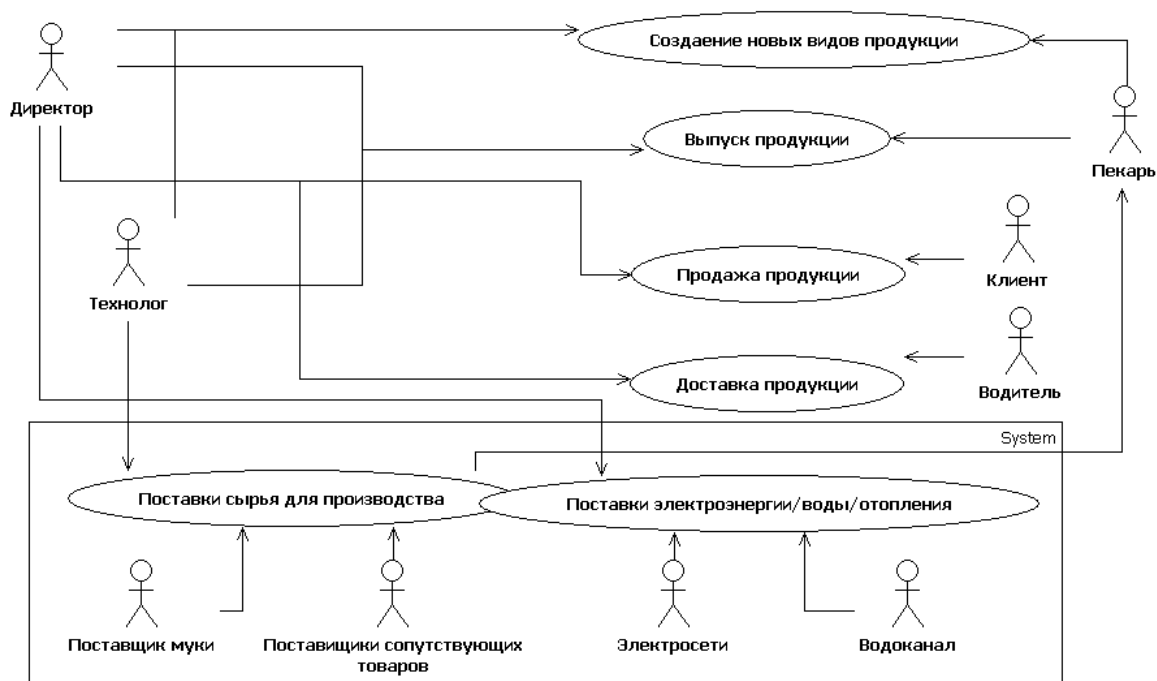


Рис. 1. Бизнес-процессы предприятия  
Fig. 1. Business processes of the enterprise

Автоматизация бизнес-процессов выполнена частично (в среде 1С), поэтому системный подход к автоматизации потенциально даст значительный прирост эффективности.

### Процессы, обеспечивающие непрерывное функционирование системы

В структуре вспомогательных процессов выделяются процесс заказа ингредиентов (см. рис. 2) и получение заказа покупателем (см. рис. 3). На процесс «заказ ингредиентов» накладываются ограничения на объем поставок  $\bar{v} = \{v_i\}, i = \overline{1, n}$ , ограничение накладывается

размером склада и на сроки годности ингредиентов  $\bar{t}_w = \{t_{wi}\}, i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – количество видов ингредиентов. Управление запасами на складах организовано по технологии страхового запаса  $\bar{r} = \{r_i\}, i = \overline{1, n}$  (определяется эмпирически). Ряд особенностей (наличие скоропортящихся продуктов (дрожжи, масло), стесненность мест хранения), поэтому пополнение запасов осуществляется с периодом  $T = 1 - 2$  недели.

Учитывая малый срок годности  $\bar{s} = \{s_i\}, i = \overline{1, m}$  изделий (до 36 часов), становит-

ся крайне важным процесс доставки. Необходимо доставить изделия до пунктов реализации  $\bar{B} = \{B_j\}, j=1, n$ , где  $n$  – количество пунктов ( $n \geq 50$ ). Нужно учитывать нестационарность  $\bar{B}$ . Автопарк  $M = \{1, 2, \dots, m\}$  представлен  $m$  транспортными средствами. В наличии имеется  $l_k$  средств доставки каждого типа  $k \in M$  с грузоподъемностью  $L_k$  кассет. Тарное место доставки по  $c_c = 16$  ячеек, доставляет 306 кассет. Достав-

ка осуществляется 2 рейсами. Первый 2 «Газельями», с загрузкой  $L_1 = 128$  кассет, второй рейс – 1 машиной, с загрузкой  $L_2 = 50$  кассет. Согласно (1), осуществляется 21 безаварийный рейс в неделю (более 1000 рейсов в год, более 350 разгрузок машины в неделю и более 18000 разгрузок в год). Процесс получения заказа покупателем начинается с получения заявки.

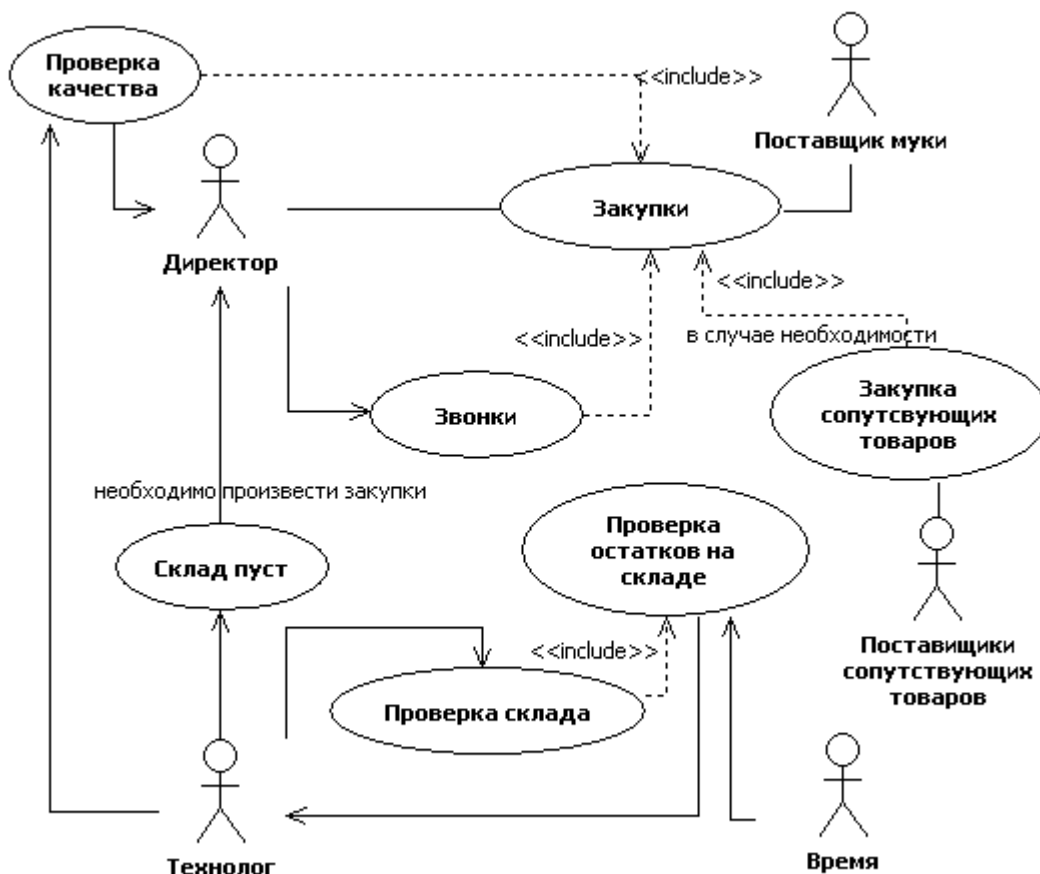


Рис. 2. Процесс пополнения материалов на складе  
Fig. 2. Material supply process

### Задача нахождения оптимального плана перевозок

В проектируемой информационной системе за процесс поставки готовой продукции отвечает подсистема маршрутизации. Вычислительный алгоритм для подсистемы маршрутизации основан на модели маршрутизации транспортных средств с применением кластеризации пунктов назначения, приведенной в [16]. Ниже приведем постановку задачи, согласно выбранной модели. Потребность  $\bar{y}_i$  для

$i \in \bar{B}$ . Для каждой пары потребителей  $i$  и  $j$  и средства доставки  $k \in M$  длина маршрута (стоимость)  $(i, j) = d_{ij}^k$ . Затраты на перевозку груза прямо пропорциональны длине маршрута и обратно пропорциональны времени его доставки, то можно принять в качестве  $d_{ij}^k$  отношение продолжительности перевозки  $t_{ij}^k$  к длине пути по маршруту  $(i, j)$ .

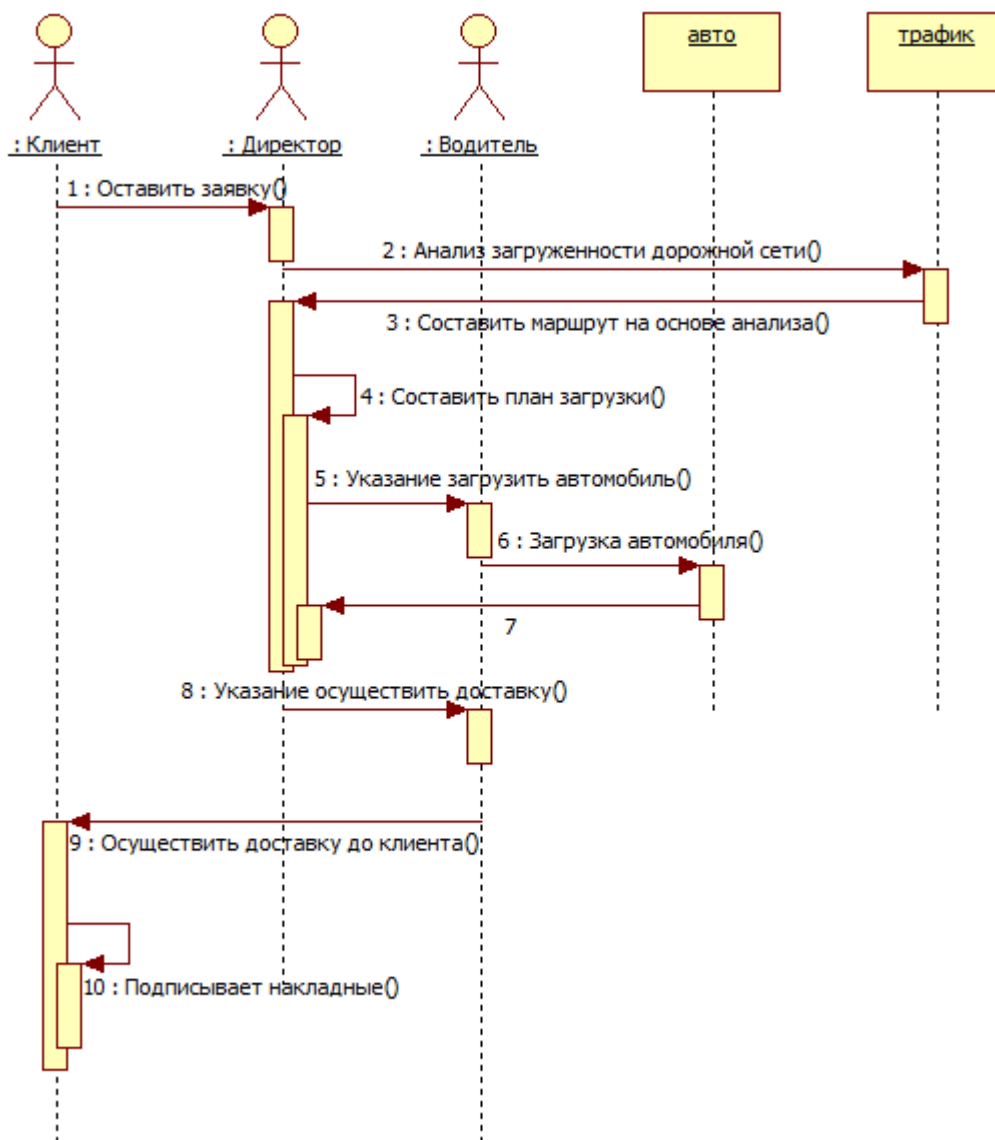


Рис. 3. Процесс поставки готовой продукции  
Fig. 3. Product's delivery process

При доставке груза  $j$ -му потребителю тратится некоторое время  $\Delta t_j^k$  на разгрузку или обслуживание, поэтому нужно увеличить время доставки  $t_{ij}^k + \Delta t_j^k$  и длину пути. Обозначим маршрут  $(R, A_l^k)$ , где  $R = (i_1, i_2, \dots, i_{|R|})$  – последовательность объезда потребителей,  $A_l^k$  – средство доставки типа  $k \in M$ , и номером  $l \in \{1, 2, \dots, l_k\}$ . При необходимости обозначим начальный пункт  $i = 0$ , возвращение в него будем рассматривать как маршрут  $R = (0, i_1, i_2, \dots, i_{|R|-2}, 0)$ . Маршрут  $(R, A_l^k)$  должен быть физически реализуем:

$$\sum_{i \in R} \sum_j y_j^i \leq L_k. \quad (2)$$

При необходимости учета времени работы точек реализации,  $[t_i^N, t_i^E]$ , устанавливается ограничение

$$t_i^N \leq T(i, A_l^k) + \Delta t_i^k \leq t_i^E, \quad (3)$$

где  $T(i, A_l^k)$  – начало разгрузки  $A_l^k$  к  $i$ -му потребителю;  $\Delta t_i^k$  – время работы на  $i$ -м пункте.

Длина пути  $D$  по маршруту  $(R, A_l^k)$  составит

$$D(R, A_l^k) = \sum d_{i_h i_{h+1}}^k, \quad (4)$$

затраты времени

$$T(R, A_l^k) = \sum_{h=0}^{|R|-1} (t_{i_h i_{h+1}}^k + \Delta t_{i_{h+1}}^k). \quad (5)$$

Общая длина пути и общие затраты времени всех маршрутов для всех средств доставки

$$D = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^{l_k} D(R, A_l^k) \quad (6)$$

и

$$T = \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^{l_k} T(R, A_l^k). \quad (7)$$

В информационной системе планируется программная реализация следующего алгоритма решения задачи маршрутизации:

1. Определение кластеров потребителей  $B$  для каждого  $l_k$  из  $M$ . В отличие от исходной модели в качестве алгоритма определения кластеров будем использовать алгоритм сферической кластеризации кластерами постоянного радиуса (см. статью авторов в № 2 этого журнала за 2018 год).

2. Определение условного минимума функции (6) при наличии ограничений по грузоподъемности (2), времени (3). Нахождение минимума функции (6) в силу ее недифференцируемости затруднено. В качестве алгоритма решения задачи условной минимизации функции (6) будет использован эволюционный подход.

Часто происходящей ситуацией в процессе получения заказа покупателем является ситуация выхода из строя транспортного средства, осуществляющего доставку (ремонт невозможен на месте поломки). В ходе практической деятельности исследуемого объекта сложились два способа решения возникающей проблемы. Одно из решений – замена транспортного средства на запасное. В таком случае, водитель может доставить заказы, продолжив выполнение своего маршрута, но с отставанием по времени. Второе решение – перегрузить оставшуюся для доставки часть продукции в автомобиль, следующий по другому маршруту, тогда водителю придется совместить два маршрута, вследствие чего происходит изменение маршрута и построение нового. Выбор сценария осуществляется в зависимости от возможности перегрузить продукцию в другой автомобиль и удаленности места поломки от места нахождения запасного автомобиля или автомобиля, следующего по другому маршруту.

После построения плана перевозок  $\{R, A\}$  эмпирически рассчитывается оптимальный маршрут до покупателей с учетом нестационарности вектора  $\bar{B}$ . Далее автомобиль выполняет доставку продукции до клиента, коррекция маршрута  $(R, A_l^k)$  производится водителем по мере прохождения маршрута, с коррекцией по трафику.

#### Управление системой объекта

Система объекта – это множество, состоящее из вектора  $y$ ,  $Q$  (определен запросами  $B$ ),  $B$ :

$$S = \{\bar{y}, Q, \bar{B}\}, \quad (8)$$

в системе ограничений:

$$\{\bar{v}, \bar{t}, \bar{r}, \bar{s}, L_k, c_c, M\}. \quad (9)$$

Управляемая система работает по технологии JIT (Just – In – Time). Следовательно, основной процесс сильно связан с результатами вспомогательных процессов [17–21], а сама система (8), (9) – сложная и многоуровневая, с активными элементами (рис. 4).

На рис. 4 через  $Q_b$  обозначен объем продукции, не прошедший контроль качества,  $Q_R$  – объем продукции, вернувшейся на склад, вследствие окончания времени реализации. Механизм обратной связи в системе управления реализован посредством передачи информации о  $Q_b$ ,  $Q_R$  и  $D$  на вход технологической системы.

Управляемой величиной является функция  $U(t)$ :

$$U(t) = \frac{Q(t) - (Q_b(t-1) + Q_R(t-1))}{D(t)} = \frac{\bar{w}(t)\bar{x}(t)T(t) - (Q_b(t-1) + Q_R(t-1))}{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^{l_k} D(R, A_l^k)(t)}, \quad (10)$$

где  $t$  – текущий момент времени,  $Q$  – максимальный недельный объем выпуска готовой продукции (1) (включает появление продукции, не проходящей контроль качества),  $D$  – минимально возможная стоимость плана перевозок (6) (включает появление объема не поставленной продукции).

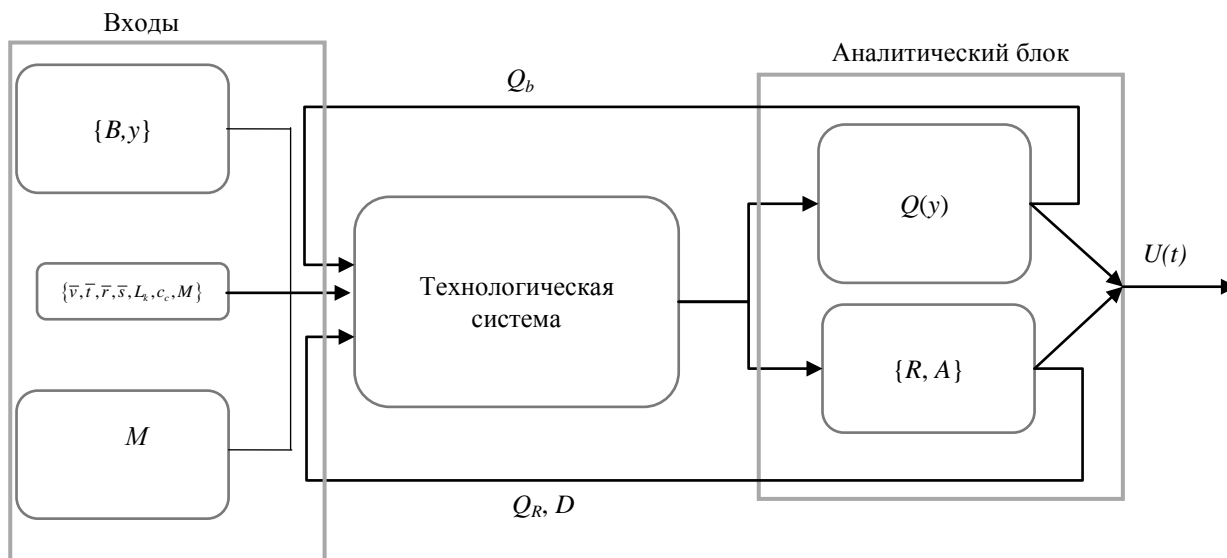


Рис. 4. Схема системы управления  
Fig. 4. Control system diagram

Система управления должна максимизировать функцию (10) в условиях системы ограничений (9) и потребностей  $B_i$  в  $\bar{y}_i$ .

В проектируемой информационной системе будет использован следующий алгоритм максимизации функции (10):

1. Строится план реализации готовой продукции на основании заказов в клиентов.

2. Находится оптимальный ( $Q \rightarrow \max$ ) план выпуска продукции. Целевая функция данной задачи (1) является линейной, ограничения на расход ресурсов заданы линейными функциями, поэтому поиск оптимального плана производства для данной задачи может быть осуществлен симплекс-методом [22].

3. По плану производства и плану реализации определяется план доставки готовой продукции по предложенному выше алгоритму маршрутизации.

4. Решается задача (6), для ее решения предлагается использовать эволюционный алгоритм [23].

#### Результаты

1. Разработана UML-модель бизнес-процессов предприятия, позволяющая применить объектно ориентированный подход к разработке информационной системы управления процессами логистики предприятия.

2. Для проектируемой информационной системы адаптирована математическая модель системы управления процессами логистики предприятия (с учетом особенностей объекта управления) (2)–(7).

2. Предложен алгоритм поддержания максимального уровня функции управления сис-

темой (10) для дальнейшей программной реализации.

3. Разработана структура базы данных для хранения информации, необходимой для функционирования системы управления, и структура объектов информационной системы для реализации алгоритмов маршрутизации, формирования производственных планов, планов закупки материалов, хранения спецификаций изделий.

4. Разработаны человеко-машинные интерфейсы для реализации информационной системы управления (в виде систем SCM, CRM, карт загрузки транспортных средств и маршрутных заданий).

#### Заключение

В ходе исследования выявлено, что задачей системы управления является поддержание максимально-возможного выпуска продукции при минимально-возможном плане перевозок. При такой постановке задачи целевая функция задана алгоритмом, состоящим из двух стадий: первая – определение максимального производственного плана выпуска продукции в условиях ограниченного спроса; вторая – определение минимального плана перевозок, в соответствии с планом выпуска продукции. Данная задача является задачей многокритериальной дискретной оптимизации. После исполнения плана выпуска и перевозок необходимо осуществить их корректировку путем внесения изменений в матрицу  $Y$  заказов клиентов, векторы  $\bar{B}$  – вектор клиентов и  $\bar{x}$  – плановый объем выпуска готовой продукции. Корректировка должна осуществляться путем применения че-

ловеко-машинных процедур принятия решений [24]. Дальнейшая автоматизация бизнес-процессов предприятия и анализ накопленных данных о работе алгоритма управления позволят внести коррективы в модель и систему управления процессами предприятия для управления составом точек реализации, объемом и ассортиментом поставляемой к ним продукции с целью увеличения прибыли предприятия.

#### Библиографические ссылки

1. Дубаневич Л. Э., Ильченко С. В. Оптимизация логистической цепи как способ повышения эффективности управления транспортной логистикой на предприятии // Экономика и управление в машиностроении. 2020. № 2. С. 13–15.
2. Земцова Е. М. Снижение логистических затрат в АО «НПК «Уралвагонзавод» // Вестник Челябинского государственного университета. 2019. № 3. С. 183–189.
3. Габдулхаков А. А., Завалищин Д. С. Динамическая оптимизация сложных маршрутов в транспортной логистике // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 5. С. 33–38.
4. Panyukov A. V., Pivovarova Yu. V., Chaalob Kh. Z. Mathematical model for solving operational problem of regional cargo transportation // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2019. № 1. С. 68–73. DOI: 10.14529/jcem190107.
5. Многокритериальная оптимизация логистических маршрутов сбора и вывоза твердых бытовых отходов / А. Г. Мурлин, В. А. Мурлина, М. В. Янаева, С. В. Кривоногов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. № 2. С. 92–104. DOI: 10.17122/1999-5458-2019-15-2-92-104.
6. About OMG. URL: <http://www.omg.org/getting-started/gettingstartedindex.htm> (дата обращения: 20.02.2021).
7. What is UML? URL: <http://www.uml.org/what-is-uml.htm> (дата обращения: 20.02.2021).
8. Благодатский Г. А., Горохов М. М., Тенев В. А. Программно-инструментальные средства повышения эффективности внутренних бизнес-процессов предприятий. Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2015. – 188 с.
9. Благодатский Г. А., Горохов М. М., Докучаев Д. Е. Разработка UML-модели классов для предприятий пищевой промышленности по технологии OMG RUP // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2017. № 4. С. 86–90.
10. Благодатский Г. А., Докучаев Д. Е. Разработка модели прецедентов предприятий пищевой промышленности // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. № 2. С. 153–165.
11. Kuo, T.-C., Hsu, N.-Y., Li, T.Y., Chao, C.-J., Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints. // 2021 Journal of Manufacturing Systems 60, 152-161 с. DOI 10.1016/j.jmsy.2021.05.009.
12. Ioannidis, S., Xanthopoulos, A.S., Sarantis, I., Koulouriotis, D.E., Joint production, inventory rationing, and order admission control of a stochastic manufacturing system with setups // Operational Research 21(2) – 2021, 827-855 с. DOI 10.1007/s12351-019-00465-5.
13. Klumpp, M., Hesenius, M., Meyer, O., Ruiner, C., Gruhn, V. Production logistics and human-computer interaction-state-of-the-art, challenges and requirements for the future // International Journal of Advanced Manufacturing Technology 105(9) – 2019, 3691-3709 с. DOI 10.1007/s00170-019-03785-0.
14. Usov, A.V., Niekrasova, L.A., Dašić, P.V. Management of development of manufacturing enterprises in decentralization conditions // Management and Production Engineering Review 11(4) – 2020, 46-55 с. DOI 10.24425/mp.2020.136119.
15. Aramja, A., Kamach, O., Elmeziane, R. Companies' perception toward manufacturing execution systems // International Journal of Electrical and Computer Engineering 11(4) – 2021, 3347-3355 с. DOI 10.11591/ijece.v11i4.pp3347-3355.
16. Тенев В. А., Шаура А. С., Шаура Д. С. Эволюционный подход к решению задачи маршрутизации транспортных средств // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. № 4 (17). С. 143–148. DOI: 10.22213/2410-9304-2019-4-143-148.
17. Laumal, F.E., Wabang, J.A., Suharto, R.S.B., Plaimo, P.E., Ndoloe, L.A. Development of Web-based Coffee Management Information System to support the Management of Regional Superior Products // Journal of Physics: Conference Series 1424(1),012008. – 2019. DOI 10.1088/1742-6596/1424/1/012008.
18. Kremeneckaya M., Abramov G. System for managing common information space of a machinery production enterprise // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 666 (1), 012061. – 2019. DOI 10.1088/1757-899X/666/1/012061.
19. Ikonnikov, O.A., Yezhemanskaya, S.N., Korpacheva, L.N., Kuzmich, R.I., Yurdanova, V.N. Information system for managing material flows of manufacturing enterprise // Journal of Physics: Conference Series 1399(3),033070. – 2019 DOI 10.1088/1742-6596/1399/3/033070.
20. Krotova, S.Y., Ovchinnikova, E.N., Sarapulova, T.V., Remizova, I.V. Production automation system for company manufacturing oil country tubular goods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 976(1), 012004. – 2020. DOI 10.1088/1757-899X/976/1/012004.
21. Amran, T.G., Azmi, N., Surjawati, A.A. Information system and website design to support the automotive manufacture ERP system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 277(1),012007. – 2017. DOI 10.1088/1757-899X/277/1/012007.
22. Dantzig George. Origins of the simplex method // A History of Scientific Computing (PDF). – New York: Association for Computing Machinery, 1990, pp. 141–151. DOI 10.1145/87252.88081.

23. Батищев Д. И., Неймарк Е. А., Старостин Н. В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. Н. Новгород : Изд-во НГУ им. Лобачевского, 2007. 88 с.

24. Степанов А. В. Человеко-машинная процедура принятия решений в задачах векторной оптимизации // Математическое моделирование. 1991. № 5 (3). С. 61–73.

### References

1. Dubanevich L.E., Ilchenko S.V. [Optimization of the supply chain as a way to improve transport logistics management efficiency at the enterprise]. Economics and management in engineering. 2020. No. 2. Pp. 13-15 (in Russ.).

2. Zemcova E.M. [Reduction of logistic costs in JSC NPK URALVAGONZAVOD]. Bulletin of Chelyabinsk State University. 2019. No. 3. Pp. 183-189 (in Russ.).

3. Gabdulhakov A.A., Zavalishhin D.S. [Dynamic optimization of complex routes in transport logistics]. Modern high technologies. 2021. No. 5. Pp. 33-38 (in Russ.).

4. Panyukov A. V., Pivovarov Yu. V., Chaalob Kh. Z. Mathematical model for solving operational problem of regional cargo transportation // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2019. No. 1. Pp. 68-73. DOI: 10.14529/jcem190107.

5. Murlin A.G., Murlina V.A., Janaeva M.V., Krivonogov S.V. [Multicriteria optimization of logistic routes of collecting and export of municipal solid waste]. Electrical and data processing facilities and systems. 2019. No. 2. Pp. 92-104 (in Russ.). DOI: 10.17122/1999-5458-2019-15-2-92-104.

6. About OMG. Available at: <http://www.omg.org/gettingstarted/gettingstartedindex.htm> (date of access 20.02.2021).

7. What is UML? Available at: <http://www.uml.org/what-is-uml.htm> (date of access 20.02.2021).

8. Blagodatsky G.A., Gorokhov M.M., Tenenev V.A. *Programmno-instrumental'nye sredstva povysheniya jeffektivnosti vnutrennih biznes-processov predpriyatij* [Software and tools for increasing the efficiency of internal business processes of enterprises]. Izhevsk: Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, 2015. 188 p. (in Russ.).

9. Blagodatsky G.A., Gorokhov M.M., Dokuchaev D.Ye. [Development of UML-model of classes for food industry enterprises using OMG RUP technology]. // *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*. – 2017. No. 4. from. 86-90.

10. Blagodatsky G.A., Dokuchaev D.Ye. [Development of a model of precedents for food industry enterprises]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*. 2017. No. 2. Pp. 153-165 (in Russ.).

11. Kuo, T.-C., Hsu, N.-Y., Li, T.Y., Chao, C.-J., Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of

constraints. In 2021 Journal of Manufacturing Systems 60, 152-161 p. DOI 10.1016/j.jmsy.2021.05.009.

12. Ioannidis, S., Xanthopoulos, AS, Sarantis, I., Koulouriotis, DE, Joint production, inventory rationing, and order admission control of a stochastic manufacturing system with setups. In Operational Research 21 (2) 2021, 827- 855 s. DOI 10.1007 / s12351-019-00465-5.

13. Klumpp, M., Hesenius, M., Meyer, O., Ruiner, C., Gruhn, V. Production logistics and human-computer interaction - state-of-the-art, challenges and requirements for the future. In International Journal of Advanced Manufacturing Technology 105 (9) - 2019, 3691-3709 p. DOI 10.1007 / s00170-019-03785-0.

14. Usov, A.V., Niekrasova, L.A., Dašić, P.V. Management of development of manufacturing enterprises in decentralization conditions. In Management and Production Engineering Review 11 (4) - 2020, 46-55 p. DOI 10.24425 / mper.2020.136119.

15. Aramja, A., Kamach, O., Elmezziane, R. Companies' perception toward manufacturing execution systems. In International Journal of Electrical and Computer Engineering 11 (4) - 2021, 3347-3355 pp. DOI 10.11591 / ijece.v11i4.pp3347-3355.

16. Tenenev V.A., Shaura A.S., Shaura D.S. [An evolutionary approach to solving the problem of routing vehicles]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2019. No. 4 (17). Pp. 143-148 (in Russ.). DOI: 10.22213 / 2410-9304-2019-4-143-148.

17. Laumal, F.E., Wabang, J.A., Suharto, R.S.B., Plaimo, P.E., Ndoloe, L.A. Development of Web-based Coffee Management Information System to support the Management of Regional Superior Products. In Journal of Physics: Conference Series 1424 (1), 012008 - 2019. DOI 10.1088 / 1742-6596 / 1424/1/012008.

18. Kremeneckaya, M., Abramov, G. System for managing common information space of a machinery production enterprise. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 666 (1), 012061 - 2019. DOI 10.1088 / 1757-899X / 666 / 1/012061.

19. Ikonnikov, O.A., Yezhemanskaya, S.N., Korpacheva, L.N., Kuzmich, R.I., Yurdanova, V.N. Information system for managing material flows of manufacturing enterprise // Journal of Physics: Conference Series 1399 (3), 033070 - 2019 DOI 10.1088 / 1742-6596 / 1399/3/033070.

20. Krotova, S.Y., Ovchinnikova, E.N., Sarapulova, T.V., Remizova, I.V. Production automation system for company manufacturing oil country tubular goods // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 976 (1), 012004 - 2020 DOI 10.1088 / 1757-899X / 976/1/012004.

21. Amran, T. G., Azmi, N., Surjawati, A.A. Information system and website design to support the automotive manufacture ERP system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 277 (1), 012007 - 2017 DOI 10.1088 / 1757-899X / 277/1/012007.

22. Dantzig George. Origins of the simplex method // A History of Scientific Computing (PDF). – New York: Association for Computing Machinery, 1990, – Pp. 141-151. DOI 10.1145 / 87252.88081.



23. Batishchev D.I., Neimark E.A., Starostin N.V. *Primenenie geneticheskikh algoritmov k resheniju zadach diskretnoj optimizacii* [Application of genetic algorithms to solving discrete optimization problems]. N. Novgorod: Publishing house of NSU im. Lobachevsky, 2007. 88 p. (in Russ.).

24. Stepanov A.V. [Human-machine decision-making procedure in vector optimization problems]. *Mathematical modeling*. 1991. No. 5. Pp. 61-73 (in Russ.).

\*\*\*

### Model of the Information System for Management of Logistics Processes in the Food Industry

G. A. Blagodatsky, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia  
M. M. Gorokhov, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia  
D. E. Dokuchaev, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia  
L. G. Saetova, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*The information management system for bakery serial production is presented. The object system is the technical means for the release and delivery of products to consumers, a range of products, a production plan (formed by the demand for products), a set of points of sale of products, and a graph of transport infrastructure. The capabilities of the warehouses of the system are limited, raw and other materials are perishable (storage periods are calculated in days), the number of delivery vehicles to the points of sale is small ( $<3$ ), the needs of consumers are low (single demand for products), the number of points of sale is large ( $\approx 10^2$ ), the shelf life is short (2-3 days). The controlled variable is the function  $U(t)$  - the ratio of the volume of weekly delivered product (taking into account the return of unsold products and volume of manufacturing defects) to the delivery cost. The control system is tasked with maintaining the maximum possible level of the function  $U$ . An algorithm for solving the problem of maximizing the function  $U$  is proposed, which consists in the following: 1) determine the maximum production plan, 2) determine the minimum delivery plan (monitoring the implementation of production and transportation plans gives feedback in the form of volumes of products that have not passed quality control  $Q_b$  and have not been delivered to consumers  $Q_R$ ), 3) feedback information is used to adjust production and transportation plans by applying man-machine decision-making procedures. To solve this problem, automation is required through the development and implementation of specialized software. A systematic approach to the development of information support involves the analysis of business processes of the enterprise. The critical processes to ensure the continued operation of the system are: "Supply of raw materials for production" and "Delivery of finished products to consumers". The task of ensuring timely replenishment of the warehouse is solved by the implementation of a supplier management system (SCM). The task of ensuring the delivery of finished products is solved by finding the optimal transportation plan. An adaptation of the algorithm for solving the problem of products transportation is presented. An algorithm for handling an emergency situation with the redistribution of cargo in the event of a vehicle breakdown during a voyage has been formalized.*

**Keywords:** modeling, business processes, logistics, food industry, routing, transport.

Получено: 17.06.2021