

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМ КОМПЛЕКСОМ¹

Николюкин М.С.², Обухов А.Д.³, Алексеев В.В.⁴

Ключевые слова: объектно-ориентированная модель, складской комплекс, система управления, экспертная система, принимающее решение лицо, алгоритм, программное обеспечение, эффективность, оптимизация.

Аннотация

Цель работы: развитие нормативно-методической базы оптимизации и оценки эффективности функционирования системы управления складским комплексом.

Методы исследования: системный анализ, информационно-математическое моделирование и синтез систем управления, логистический аудит и повторное технологическое проектирование.

Результаты: построена объектно-ориентированная модель поддержки принятия решений в системе управления складским комплексом, реализованная в виде экспертной системы с использованием машинного зрения и нейросетевых технологий для сбора и анализа данных о текущем состоянии складского комплекса. Применение модели обеспечивает автоматизацию процедуры оценки качества выполнения технологических операций человеком-оператором и оптимальное управление складским комплексом в целом.

EDN: KQBVSP

Введение

В современных условиях, когда автоматизированные и автоматические системы становятся всё более распространенными, работники склада всё ещё остаются активными участниками бизнес-процессов.

Проблема высоких трудовых и производственных затрат, вызываемых ошибками персонала, становится все более актуальной в связи с ростом объема хранимого товара. Наиболее затратные ошибки возникают в технологическом процессе (приемке, размещении на местах хранения, отборе, подготовке к отгрузке и отгрузке). Для решения этих проблем, как правило, проводится логистический аудит или повторное технологическое проектирование. Однако все больше организаций прибегают к использованию систем управления складским комплексом (СУСК).

Несмотря на внедрение СУСК в технологический процесс функционирования склада [6], это не защищает от ошибок, например, при размещении материальных ценностей или их отборе с последующей упаковкой. Для их решения необходимо улучшать СУСК и добавлять в них обучающие или советующие модули. Полноценное и длительное обучение невозможно из-за интенсивного процесса смены персонала, отсутствия квалифицированных инструкторов, а проведение мероприятий для подготовки новых работников на реальном складском комплексе может привести к приостановке текущих бизнес-процессов, которые имеют непрерывный характер.

Советующие модули СУСК могут быть реализованы в виде экспертной системы и использовать машинное зрение и нейронные сети [2] для сбора данных о текущем состоянии складского комплекса и их анализа. Это позволит автоматизировать процесс оценки качества

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проекта № 122012100103-9 — «Разработка медицинских VR тренажерных систем для обучения, диагностики и реабилитации».

² **Николюкин Максим Сергеевич**, ассистент кафедры систем автоматизированной поддержки принятия решений Тамбовского государственного технического университета, г. Тамбов, Российская Федерация.
E-mail: ch1ppryone@mail.ru

³ **Обухов Артём Дмитриевич**, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры систем автоматизированной поддержки принятия решений Тамбовского государственного технического университета, г. Тамбов, Российская Федерация.
E-mail: obuhov.art@gmail.com

⁴ **Алексеев Владимир Витальевич**, доктор технических наук, профессор, почетный радист РФ, академик РАЕН, заведующий кафедрой информационных систем и защиты информации Тамбовского государственного технического университета, г. Тамбов, Российская Федерация.
E-mail: vvaalex1961@yandex.ru

выполнения технологических процессов человеком-оператором.

Поскольку в организации функционирования складского комплекса, с одной стороны, предъявляются конкретные нормативные требования, сформированные в соответствующих документах (СНИП 2.11.01-85, ГОСТ Р 59282—2020), был проведен анализ существующей *нормативно-правовой базы* использования складского комплекса для учета в модели наиболее важных требований. С другой стороны, трактовка отдельных терминов в этих нормативных актах неоднозначна, и в этой среде анализ нормативно-правовой базы необходим для устранения неоднозначной трактовки терминов и определений.

Существующие подходы к построению СУСК

В настоящее время в нормативных документах по складскому хранению нет единого понятия «склада» [12]. Анализ содержания приведенных источников и предметной области в целом позволяет сделать вывод, что все существующие понятия можно объединить в три группы:

1. Понятие «склад», закрепленное в ст. 907 ГК РФ: товарным складом признается организация, осуществляющая хранение товаров в качестве предпринимательской деятельности и оказывающая связанные с хранением услуги [5].

2. Понятие «склада» как режима, используемое в таможенном и налоговом законодательстве [4].

3. Понятие «склада» как специального места, где осуществляется хранение определенных товаров [1].

Действующее законодательство РФ в области создания и функционирования складских комплексов практически не содержит отдельных нормативных правовых актов, посвященных товарному складу. Часто требования к складской деятельности указываются в общих требованиях к предпринимательской деятельности, таких как нормативные акты, содержащие строительные и санитарные нормы и правила, устанавливающие правила пожарной безопасности и др.

Для эффективного управления складом на предприятиях внедряются СУСК. Их работу, а также функциональные требования к таким системам как к классу информационных технологий регламентирует ГОСТ Р 59282—2020 [7].

СУСК функционирует в рамках системной среды предприятия и связывается со смежными системами через различные интерфейсы. Положение СУСК в ИТ-иерархии ориентировано на задачи и основные функции задействованных *программных систем*. Точная спецификация или конфигурация отдельных систем и их системных границ вытекают из индивидуальных требований к проекту внедрения и функционирования СУСК, и это учтено при построении модели. СУСК, как правило, интегрируется с другими подсистемами, которые непосредственно управляют автоматическим и роботизированным складским оборудованием (конвейерное и стеллажное оборудование, сортировщики, роботы-сборщики заказов и техника для упаковки, штрих-коды и сканеры *RFID* и др.) [11, 16].



Рис. 1. Взаимодействие СУСК с системной средой предприятия

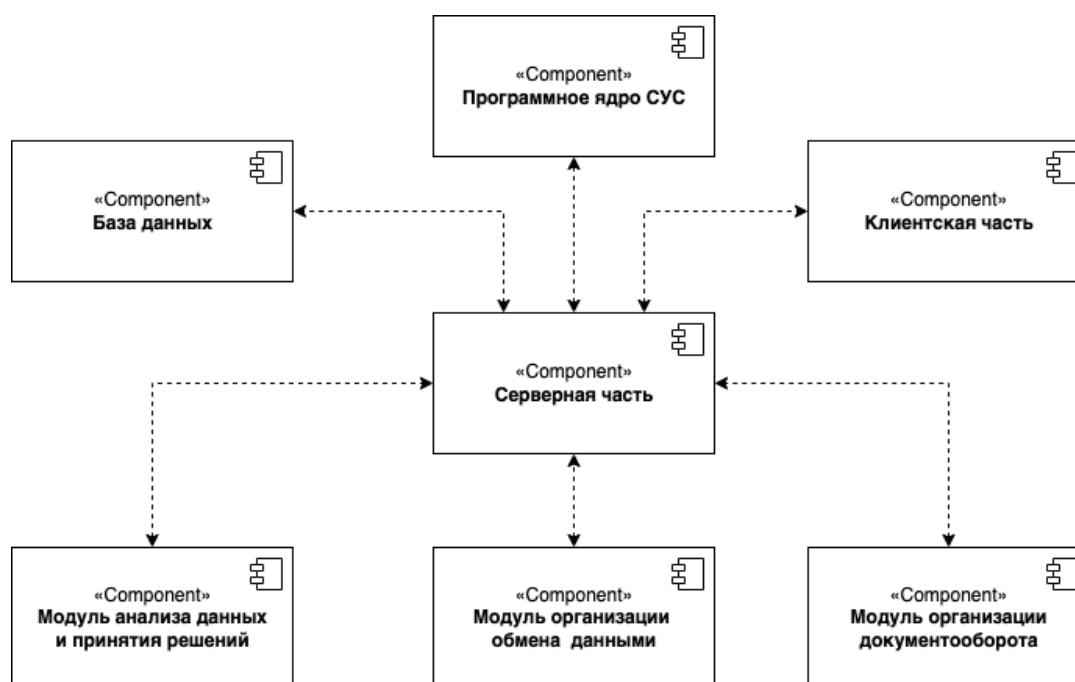


Рис. 2. Диаграмма компонентов типовой СУСК

На рис. 1 представлен процесс взаимодействия СУСК с системной средой предприятия. Показано, как данные из ERP-системы могут быть отправлены в СУСК через двунаправленный интерфейс. СУСК, в свою очередь, может взаимодействовать со складским оборудованием и системой контроля потоков материалов, обмениваясь информацией в обе стороны. То есть СУСК играет важную роль в системной среде предприятия, поскольку она обеспечивает интеграцию различных систем и обеспечивает эффективный контроль и управление процессами на предприятии [3].

Анализ структуры модели СУСК позволил выявить новые особенности, которые могут быть использованы для совершенствования направлений развития СУСК [17]. Для достижения этой цели была сформулирована задача построения модели, включающей соответствующие модули. Решение этой задачи потребовало применения технологий искусственного интеллекта, включая экспертные системы [10], машинное зрение [9] и нейронные сети [18]. В качестве методической основы был выбран объектно-ориентированный подход. В результате была создана объектно-ориентированная модель, способствующая более эффективному использованию складского комплекса на предприятиях и являющаяся основой внедрения СУСК.

Направления совершенствования СУСК

Опыт как в России, так и за рубежом демонстрирует, что использование СУСК на складских комплексах обеспечивает явное преимущество перед традиционными методами и снижает затраты, связанные с технологическими ошибками, возникающими на всех этапах работы человека-оператора [13].

На мировом рынке программного обеспечения представлено множество программных решений СУСК. Учитывая необходимость в импортозамещении, использование зарубежных систем не является оправданным, поэтому большинство складских комплексов переходят на отечественные программные решения.

СУСК, представленные на российском рынке программных решений (1С WMS Логистика, InStock WMS, Solvo.WMS), активно внедряются и работают [13a]. Однако в них, как правило, отсутствуют модули, которые могли бы снизить процент ошибок, возникающих из-за плохой подготовки персонала к исполнению технологических процессов, за счет своевременного предупреждения или рекомендаций [8].

Для снижения количества ошибок предлагается модернизировать структуру типовой СУСК, изображенной на рис. 2, с последующим внедрением соответствующего модуля на основе экспертной системы (ЭС).

На основе построенной структурной модели СУСК и диаграммы компонентов разработана объектно-ориентированная модель модифицированной СУСК.

Постановка задачи на разработку модели модифицированной СУСК

В соответствии с целью исследования сформулирована задача: на основе существующих типовых моделей в предметной области СУСК необходимо осуществить системный анализ программных объектов и возможные действия субъектов (пользователей) СУСК, после чего разработать объектно-ориентированную модель СУСК. На решение задачи накладываются следующие функциональные ограничения:

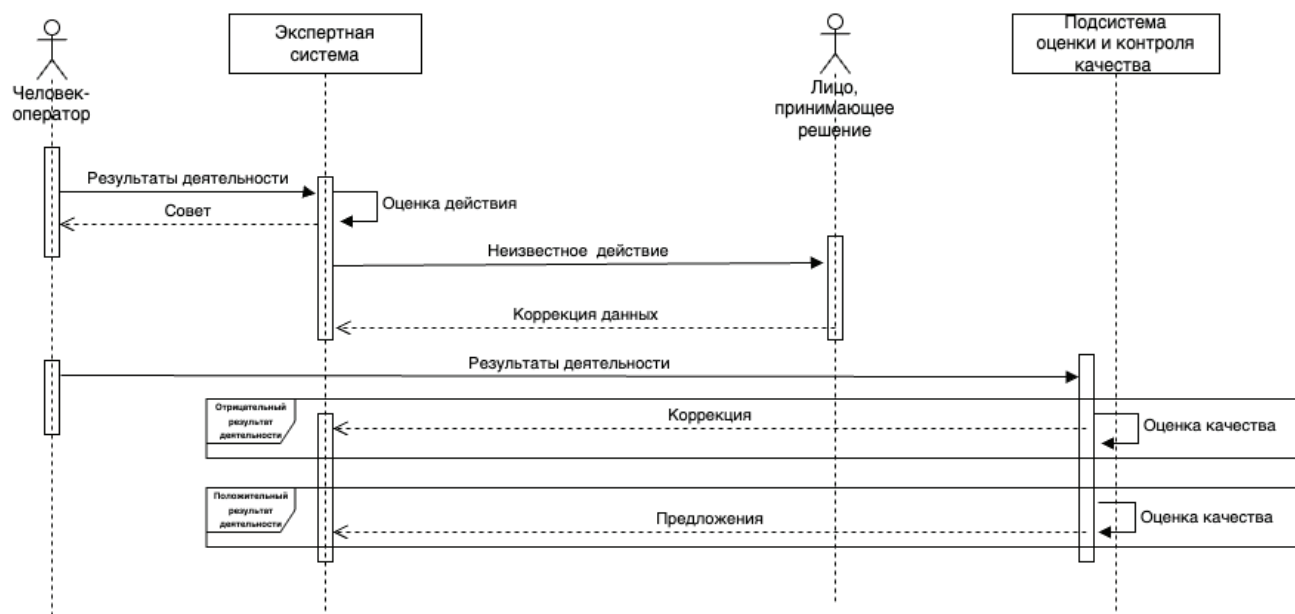


Рис. 3. Диаграмма последовательности

- работоспособность ЭС при произвольных действиях (действия, на которые у ЭС нет заготовленных решений) человека-оператора может поддерживаться адекватными корректирующими воздействиями, сформированными лицом, принимающим решение (ЛПР);
- комплексность оценки деятельности человека-оператора обеспечивается на основе набора метрик, позволяющих классифицировать ее результаты на положительные и отрицательные;
- адаптивность СУСК обеспечивается на основе корректировки алгоритмов функционирования ЭС на основе положительных или отрицательных результатов деятельности человека-оператора;
- реализация возможности определять параметры, способствующие снижению затратных ошибок, связанных с технологическим процессом (приемка, размещение на местах хранения, отбор, подготовка к отгрузке и отгрузка).

В качестве *показателей оптимальности* полученной объектно-ориентированной модели используются показатели:

- *связности* (мера силы взаимосвязанности элементов внутри модуля);
- *зацепления* (мера того, насколько взаимозависимы разные подпрограммы или модули).

В качестве исходных данных для разработки оптимальной объектно-ориентированной модели использованы типовая структура СУСК, требования нормативно-правовых документов, а также ее основные компоненты (объекты, процессы, сообщения и возвращаемые значения) и связи между ними (интерфейсы), при которых показатели достигают оптимальных значений.

Построение объектно-ориентированной модели СУСК

Перед реализацией *советующего* модуля и его внедрением в структуру СУСК была построена объектно-ориентированная модель с использованием *UML* и его диаграмм последовательности и компонентов [14], основным элементом которой является диаграмма последовательности (рис. 3).

Данные о работе оператора собираются и передаются в ЭС. Затем происходит оценка его действий, и оператор получает ответ в виде совета-рекомендации по дальнейшей работе. Если ЭС не может оценить действие, то исходные данные и условия решения задачи корректируются, и генерируются новые возможные варианты решений.

Для оценки контроля работы человека-оператора использовался следующий набор метрик, учитывающий особенности функционирования технологии компьютерного зрения и процессов обработки видеоданных:

1. Процент выполнения задач (*Pct*):

$$Pct = \frac{Ttcn}{Tn} * 100,$$

где *Ttcn* — количество правильно выполненных задач; *Tn* — общее количество задач (разбиение может быть следующим: 0—25% — очень низкое, 26—50% — низкое, 51—75% — среднее, 76—100% — высокое).

2. Эффективность движений (*ME*):

$$ME = \frac{Mtn}{Mn} * 100,$$

где *Mtn* — количество целевых движений (движения, которые напрямую связаны с выполнением задачи); *Mn* — общее количество движений (категоризация: 0—25% — очень низкое, 26—50% — низкое, 51—75% — среднее, 76—100% — высокое).

3. Темп выполнения задач (Tr):

$$Tr = \frac{Tcn}{t},$$

где Tcn — количество выполненных задач; t — общее рабочее время (категоризация: 0—10 — очень низкий, 11—20 — низкий, 21—30 — средний, 31 и более — высокий. Например, если за восьмичасовой рабочий день оператор выполнил 80 задач, скорость выполнения задач будет 10 задач в час).

4. Соблюдение норм безопасности (Saf):

$$Saf = \frac{SafTN}{SafN} * 100,$$

где $SafTN$ — количество случаев соблюдения правил безопасности; $SafN$ — общее количество наблюдений (категоризация: 0—25% — очень низкое, 26—50% — низкое, 51—75% — среднее, 76—100% — высокое).

5. Уровень концентрации (Cl):

$$Cl = \frac{\sum_i^t cli}{t} * 100,$$

где cli — время концентрации конкретного человека-оператора; t — общее рабочее время (категоризация: 0—25% — очень низкое, 26—50% — низкое, 51—75% — среднее, 76—100% — высокое).

6. Степень усталости (Tir). Эта метрика может быть субъективной и основана на наблюдениях за состоянием оператора (категоризация: 1 (оператор выглядит бодрым и энергичным) — очень низкая, 2 — низкая, 3 — средняя, 4 — высокая, 5 (оператор выглядит очень усталым) — очень высокая).

Для получения обобщенного показателя эффективности оператора Eff можно использовать композитную метрику, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$Eff = w1 * Pct + w2 * Me + w3 * Tr + w4 * Saf + w5 * Cl + w6 * Tir,$$

где $w1, w2, w3, w4, w5, w6$ — весовые коэффициенты, отражающие важность каждой метрики в контексте общей эффективности.

Полученное значение можно затем перевести в шкалу эффективности, которую можно представить следующим образом: 0—20 — очень низкая, 21—40 — низкая, 41—60 — средняя, 61 — 80 — высокая, 81 — 100 — очень высокая эффективность. Данная шкала позволяет с достаточной точностью оценить уровень эффективности работы оператора и принимать соответствующие обоснованные управленческие решения.

Подсистема оценки качества собирает данные о работе оператора и оценивает их по критериям в фоновом режиме. Если работа оценивается как положительная, то предлагаются дополнительные рекомендации по ее оптимизации в целях дальнейшего улучшения работы. При негативной оценке происходит корректировка работы ЭС.

Для организации процесса принятия решений о возможности возникновения ошибок человека-оператора в СУСК реализуется алгоритм, учитывающий оценки состояния объектов складского комплекса и действий человека-оператора, основанный на обу-

чении нейронной сети в сочетании с использованием данных, смоделированных в виртуальной (имитационной) среде.

На первом этапе формализуются основные объекты имитационной среды. Так как процесс отслеживания действий в СУСК реализуется посредством камер наблюдения за рабочей зоной складского комплекса, то основой процедуры сбора и обработки информации являются технологии компьютерного зрения [15]. Введем следующие обозначения.

Пусть задана некоторая имитационная среда с набором состояний E . В каждый момент времени среда может принимать различные состояния $e_t \in E$. Так как имитационная среда будет обрабатываться алгоритмами компьютерного зрения, то под состоянием среды обозначим некоторую конечную последовательность данных, извлеченных из кадра $f_t \in F$ в момент времени t (где T — множество отслеживаемых моментов времени). Таким образом, получим отображение: $e_t \rightarrow f_t, t \in T$.

Далее, каждому кадру соответствует кортеж его характеристик $f_t \rightarrow \langle pix_t, sz_x, sz_y \rangle$, где pix_t — множество значений пикселей кадра; sz_x, sz_y — размер кадра.

Передавая каждый кадр в различные алгоритмы компьютерного зрения, можно извлечь информацию об объектах X среды. То есть существует отображение $f_t \rightarrow \{x_i\}$. Каждому из этих объектов $x_i \in X$ соответствует некоторое графическое (визуальное) представление v_i в кадре f_t , k_n — тип объекта и состояние s_j . Получим, что $x_i = \langle s_j, k_n, v_i \rangle$.

Графическое представление v_i включает положение объекта в пространстве (кадре), а также его размеры. Анализ графических представлений позволяет сделать выводы о близости объектов, их пересечениях, взаимодействиях.

Тип объекта k_n , выбранный из некоторого множества анализируемых типов объектов, позволяет определить качественные характеристики графического представления: вместо абстрактных объектов анализируется взаимодействие объектов определенных категорий, что используется для оценки состояния складского комплекса (разрешенные или запрещенные взаимодействия, попадание объектов определенных категорий/типов в запрещенные зоны и др.).

Состояние объекта s_j определяет его текущее поведение и характеристики и выбирается из некоторого множества возможных состояний, к которым может относиться как оценка нормальности объекта (штатное или аварийное состояние), так и характеристика деятельности объекта (неподвижное, движение, взаимодействие с другими объектами). Для оценки состояния имеет смысл обрабатывать не единичный кадр, а некоторую их последовательность для выявления динамики перемещения или изменения положения объектов.

В рамках данного исследования на этапе сбора данных вводилось допущение, что в процессе принятия решений [10] возможно сопоставить данные ре-

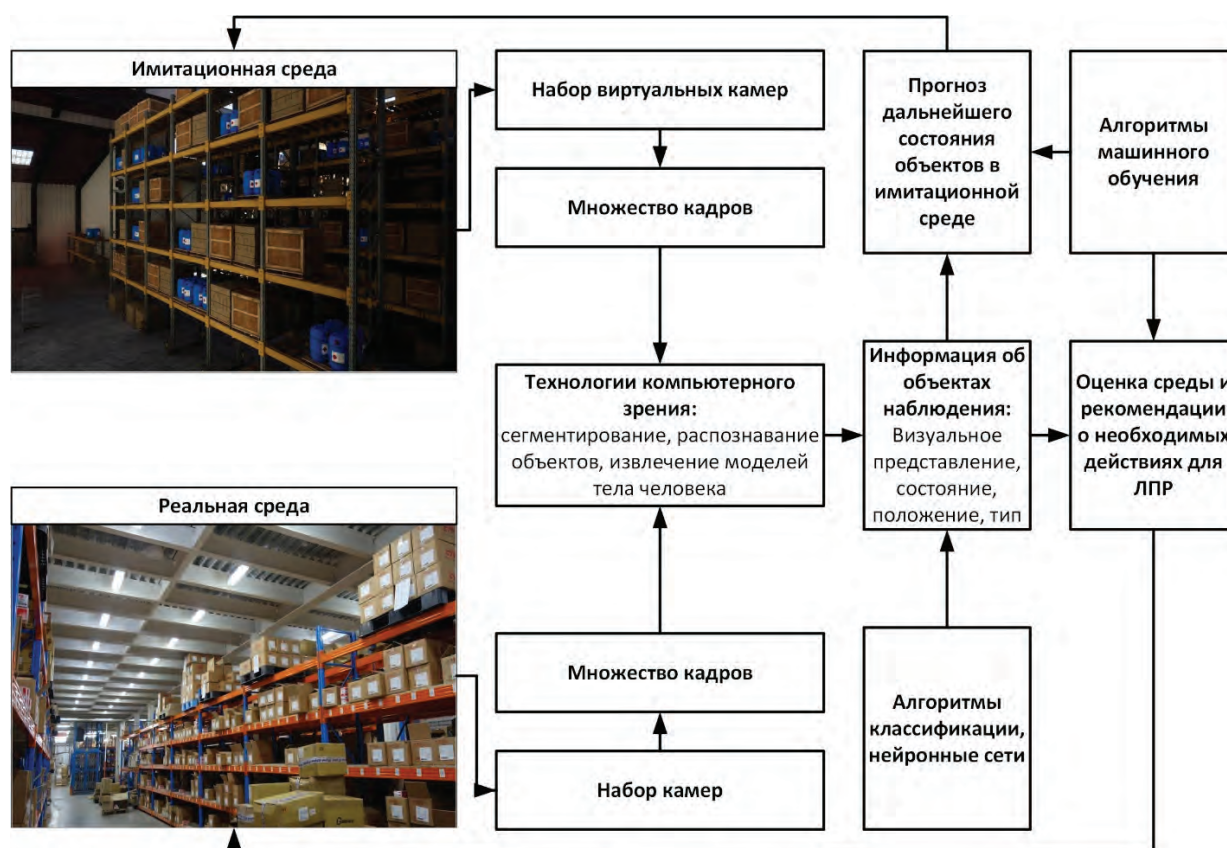


Рис. 4. Алгоритм сбора и принятия решений на основе технологий машинного обучения и компьютерного зрения

ального мира и полученные из имитационной среды. Это позволяет установить двустороннюю связь между реальной средой складского комплекса и имитационной, реализуемой на основе некоторой графической среды. Тогда захват информации из реального мира может использоваться для моделирования состояния имитационной среды и, наоборот, реакция виртуальных объектов может быть спроецирована на реальный мир с целью принятия решений в режиме реального времени.

Тогда алгоритм принятия решений примет следующий вид (рис. 4). Рассмотрим все его этапы.

Первым этапом алгоритма является сбор данных от имитационной и, при возможности, реальной среды. С помощью камер (в случае имитационной среды в качестве таковых выступают виртуальные камеры, фиксирующие события среды аналогично реальным) формируется множество кадров, содержащих объекты складского комплекса.

Использование технологий компьютерного зрения позволяет сегментировать и распознать эти объекты в кадрах, тем самым сформировав множество графических (визуальных) представлений. Далее различные алгоритмы машинного обучения, например, нейронные сети, используются для классификации данных объектов по типам, после чего — по состояниям. Собранная информация группируется по объектам, формируя кортежи, обозначенные ранее.

Далее информация об объектах наблюдения может использоваться в двух сценариях: для прогнозирования или для принятия решений. В первом случае собранные данные передаются в имитационную среду и с использованием различных алгоритмов машинного обучения, осуществляющих аппроксимацию регрессионных зависимостей, преобразуются в прогноз следующих положений или состояния объектов наблюдения с некоторым шагом τ .

Следовательно, нейронные сети или иные алгоритмы осуществляют отображение:

$$ML: \{x_i | f_t \rightarrow \{x_i\}\} \rightarrow \{x_i | f_{t+\tau} \rightarrow \{x_i\}\}.$$

Полученные прогнозные состояния объектов наблюдения используются для дальнейшего анализа как текущие, что позволяет снизить программную задержку или использовать полученное состояние имитационной среды для прогнозирования внештатных ситуаций.

Второй сценарий предполагает использование алгоритмов машинного обучения для формирования рекомендаций для ЛПР. В данном случае возможно комбинирование двух составляющих:

- экспертной системы, включающей набор правил и рекомендаций для ЛПР, позволяющей по текущим значениям состояний объектов и их положению сформировать оценку среды и дать рекомендацию ЛПР;
- интеллектуального модуля на основе алгоритмов машинного обучения, принимающего на вход набор

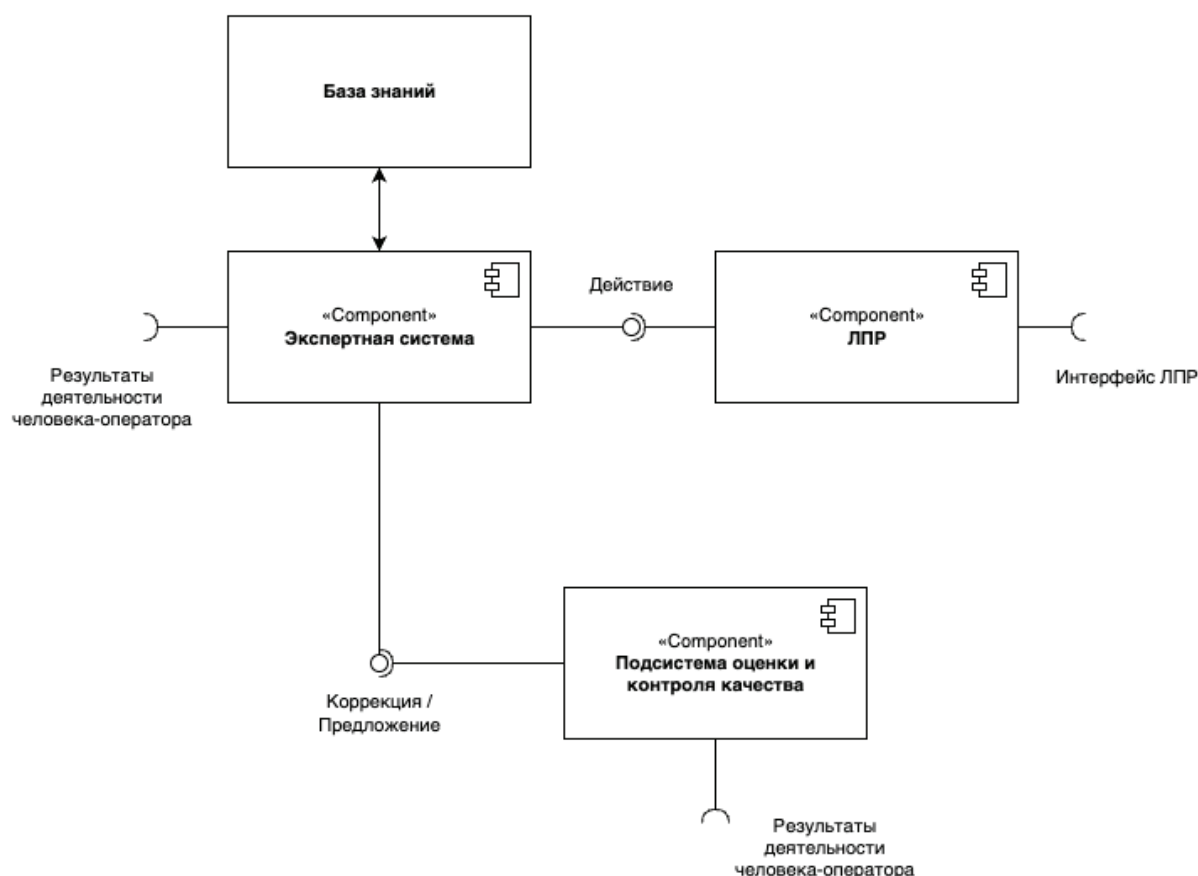


Рис. 5. Диаграмма компонентов СУСК

состояний объектов среды и формирующего оценку среды и соответствующее действие для ЛПР.

В соответствии с представленной диаграммой последовательности (см. рис. 3), а также алгоритмами сбора и принятия решений можно определить структуру новых модулей ЭС, реализующих необходимую функциональность.

На рис. 5 представлена диаграмма компонентов нового модуля для ЭС, а также интерфейсы (API), с помощью которых компоненты связаны.

База знаний (БЗ) является подсистемой ЭС, но на рисунке она выделена отдельно для обозначения своей роли. Компоненты «экспертная система» и «подсистема оценки и контроля качества» имеют интерфейсы для получения данных о работе человека-оператора. «Экспертная система» взаимодействует с ЛПР через специальный интерфейс, который принимает обработанное действие в виде JSON-объекта [14].

Для взаимодействия с внешними модулями и подсистемами СУСК используются только интерфейсы для приема/отправки результатов деятельности. В компоненте «ЛПР» присутствует интерфейс для работы с лицом, принимающим решение.

Таким образом, реализация предложенной модификации СУСК позволит снизить экономические потери от ошибок человека-оператора за счет анализа его действий и оценки качества технологического процесса.

Полученный опыт также можно использовать при создании учебно-тренировочного средства для подготовки сотрудников складского комплекса.

Применение объектно-ориентированной модели при реализации СУСК

Рассмотрим результаты разработки объектно-ориентированной модели и ее апробации в СУСК при решении задач оценки качества выполнения действий человеком-оператором с использованием технологий машинного зрения и нейронных сетей.

После реализации программных модулей по модели (см. рис. 5), а также внедрения алгоритмов сбора и обработки видеоданных с камер наблюдения складского комплекса проведен эксперимент по отслеживанию действий человека в рабочей зоне склада. Для отслеживания и классификации объектов использовалась нейронная сеть YOLOv2. Для классификации действий использовался алгоритм машинного обучения типа «случайный лес деревьев решений», отличающийся простотой реализации и скоростью обучения. В дальнейших исследованиях планируются разработка и сравнение различных методов машинного обучения, включая сверточные нейронные сети [2].

Результат работы алгоритмов представлен на рис. 6.



Рис. 6. Результат работы системы оценки действий сотрудников СУСК

На исходном кадре, полученном с камеры, распознано 9 человек (класс "person"), после чего для каждого из них алгоритм машинного обучения формирует состояние ("state"). Под состоянием 0 понимается действие «работает» (взаимодействует с размещёнными на полках объектами), под состоянием 1 — «не работает» (стоит, разговаривает в рабочей зоне, не подходит к полкам), под состоянием 2 — «движется» (перемещается в рабочей зоне).

Далее для сотрудников СУСК возможна оценка качества выполнения их действий с использованием шкал критериев, обозначенных ранее. Для их расчета используется анализ множества кадров видеоданных, вычисление состояний человека в каждом кадре, положений сотрудников в рабочей зоне.

Заключение

Таким образом, построена модель СУСК, которая позволяет находить параметры, снижающие затратные ошибки, связанные с технологическими процессами на складе. С использованием методов системного анализа была разработана объектно-ориентированная мо-

дель нового советующего модуля СУСК, который можно реализовать в виде экспертной системы. Модуль также может активно использовать машинное зрение и нейронные сети для сбора данных о текущем состоянии складского комплекса и их дальнейшего анализа. Это позволит автоматизировать процесс оценки качества выполнения технологических процессов операторами на складе.

Дальнейшая разработка СУСК с модулем на основе экспертной системы может привести к следующим перспективам:

- улучшение качества работы на складе за счет оптимизации и автоматизации процессов;
- увеличение эффективности работы склада благодаря повышению точности и скорости выполнения операций;
- улучшение безопасности на складе благодаря предотвращению ошибок и аварийных ситуаций;
- улучшение качества обслуживания заказчиков благодаря повышению скорости выполнения заказов и точности выполнения операций;
- сокращение затрат на складские операции за счет оптимизации и автоматизации процессов.

Рецензент: **Бетанов Владимир Вадимович**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, начальник центра АО «Российские космические системы», г. Москва, Российская Федерация.
E-mail: vlavab@mail.ru

Литература

1. Беляева Е.Р. Применение RFID-меток в складской логистике // Актуальные исследования студентов и аспирантов в области гуманитарных, общественных, юридических и экономических наук. Хабаровск : ХГУ экономики и права, 2022. С. 7—11.
2. Гаврилов Д.А., Ловцов Д.А. Автоматизированная переработка визуальной информации с помощью технологий искусственного интеллекта // Искусственный интеллект и принятие решений. 2020. № 4. С. 33—46.
3. Ганичева О.Г., Пыж С.В., Казинаускас А.Ю. Обзор методов оптического анализа мобильного модуля системы оптимизации загрузки складских помещений и обеспечения безопасности // Труды Всеросс. Науч.-прак. Конф. «Череповецкие научные чтения-2012» (7—8 ноября 2012 г.) / Череповецкий гос. Ун-т. Череповец : ЧГУ, 2013. С. 51—54.
4. Гимельштейн Е.А., Годван Д.Ф., Иконников Н.Е. Логистика склада. Процессы внедрения автоматизации в современные склады // Бизнес-образование в экономике знаний. 2021. № 1. С. 14—17.
5. Исаева Е.А., Рыжкова Е.А. Основные средства для автоматизации склада // Сб. науч. Тр. Кафедры автоматики и промышленной электроники с участием зарубежных партнеров / РГУ им. Косыгина. М. : РГУ, 2018. С. 83—85.
6. Канарейкин П.Н., Гнеденко Б.В., Мортвичев В.Н., Кобзарь В.А., Воронин В.Н., Ловцов Д.А. Автоматизированный участок механической обработки деталей: А. с. № 1238946 SU. 26.06.86. Заявка № 3798274 от 08.10.84 // Б.И. 1986. № 23. С. 43.
7. Кезуа И.Н., Воронин М.В. Критерии и методы оценки WMS-систем для внедрения в складской логистике предприятий сетевого ритейла // Труды Всеросс. Науч.-прак. Конф. «Актуальные вопросы устойчивого развития современного общества и экономики» (14—15 апреля 2022 г.) / ФУ при Правительстве РФ. Курск : Курский филиал ФУ при Правительстве РФ, 2022. С. 115—119.
8. Кичуткина Н.С., Суродина Д.П. Оптимизация логистики склада в условиях ЕВРАЗ ЗСМК // Труды Междунар. Науч.-прак. Конф. «Интеллектуальный потенциал общества как драйвер инновационного развития науки» (17 января 2017 г., Иркутск) / СибГИУ. Уфа : Omega Science, 2023. С. 43—46.
9. Леус А.В., Татарина Е.А., Ефремов В.А., Зуев В.А., Мангазеев Д.И., Холодняк И.В. Система многокамерной темпоральной идентификации и трекинга человека на предприятии // Правовая информатика. 2022. № 3. С. 31—39. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-3-31-39.
10. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем : монография. М. : РГУП, 2021. 314 с. ISBN 978-5-93916-887-8.
11. Ловцов Д.А., Васёнов А.В. Информационно-математическое обеспечение имитационного моделирования интегрированных логистических систем // Известия Института инженерной физики. 2009. № 4. С. 59—65.
12. Максудов А.Д. Совершенствование логистических процессов предприятия // Наука, технологии, искусство: теоретико-эмпирические и прикладные исследования. 2021. С. 25—32.
13. Мурлин А.Г., Великанова Л.О., Жданов А.О. Повышение эффективности бизнес-процессов предприятия путем внедрения мобильных технологий // Современная экономика: проблемы и решения. 2018. Т. 5. С. 59—69.
- 13а. Николюкин М.С., Обухов А.Д. Структурная модель системы управления складским комплексом с интеграцией подсистемы подготовки в виртуальной реальности // Вестник ВГУ. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 1. С. 128—138.
14. Обухов А.Д., Назарова А.О. Метод управления на основе технологий компьютерного зрения и машинного обучения для адаптивных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2023. Т. 24. № 1. С. 14—23.
15. Середа С.В. Применение машинного зрения в логистике // Sciences of Europe. 2021. № 65-1. С. 45—50.
16. Суфиянов В.Г., Русак И.Г., Белобородов М.Н., Заборовский А.Д., Клюкин Д.А. Разработка интеллектуальной экспертной системы оценки достоверности измерений параметров динамических процессов // Труды 18-й Всеросс. Науч.-техн. Конф. «Проектирование систем вооружения боеприпасов и измерительных комплексов» (30 сентября — 1 октября 2021 г.) / УФУ им. Б.Н.Ельцина. Нижний Тагил : Нижнетаг. Технол. Ин-т, 2022. С. 336—350.
17. Krasnyanskiy M.N., Dedov D.L., Obukhov A.D., Alekseev S.Y. Visualization technology and tool selection methods for solving adaptive training complex structural-parametric synthesis problems // Journal of Computing and Information Science in Engineering. Aug 2020, 20(4): 041001. 10 pp.

DECISION-MAKING SUPPORT MODELLING IN A WAREHOUSE COMPLEX MANAGEMENT SYSTEM

Maksim Nikoliukin, Assistant Professor at the Department of Automated Decision-Making Support Systems of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.

E-mail: ch1ppyone@mail.ru

Artem Obukhov, Dr.Sc. (Technology), Associate Professor at the Department of Automated Decision-Making Support Systems of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.
E-mail: obuhov.art@gmail.com

Vladimir Alekseev, Dr.Sc. (Technology), Professor, Honorary Radio Operator of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of the Department of Information Systems and Information Protection of the Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation.
E-mail: vvalex1961@yandex.ru

Keywords: object-oriented model, warehouse complex, management system, expert system, decision-making person, algorithm, software, efficiency, optimisation.

Abstract

Purpose of the paper: developing of the normative and methodological basis for optimisation and assessing the efficiency of functioning of the warehouse complex management system.

Methods of study: system analysis, information and mathematical modelling and synthesis of management systems, logistical audit and repeated process engineering.

Study findings: an object-oriented model for decision-making support in the warehouse complex management system is built, implemented as an expert system using machine vision and neural network technologies for collecting and analysing data on the current state of the warehouse complex. Using the model ensures automation of the procedure for assessing the quality of technological operations execution by a human operator as well as optimal warehouse complex management at large.

References

1. Beliaeva E.R. Primenenie RFID-metok v skladskoi logistike. Aktual'nye issledovaniia studentov i aspirantov v oblasti gumanitarnykh, obshchestvennykh, iuridicheskikh i ekonomicheskikh nauk. Khabarovsk : KhGU ekonomiki i prava, 2022, pp. 7–11.
2. Gavrilov D.A., Lovtsov D.A. Avtomatizirovannaia pererabotka vizual'noi informatsii s pomoshch'iu tekhnologii iskusstvennogo intellekta. Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii, 2020, No. 4, pp. 33–46.
3. Ganicheva O.G., Pyzh S.V., Kazinauskas A.Iu. Obzor metodov opticheskogo analiza mobil'nogo modul'ia sistemy optimizatsii zagruzki skladских pomeshchenii i obespecheniia bezopasnosti. Trudy Vseross. nauch.-prak. konf. "Cherepovetskie nauchnye chteniia-2012" (7–8 noiabria 2012 g.). Cherepovetskii gos. un-t. Cherepovets : ChGU, 2013, pp. 51–54.
4. Gimel'shtein E.A., Godvan D.F., Ikonnikov N.E. Logistika sklada. Protssessy vnedreniia avtomatizatsii v sovremennye sklady. Biznes-obrazovanie v ekonomike znani, 2021, No. 1, pp. 14–17.
5. Isaeva E.A., Ryzhkova E.A. Osnovnye sredstva dlia avtomatizatsii sklada. Sb. nauch. tr. kafedry avtomatiki i promyshlennoi elektroniki s uchastiem zarubezhnykh partnerov. RGU im. Kosygina. M. : RGU, 2018, pp. 83–85.
6. Kanareikin P.N., Gnedenko B.V., Mortvichev V.N., Kobzar' V.A., Voronin V.N., Lovtsov D.A. Avtomatizirovannyi uchastok mekhanicheskoi obrabotki detalei: A. s. No. 1238946 SU. 26.06.86. Zaiavka No. 3798274 ot 08.10.84. B.I. 1986, No. 23, p. 43.
7. Kezua I.N., Voronin M.V. Kriterii i metody otsenki WMS-sistem dlia vnedreniia v skladskoi logistike predpriatii setevogo riteila. Trudy Vseross. nauch.-prak. konf. "Aktual'nye voprosy ustoichivogo razvitiia sovremennogo obshchestva i ekonomiki" (14–15 apreliia 2022 g.). FU pri Pravitel'stve RF. Kursk : Kurskii filial FU pri Pravitel'stve RF, 2022, pp. 115–119.
8. Kichutkina N.S., Surodina D.P. Optimizatsiia logistiki sklada v usloviakh EVRAZ ZSMK. Trudy Mezhdunar. nauch.-prak. konf. "Intellektual'nyi potentsial obshchestva kak draiver innovatsionnogo razvitiia nauki" (17 ianvaria 2017 g., Irkutsk). SibGIU. Ufa : Omega Science, 2023, pp. 43–46.
9. Leus A.V., Tatarinova E.A., Efremov V.A., Zuev V.A., Mangazeev D.I., Kholodniak I.V. Sistema mnogokamernoi temporal'noi identifikatsii i trekinga cheloveka na predpriatii. Pravovaia informatika, 2022, No. 3, pp. 31–39. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-3-31-39.
10. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem : monografiia. M. : RGUP, 2021. 314 pp. ISBN 978-5-93916-887-8.
11. Lovtsov D.A., Vasenov A.V. Informatsionno-matematicheskoe obespechenie imitatsionnogo modelirovaniia integrirovannykh logisticheskikh sistem. Izvestiia Instituta inzhenernoi fiziki, 2009, No. 4, pp. 59–65.
12. Maksudov A.D. Sovershenstvovanie logisticheskikh protsessov predpriatii. Nauka, tekhnologii, iskusstvo: teoretiko-empiricheskie i prikladnye issledovaniia, 2021, pp. 25–32.

- 13a. Murlin A.G., Velikanova L.O., Zhdanov A.O. Povyshenie effektivnosti biznes-protsessov predpriiatiia putem vnedreniia mobil'nykh tekhnologii. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*, 2018, t. 5, pp. 59–69.
14. Nikoliukin M.S., Obukhov A.D. Strukturnaya model' sistemy upravleniya skladskim kompleksom s integratsiei podsystemy podgotovki v virtual'noi real'nosti. *Vestnik VGU, ser. Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2023, No. 1, pp. 128–138.
15. Obukhov A.D., Nazarova A.O. Metod upravleniya na osnove tekhnologii komp'yuternogo zreniya i mashinnogo obucheniya dlya adaptivnykh sistem. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2023, t. 24, No. 1, pp. 14–23.
16. Sereda S.V. Primenenie mashinnogo zreniya v logistike. *Sciences of Europe*, 2021, No. 65-1, pp. 45–50.
17. Sufianov V.G., Rusiak I.G., Beloborodov M.N., Zaborovskii A.D., Kliukin D.A. Razrabotka intellektual'noi ekspertnoi sistemy otsenki dostovernosti izmereniy parametrov dinamicheskikh protsessov. *Trudy 18-i Vseross. nauch.-tekh. konf. "Proektirovaniye sistem vooruzheniya boepripasov i izmeritel'nykh kompleksov"* (30 sentyabrya — 1 oktyabrya 2021 g.). UFU im. B.N.El'tsina. Nizhnii Tagil : Nizhnetag. tekhnol. in-t, 2022, pp. 336–350.
18. Krasnyanskiy M.N., Dedov D.L., Obukhov A.D., Alekseev S.Y. Visualization technology and tool selection methods for solving adaptive training complex structural-parametric synthesis problems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. Aug 2020, 20(4): 041001. 10 pp.