



Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций



Максим МАЛЫШЕВ

Максим Игоревич Малышев

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

✉ dicorus@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В связи с прогнозируемым в долгосрочной перспективе увеличением объёмов перевозимых грузов, ростом влияния экономических и территориальных факторов на транспортные процессы, усложнением логистических услуг и повышением требований к их качеству, распространением информационных технологий и совершенствованием инструментов искусственного интеллекта предложен перспективный способ распознавания повреждённых грузов по внешнему виду упаковки с помощью обучающейся нейронной сети.

Целью работы является описание принципов использования искусственной нейронной сети для выявления повреждённых грузов по их внешнему виду. Актуальность проблемы подтверждена данными о повреждениях грузов во время транспортировки. В работе применены методы сбора и анализа данных, описания и сравнения существующих и перспективных технологий, наблюдения за процессом грузопереработки и их моделирования, обобщения результатов. Проанализированы распространённые и перспективные методы предупреждения и выявления повреждённых грузов. Используются результаты исследований в области обнаружения дефектов на различных

поверхностях и распознавания знаков и цветов в движении с применением интеллектуальных технологий.

С помощью сверточной нейронной сети решены проблемы распознавания повреждений на упаковке в сложных и неблагоприятных для машинного зрения условиях. В соответствии с предложенным алгоритмом захват изображения осуществляется со стандартных камер видеонаблюдения. Из введённого в нейронную сеть изображения по характерным признакам выделяются фрагменты, которые проверяются на соответствие паттернам повреждений. В результате анализа контуров повреждений нейросеть признаёт груз повреждённым. В процессе обучения нейросети и интеграции предложенного инструмента по всей цепи поставок обеспечивается распознавание реально повреждённых грузов и исключаются ошибки, связанные с незначительными допустимыми повреждениями и особенностями упаковки. Предложенная концепция не требует установки дополнительного оборудования и не предполагает существенной стоимости услуг распознавания повреждённых грузов. Представлены и описаны процессы видеофиксации грузопотока, загрузки изображения в нейронную сеть и модель распознавания повреждённого груза по внешнему виду упаковки.

Ключевые слова: грузовые перевозки, поиск повреждённых грузов, совершенствование логистических процессов, сверточные нейронные сети, видеофиксация грузопотока, управление цепями поставок, инструменты интеллектуальных транспортных систем.

Для цитирования: Малышев М. И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 61–72. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-5>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.



ВВЕДЕНИЕ

Грузопереработка является необходимой составляющей любых производственных процессов и логистической деятельности. Объёмы перевозок грузов увеличиваются при увеличении объёмов производства и продаж товаров. Растёт потребность в качественных логистических услугах.

Перемещение грузов и обмен информацией осуществляются между компаниями, находящимися в разных социально-экономических условиях, существенно удалёнными друг от друга, расположенными в труднодоступных районах или мегаполисах и промышленных центрах, что приводит к усложнению транспортных процессов и повышению вероятности повреждения груза.

Логистическая система создаётся и эксплуатируется для предоставления грузоотправителям и грузополучателям безопасных и эффективных услуг [1].

При этом одним из основных требований, предъявляемых к логистическим компаниям, является надёжность перевозки и транспортных услуг, которая в значительной мере определяется сохранностью перевозимых и складированных грузов [2; 3].

Груз можно считать испорченным в случае изменения в процессе транспортировки его качественных или количественных характеристик. В результате порчи груза наступают негативные последствия для всех лиц, заинтересованных в качественной перевозке.

Для грузополучателей такими негативными последствиями являются ущерб, связанный с утратой грузом товарного вида и полезных свойств, и, как следствие, сбой в бизнес-процессах. Для ответственных за перевозку лиц – это необходимость компенсации грузополучателям убытков, связанных с порчей груза, снижение уровня доверия и вероятный уход клиентов, потеря конкурентных позиций на рынке транспортно-логистических услуг и т.д.

Порча груза в процессе предоставления логистических услуг не только сама по себе является крайне нежелательным событием, но и влечёт дополнительные сложности как для поставщиков услуг, так и для получателей.

В соответствии с нормами права в области транспортировки грузов, при должной упаковке и соблюдении прочих требований со стороны грузоотправителя сразу после принятия и до выдачи грузов обеспечение их

сохранности является обязанностью перевозчика либо лица, ответственного за перевозку, и в обязательном порядке оговаривается в договоре перевозки [4].

Повреждение груза является одной из причин претензий грузовладельцев, связанных с транспортировкой грузов [5].

Перевозчик может не обнаружить повреждения груза и выдать испорченный груз грузополучателю, а получатель может узнать о том, что груз повреждён, уже на своём складе или от своих клиентов. Порча груза в начале цепи поставок может быть выявлена уже в месте применения перевозимого товара.

Получение статистической информации об общем количестве повреждённых в процессе перевозки и выполнения сопутствующих операций грузов и других статистических данных в этой области достаточно затруднено.

При этом об актуальности проблемы повреждения грузов говорит возрастающий спрос на страхование объектов транспортировки, в том числе от повреждения в процессе перевозки и вызванных этим убытков.

Объём мирового рынка логистического страхования ежегодно увеличивается и, по прогнозам, к 2027 году может достигнуть 76 млрд долларов США [6].

Увеличивается и количество страховых случаев, а при перевозках сборных грузов крупные транспортные компании могут по умолчанию включать страховку грузов в тариф на перевозку [7].

Ущерб транспортных компаний от порчи груза по разным причинам в ходе транспортировки может составлять существенную часть от общего размера потери грузов.

В современных научных исследованиях в области эксплуатации транспорта и грузоперевозок просматривается устойчивая тенденция к совершенствованию транспортных и складских процессов путём применения современных технологий, в большинстве своём связанных с цифровизацией системы управления перевозками и транспортной отраслью в целом, а также цифровизацией безопасности перевозок [8].

В результате интеграции современных цифровых технологий в транспортный комплекс возможно осуществлять моделирование процесса перевозок и регулирование транспортных потоков с помощью интеллектуальных систем.

Сами по себе интеллектуальные транспортные системы (ИТС) вместе с такими прорывными технологиями, как Интернет вещей, цифровое управление, облачные сервисы, большие данные, беспилотный транспорт, полностью роботизированные склады и прочими, необходимы для реализации концепций, обеспечивающих ожидаемые в будущем требования к качеству жизни и бизнес-процессам, таких, например, как умные города или абсолютно автоматизированные производства, 3D-промышленность и индустрия 4.0.

ИТС должны обеспечивать доставку грузов надлежащего качества, без повреждений, что, в свою очередь, требует создания и использования технологий своевременного обнаружения повреждённых грузов. Концепции умных городов или перевозок, управляемых ИТС, сами по себе не предполагают ни увеличения проблем с повреждёнными грузами, ни значительных затрат на выявление и предотвращение повреждений грузов.

В соответствии с Транспортной стратегией предусмотрен экспериментальный проект на железнодорожном транспорте, который должен обеспечить уменьшение потерь и порчи грузов в десять раз [9]. Это существенное снижение повреждений грузов, но всё же полное исключение вероятности повреждения груза не предполагается даже в долгосрочной перспективе.

С формированием ИТС есть некоторые сложности. Если крупные транспортные и производственные компании имеют ресурсы для внедрения новых цифровых технологий, то перевозчики, не имеющие таких возможностей, не спешат их использовать [10].

Транспортно-логистические компании имеют потенциал предоставления полного набора информационных услуг, в том числе сопутствующих перевозке грузов, удалённо. Однако применение имеющихся технологий в полной мере не осуществляется [11].

Это связано с необходимостью устанавливать дополнительное дорогостоящее оборудование и разрабатывать или приобретать программное обеспечение, что требует существенных вложений и может не дать мгновенного экономического эффекта. По мнению представителей бизнеса, в том числе и в области перевозок, иногда лучше подождать, пока технологии станут доступными.

Таким образом, порча груза во время транспортировки, хранения и выполнения

сопутствующих операций является актуальной проблемой для всех участников транспортно-логистического процесса и экономики в целом. Решать эту проблему необходимо всем компаниям, участвующим в логистическом процессе, причём независимо от размера предприятия.

Наиболее эффективными инструментами для решения фундаментальных транспортных проблем, в том числе задачи существенного снижения порчи грузов и своевременного выявления повреждений в грузопотоке, могут быть технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. При этом такие инструменты должны быть доступны абсолютно всем заинтересованным лицам, а значит предполагать использование дешёвых, но достаточно эффективных технологий без дополнительного оборудования.

В условиях усиления охватывающей рынков перевозок глобальной конкуренции и влияния других факторов экономического роста, в том числе ожидаемого распространения эффективных цифровых технологий, структурной перестройки мирового хозяйства и изменения баланса между экономическими центрами, во всём мире возрастут требования к качеству локальных, национальных и международных грузоперевозок и сопутствующего, в том числе логистического, обслуживания грузов. Транспортной отрасли необходима технология, позволяющая с минимальными затратами обеспечить выявление повреждённых грузов до их выдачи получателю.

Целью настоящего исследования является разработка концепции, способствующей созданию такой технологии.

Исходя из того, что требования к надёжности логистической системы, безопасному и эффективному процессу транспортировки являются одними из основных из числа предъявляемых к организаторам и непосредственным исполнителям процесса транспортировки грузов, а данные о страховании грузов свидетельствуют о существенных объёмах повреждённых в процессе перевозки товаров, проблему повреждённых грузов можно считать актуальной. Одним из преобладающих направлений совершенствования транспортных процессов является цифровизация, при этом перспективными инструментами признаны инструменты с использованием возможностей искусственных нейронных сетей.



Задачами исследования являются выявление визуально определяемых повреждений упаковки, описание процессов получения изображения, загрузки в нейросеть и определения повреждений.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнялось в соответствии со следующим алгоритмом.

Проведён обзор и выполнен анализ открытых источников информации (сайтов транспортных компаний, органов государственной власти, тематических изданий и т.д.).

Сделаны выводы о необходимости применения искусственного интеллекта и машинного обучения для решения выявленной проблемы в соответствии с трендами в области науки и техники, в том числе связанными с формированием ИТС и планируемым переходом к интенсивному, инновационному типу развития транспортной отрасли и экономики в целом.

Проанализированы предлагаемые на рынке технические и технологические решения, предназначенные для выявления повреждения упакованного груза без вскрытия упаковки.

Осуществлён обзор научных исследований в области применения технологий искусственного интеллекта в транспортной отрасли и аккумулированы знания из таких направлений машинного обучения, как получение и распознавание изображений объектов реального мира для их визуальной проверки и измерений (машинное зрение), создание искусственной нейронной сети и применяемые для этого инструменты, алгоритмизация нейросетевого обучения и использование методов настройки нейросети.

Предложен принцип применения искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки, заключающийся в передаче набору компьютерных программ навыков специалистов, имеющих продолжительный опыт непосредственной работы с различными грузами и способных, основываясь на своём опыте, органолептическим методом по внешнему виду упаковки определять степень сохранности груза и причину повреждения в случае, если таковое имеет место.

Определено, какие повреждения видны по упаковке и как меняется внешний вид упаковки при наличии этих повреждений.

Выполнены описание и графическая интерпретация процесса видеозахвата упакованных грузов, их распознавания, выявления признаков повреждения упаковки и соотношения состояния упаковки с возможным повреждением груза.

ОБЗОР ПОДХОДОВ К ПРОБЛЕМЕ

Во множестве проведённых исследований в области повреждения грузов проблема порчи и утраты грузов рассматривается в совокупности с проблемами повреждения транспортных средств и транспортных единиц (интермодальной тары), в которых перевозились эти грузы.

В этом случае научные исследования направлены на выявление и исключение основных причин дорожно-транспортных происшествий, а также снижение риска несчастных случаев и потенциальных повреждений путём правильного выбора подвижного состава и маршрута перевозки, мониторинга состояния водителей, выявления их аномального поведения и т.д. Для исключения факторов, приводящих к повреждению транспортных средств, применяются технологии искусственного интеллекта.

В последние годы глубокое обучение нейросети также использовалось для моделирования безопасности дорожного движения [12].

Однако порча груза может быть не связана с повреждением транспортного средства. Во время перевозки значительную часть ущерба составляют повреждения, произошедшие в связи с неправильным расположением и креплением перевозимого груза. В процессе перевозки груз может быть повреждён в результате смещения из-за скольжения по поверхности кузова или раскачивания и переворачивания при вибрации.

Для исключения подобных причин предлагается в процессе погрузки крепить грузы ремнями, канатами, цепями и т.д., и таким образом размещать грузы в кузове, чтобы они оставались заблокированными во время перевозки и не меняли своего положения. При формулировании рекомендаций по безопасному креплению грузов учитываются прочность материалов, из которых изготовлены грузы и упаковка, а также усилие затяжки, прилагаемое в применяемых зажимных устройствах.

Существуют международные и национальные правила крепления грузов на различных видах транспорта, которые не всегда являются обязательными, но содержат достаточно информации и инструкций, способствующих безопасной погрузке и перевозке грузов.

Несмотря на принимаемые меры, повреждения грузов случаются, в связи с чем существует необходимость своевременного выявления повреждений. Из технологических решений проблемы обнаружения повреждённых грузов можно выделить контроль габаритов и веса с помощью системы сканирования (инфракрасного, лазерного и т.д.). Такой контроль осуществляется в момент замера размеров упаковки в трёх измерениях при установке упакованного груза на взвешивающее устройство. Несоответствие фактических параметров размеров упаковки или веса заданным указывает на возможное повреждение груза (рис. 1).

Такая технология требует внесения в память устройства данных о каждом проверяемом грузе и допустимых отклонениях, использования специального оборудования и выполнения дополнительных операций с каждым грузом.

Довольно распространённым способом контроля грузов является бесконтактный анализ содержимого упаковки, например, с помощью рентгенотелевизионного оборудования. Но данный способ применяется, как правило, для выявления определённого вида товаров в общем потоке грузов, а не для обнаружения повреждённых грузов.

Для выявления повреждения грузов могут быть использованы индикаторы сохранности в виде дополнительных этикеток, наклеиваемых на каждую упаковку. Такие этикетки меняют цвет (например, с белого на красный), если упаковка груза, на которой они размещены, подверглась воздействию усилия вследствие удара выше установленного на этикетке порога (перегрузке 5G, 50G и т.д.) или высоких температур, оказалась в слишком влажной среде или опасно отклонилась от вертикального положения и т.п.

Подобные индикаторы могут сигнализировать о возможном повреждении груза, но такое решение опять же требует дополнительной обработки каждой упаковки для нанесения этикетки и контроля состояния индикатора со стороны специалиста.

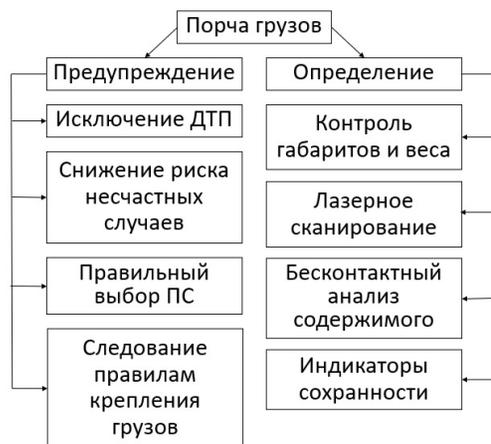


Рис. 1. Существующие методы и технологии предупреждения и определения порчи грузов [составлено автором].

Ни один из распространённых методов даже при предельном усовершенствовании не может быть применим без корректировки процесса перемещения груза, привлечения специалистов, использования специального оборудования или дополнительных материалов, что не соответствует обозначенным в данном исследовании требованиям к разрабатываемой концепции выявления повреждённых грузов.

Однако в области искусственного интеллекта и машинного обучения существуют подходы и методы, совокупное применение которых позволяет разработать технологию, отвечающую таким требованиям.

Решения с использованием искусственного интеллекта и машинного обучения уже зарекомендовали себя в транспортной отрасли. Такие решения более действенны по сравнению со стандартными способами повышения эффективности логистических операций.

Для распознавания повреждённых грузов возможно применять технологии машинного зрения. Однако такие технологии имеют свои нюансы. Машинное зрение может быть недостаточно эффективно в сложных погодных условиях, например, при недостаточном освещении, солнечных бликах или попадании объекта в тень, выпадении атмосферных осадков и т.д., что усложняет обнаружение отклонений внешнего вида упаковки от нормы.

Производительность обнаружения повреждённых грузов может значительно ухудшиться в сложных условиях [13].



Эта проблема устраняется в процессе нейросетевого обучения. Например, на смену автоматическому (ультразвуковому, вихретоковому и др.) контролю железнодорожных рельсов на предмет наличия повреждений может прийти метод обработки изображений свёрточной нейронной сетью.

Результаты экспериментов подтверждают, что предложенные модели могут, например, обнаруживать дефекты поверхности рельса в режиме реального времени и достигать высокой точности обнаружения [14].

В этом случае повреждения могут быть распознаны даже в условиях, неблагоприятных для машинного зрения.

В результате практического применения глубокой свёрточной архитектуры нейронных сетей удалось из видеопотока, полученного с дорожной камеры, распознать цвет наклейки, расположенной на лобовом стекле автомобиля и цифры на ней с точностью от 90 до 98 % [15; 16].

При этом повреждения на объекте контроля возможно обнаружить при его скорости до 100 км/ч.

В процессе разработки системы обнаружения повреждений асфальтового покрытия дороги в режиме реального времени была выявлена взаимозависимость точности определения повреждённых участков дороги и времени на обработку информации.

Пикселизация и сегментация изображений обеспечивает возможность классификации повреждений, но требует больших вычислительных затрат, что может привести к неоптимальной работе в режиме «реального времени» [17].

Применение многомасштабной свёрточной нейронной сети позволяет достичь высокой точности результатов при автоматическом обнаружении трещин на асфальтовом покрытии при сложном фоне [18].

Благодаря модулю повышающей дискретизации функции низкого уровня и функции непрерывной свёртки объединяются для реализации прогнозирования на уровне пикселей.

Объём разработок и практические результаты, представленные в научных исследованиях, позволяют предположить, что на данный момент существуют реальные решения, программные платформы и библиотеки для машинного обучения, компилирующие множество различных алгоритмов и позволяющие

создать программный продукт способный обучить искусственную нейронную сеть выполнять необходимые функции для выявления в грузовом потоке повреждённых грузов [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В зависимости от причины повреждения на упаковке остаются различные следы. Учитывая эту особенность, можно сделать предположения о наличии и причине повреждения груза по внешнему виду упаковки.

Удары по упаковке, в том числе в результате повреждения транспортного средства, неправильного крепления грузов, выпадения из кузова и т.д., могут приводить к её деформированию (рис. 2) или разрыву (рис. 3).

В результате воздействия влаги, например, дождя, снега или морской воды при перевозке водным транспортом, остаются характерные следы на упаковке даже после её высыхания (рис. 4).

Другие повреждения, например, вследствие воздействия насекомых или грызунов, плесени, высоких температур, химических веществ и т.д. также оставляют на упаковке особые следы (табл. 1).

Как видно из рис. 2–4 и табл. 1, все повреждения картонной упаковки достаточно хорошо заметны визуально. Следовательно, используя опыт обработки изображений, возможно обучить нейронную сеть распознавать груз и выявлять повреждения на упаковке.

Для компьютерной обработки и распознавания повреждений необходимо получать изображения визуального мира с синхронизированных с нейросетью 2D-видеокамер, установленных в местах погрузочно-разгрузочных операций [20].

Разрешение изображения определяется разрешением камеры. Для детализации объекта контроля и распознавания границ дефектов на упаковке видеокамеры должны снимать видео в достаточно высоком разрешении и передавать изображение без сжатия. Число бит на один пиксель должно быть достаточным для детализации цвета изображения, что обеспечит распознавание контуров повреждения.

Лучше использовать камеру с высоким разрешением, чем разрабатывать и применять сверхразрешающий алгоритм.

Данные рекомендации сделаны исходя из того, что лучше использовать больший объём

памяти для хранения изображения и потратить больше времени на его передачу, чем увеличивать время обработки изображения и распознавания повреждения.

В случае изменения внешних условий, например, ухудшения видимости, нейросеть с большей точностью распознаёт повреждение груза на изображении с более высоким разрешением. Выявлению незначительного, малозаметного повреждения также способствует более высокое разрешение изображения.

Для выявления повреждённой упаковки достаточно изображения, которое можно получить с одной или нескольких камер, установленных на пути груза, перемещаемого при выполнении погрузо-разгрузочных операций (рис. 5).

В случае установки трёх камер, как это показано на рис. 5, и попадания груза в зону их видимости, будут получены изображения правой и левой стороны упаковки с камер «R» и «L» соответственно, фронтальной стороны с камеры «F» и верхней стороны со всех камер («R», «L» и «F»).

Закрытыми для камер остаются задняя «Rear» и нижняя «Under» стороны упаковки. В случае перемещения сложенных друг на друга или паллетированных грузов видимой для камер может остаться лишь одна сторона упаковки. В некоторых случаях упаковка может быть полностью скрыта от камер. В такой ситуации вероятность обнаружения повреждённого груза снижается. Однако повреждения могут быть обнаружены при депаллетизации грузов, если попадут в зону захвата изображения.

Используя методы и алгоритмы поиска объекта в видеопотоке, основанные на глобальных и локальных признаках, напри-



Рис. 2. Деформированная упаковка. [Электронный ресурс]: <https://pravodeneg.net/buhuchet/uchet/primery-izderzhek-proizvodstva.html>. Досмун 17.07.2022.



Рис. 3. Разрывы на упаковке. [Электронный ресурс]: <https://www.bansarchina.com/china-quality-control>. Досмун 17.07.2022.



Рис. 4. Упаковка со следами намокания. [Электронный ресурс]: <https://thegioadat.info/will-recycling-take-wet-cardboard.html>. Досмун 17.07.2022.

мер, цвете или форме, возможно распознать груз (классифицировать объект) по ключевым точкам (ввести изображение в нейронную сеть), как показано на рис. 6. Ключевые точки и образцы выявляемых объектов извлекаются из набора эталонных изображений, хранящихся в библиотеке данных.

Таблица 1

Классификация повреждений картонной упаковки [составлено автором]

Повреждение	Вероятные причины	Возможность визуальной идентификации	Возможна порча груза
Загрязнение	Открытый кузов	Да	Нет
Разрыв	Воздействие усилия	Да	Да
Потертости	Трение	Да	Нет
Химическое воздействие	Попадание химикатов	Да	Да
Термическое воздействие	Перегрев	Да	Да
Неоднородность цвета	Намокание	Да	Да
Вмятины	Удар	Да	Нет
Нарушение геометрии	Падение	Да	Да
Нарушение пломбы	Злонамеренные действия	Да	Да
Нечитаемая маркировка	Загрязнение	Да	Нет



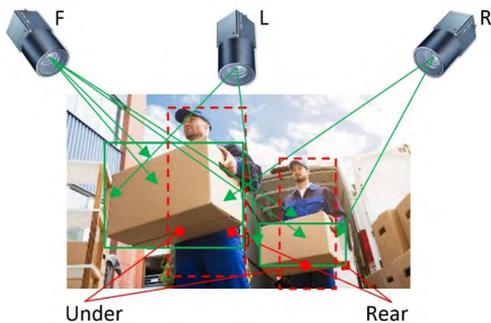


Рис. 5. Видеофиксация грузопотока [составлено автором].

Программная платформа для моделирования нейронной сети, количество слоёв и нейронов в каждом слое, коэффициент допустимого прироста погрешности, максимальное системное время обучения и другие параметры определяются и подбираются в процессе её проектирования и создания.

Входной слой нейронной сети «1» принимает все пиксели изображения. Признаки искомого объекта воспринимаются нейросетью как группа пикселей, представляющих наибольший интерес и анализируемых на соответствие паттернам.

На вычислительных слоях группы «2» осуществляется извлечение признаков через фильтры. По количеству и цвету пикселей определяются размеры и глубина фрагментов.

Нейросеть сопоставляет цвета упаковки в разных точках и контуры мест, отличающихся по цвету, сравнивает с паттернами повреждений.

Объединяющий слой «3» оставляет только нужные изображения имеющих повреждений.

Конечные слои «Final layers» анализируют признаки изображения и классифицируют их по заданному алгоритму. Эти слои состоят из

наборов нейронов, которые представляют части изображения упаковки груза, например, повреждённые участки. Когда достаточное количество нейронов, сигнализирующих о повреждении упаковки, будет активировано, упаковка будет отнесена к классу повреждённых (рис. 7).

Нейронная сеть нуждается в обучении и имеет возможность самосовершенствования в процессе анализа огромного массива данных. При этом осуществляется корректировка изначально заданных случайным образом весов нейронов. Корректировка осуществляется до тех пор, пока результаты не станут приемлемыми и не позволят нейросети функционировать автономно. Контроль процессов обучения и самосовершенствования нейросети возможно осуществлять путём проверки выходных данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Порча груза может произойти по различным причинам, например, в результате дорожно-транспортного происшествия, из-за неправильного крепления в транспортном средстве, вследствие ошибок персонала при осуществлении погрузочно-разгрузочных работ или влияния других внешних факторов.

Применяемые технологии обнаружения повреждённых грузов объединяет обязательное присутствие специалиста, осуществление контроля с его стороны и выполнение дополнительных операций с грузом.

В случае, когда повреждение груза сопровождается повреждением упаковки, предположить, что груз повреждён, можно уже по её внешнему виду.

Специалисты, непосредственно выполняющие операции с грузом, с опытом получают навыки, позволяющие им по внешнему

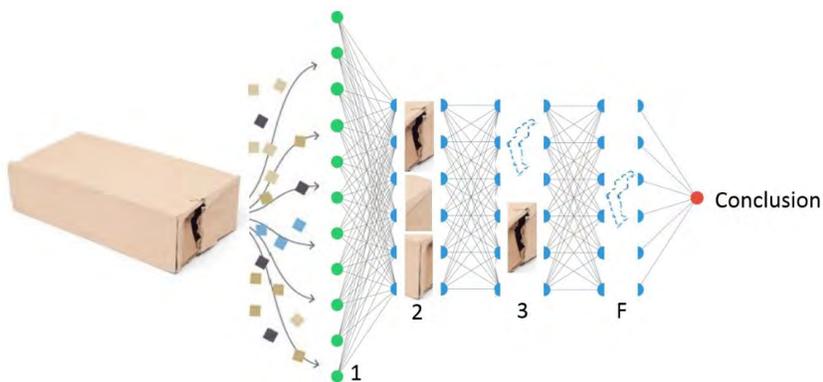


Рис. 6. Загрузка изображения в нейронную сеть и выявление повреждённой упаковки [составлено автором].



Рис. 7. Модель распознавания повреждённого груза искусственной нейронной сетью [составлено автором].

виду упаковки определять, повреждён груз или нет. Однако они не всегда заинтересованы в том, чтобы повреждения были обнаружены, в том числе и потому, что сами могут из-за производственной ошибки повредить груз.

Если накопленный специалистами опыт передать ИТС через обученные нейронные сети, то ИТС будут способны обнаруживать груз и сигнализировать об этом перевозчику или другим заинтересованным участникам логистического процесса. Повреждения упаковки бывают несущественными, и груз в этом случае остаётся неповреждённым, например, как показано на рис. 2. При обучении нейросети возможно таким образом настроить веса нейронов, чтобы значение, установленное в пределах от 0 до 1, позволяло не идентифицировать грузы, упаковка которых незначительно повреждена, как вероятно испорченные.

Упаковка грузов может выполнять различные функции. К одним из основных функций относится обеспечение сохранности товаров и оптимизация транспортных процессов. В рамках настоящего исследования упаковка может дополнить набор информационных функций, подтверждая сохранность груза или своевременно предупреждая о вероятном повреждении.

Для определения тары, по внешнему виду которой предпочтительнее выявлять повреждённые грузы, упаковку можно разделить по назначению на дополнительную внешнюю, транспортную и потребительскую.

Потребительская упаковка должна сохранять изначальный внешний вид, так как играет важную информационную и эстетическую роль и переходит в собственность покупателя вместе с товаром. Иногда потребительская упаковка не может быть отделена от товара. Некоторые товары, например, продукты, запрещено реализовывать в случае нарушения герметичности потребительской упаковки.

Цифровая интеллектуальная экспертная система сможет сделать выводы о повреждении груза, если повреждённая упаковка попала в зону видимости. Потребительская упаковка в процессе транспортировки может быть скрыта транспортной упаковкой, в связи с чем её распознавание затруднено.

К дополнительной внешней упаковке относятся крупногабаритная тара, например, интермодальные контейнеры, обрешётка, выполняемая по индивидуальным размерам перевозимого товара, поддоны для перемещения грузов вилочными погрузчиками и другие варианты упаковки, защищающие грузы от воздействия внешней агрессивной среды и оптимизирующие транспортные, погрузо-разгрузочные и складские процессы.

В связи с тем, что дополнительная внешняя упаковка в процессе эксплуатации приобретает изношенный вид без потери способности выполнять основные функции и не позволяет визуально предположить состояние находящихся внутри грузов, она не является предпочтительной для распознавания повреждений.

При этом, если имеются существенные визуально заметные повреждения внешней упаковки, например, деформация или следы затопления интермодального контейнера, химического или термического воздействия на упаковочную плёнку паллетированных грузов, то такие повреждения могут быть распознаны, и находящийся внутри груз может быть признан вероятно повреждённым.

Транспортная упаковка представляет собой оболочку для транспортировки товаров и защиты от повреждений. В транспортной упаковке может находиться один или несколько товаров. В отличие от потребительской и внешней упаковки, товар упаковывается в транспортную упаковку на завершающей стадии производства, в пункте отправления, но сама упаковка не передаётся конечному покупателю.



Транспортная упаковка может быть различных размеров, форм и конструкций, выполняется из деревянных материалов, металла, бумаги и гофрокартона, полимеров, стекла и других материалов. Одним из самых популярных видов транспортной тары являются различные виды картонной упаковки.

Несмотря на то, что возможности системы распознавания повреждений грузов по внешнему виду упаковки позволяют выявить любой повреждённый груз, если повреждения визуально заметны, настоящее исследование ориентировано именно на распознавание повреждённой картонной упаковки правильной формы.

Транспортная упаковка может состоять из внешнего корпуса и внутренних крышек, вставок, вкладышей, наполнителей, амортизирующих прокладок и других элементов. Вследствие защитных функций и особенностей конструкции транспортной упаковки её повреждение не всегда приводит к повреждению груза.

Таким образом, повреждения упаковки можно разделить на свидетельствующие о повреждении груза, требующие дополнительной проверки и не предполагающие повреждения.

Специалисты, непосредственно выполняющие погрузо-разгрузочные работы, с опытом учатся относить повреждения упаковки к одному из трёх видов, исходя из состояния повреждений. Передать эти навыки интеллектуально экспертной системе возможно, определив или установив критерии повреждений упаковки, свидетельствующие о вероятном повреждении груза.

Такими параметрами, например, для идентификации повреждений в результате воздействия внешних сил на картонную упаковку, могут быть длина и ширина разрыва, глубина вмятины, площадь намокания, значение деформации (рис. 8).

При разрыве упаковки длина l_1 будет указывать на высокую вероятность повреждения груза внутри упаковки, длина l_2 – на необходимость дополнительной проверки, длина l_3 не предполагает повреждения груза (рис. 8а).

В случае деформации упаковки соотношение высот h_1 и h_2 укажет на повреждение груза, соотношение высот h_3 и h_4 – на необходимость дополнительной проверки, соот-

ношение высот h_5 и h_6 – на отсутствие повреждения груза (рис. 8б).

При намокании упаковки площадь пятна s_1 укажет на повреждение груза, площадь s_2 – на необходимость дополнительной проверки, площадь s_3 – на отсутствие повреждения (рис. 8в).

Предельные значения параметров l , h и s устанавливаются опытным путём, затем настраиваются в процессе накопления нейросетью данных о повреждениях упаковки, свидетельствующих о повреждении грузов, и становятся характеристиками паттернов повреждений.

По результатам проведения в течении одного года экспертной оценки повреждений грузов, перевозимых в картонной упаковке с угловыми вставками из вспененного материала и дополнительно упакованных в потребительскую полиэтиленовую упаковку, выявлено, что при разрывах упаковки более 15 сантиметров в 80 % случаев груз оказывался повреждён. При разрывах менее 15 сантиметров в 90 % случаев груз оставался целым. При намокании более 30 % площади упаковки на грузе также обнаруживались следы воздействия влаги.

При наличии внутренней упаковки, в зависимости от её вида, повреждение внешней упаковки, свидетельствующее о повреждении груза, может быть отнесено к повреждению упаковки, требующему дополнительной проверки или к не предполагающему повреждению груза.

Вследствие того, что путём визуального осмотра, за исключением очевидных случаев, невозможно доподлинно установить, повреждён груз или нет, повреждённая упаковка указывает лишь на вероятность повреждения. Состояние груза в повреждённой упаковке требует дополнительной проверки, как и в случае обнаружения повреждённой упаковки специалистом, выполняющим погрузо-разгрузочные работы.

В процессе накопления опыта нейросеть научится распознавать едва заметные повреждения груза и незначительную деформацию.

Это будет способствовать повышению качества всего процесса транспортировки грузов, так как исключить даже малейшее изменение внешнего вида упаковки возможно только путём совершенствования процесса перевозки и выполнения сопутствующих операций с гру-

зом. Своевременное, до передачи грузополучателю, распознавание повреждённой упаковки способствует повышению эффективности всех транспортных процессов логистической компании.

В некоторых случаях нейросеть вынуждена будет распознать упаковку, которая имеет искусственные признаки повреждения как повреждённую. Например, когда нижняя часть упаковки имеет рисунок, схожий со следами намочения. Эта задача решается синхронизацией с изображением упаковки, полученным при погрузке в месте производства товара, что в свою очередь потребует внедрения соответствующих технологий по всей цепи поставок и интеграции нейросетевых систем в единую ИТС.

Внедрение ИТС, способной распознавать повреждённый груз не только при его выдаче, но и во всех местах перевалки и при погрузке, позволит определить, на каком этапе логистического процесса груз был повреждён.

В случае, если груз в упаковке был испорчен не в процессе перевозки, предложенная концепция позволяет исключить вину перевозчика и подтвердить качественную транспортировку.

Предложенная концепция позволяет не устанавливать новое дорогостоящее оборудование. Помимо камер видеонаблюдения, которые уже могли быть установлены в местах выполнения грузовых операций, необходимы лишь устройства для функционирования нейросети.

Кроме того, появится возможность собирать и обрабатывать большие статистические данные о местах и причинах повреждения груза, что может способствовать существенному изменению ситуации с порчей грузов во время перевозки и выполнения грузовых операций.

Научная эффективность настоящего исследования заключается в приросте знаний в области выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки в процессе выполнения логистических операций посредством использования возможностей машинного зрения и сверточных нейронных сетей.

Технологическая эффективность предлагаемого метода может быть определена через сравнительный анализ скорости выполнения операций контроля состояния груза и уровня необходимой квалификации персонала ком-



Рис. 8. Параметры поврежденной упаковки [составлено автором].

паний цепи поставок. Данные показатели положительно характеризуют предложенный метод по сравнению с другими.

Оценка экономической эффективности предлагаемого метода возможна с использованием качественных и количественных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование продемонстрировало возможность выявления повреждённых грузов по внешнему виду их упаковки с помощью искусственных нейронных сетей.

Предложенная концепция основывается на технологиях, позволяющих обучить нейросеть распознавать повреждённые грузы так, как это делает человек, специалист в данной области, на основе своих знаний и опыта. Такой подход к выявлению испорченных грузов и причин повреждения на данный момент массово не применяется.

Направление настоящего исследования соответствует общим тенденциям развития грузовых перевозок и логистических процессов с использованием инструментов, признанных прогрессивными преимущественной частью научного сообщества.

В результате обзора существующих разработок в области распознавания различных объектов, в том числе сложной формы, малых размеров и удалённых от средств фиксации изображения, сделаны выводы о целесообразности применения сверхточных нейронных



сетей для обучения ИТС распознаванию упаковки, даже незначительно изменившей внешний вид.

В процессе исследования также описаны характерные признаки некоторых поврежденных.

В результате исследования сформулирована идея применения инструментов искусственного интеллекта для распознавания поврежденного груза по внешнему виду упаковки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sezer, A. A., Fredriksson, A. Paving the Path towards Efficient Construction Logistics by Revealing the Current Practice and Issues. *Logistics*, 2021, Vol. 5, Iss. 3, p. 53. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>.

2. Roth, M., Klarmann, A., Franczyk, B. Future Logistics – Challenges, Requirements and Solutions for Logistics Networks. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 2013, Vol. 7, Iss. 10, pp. 898–903. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/260401798_Future_Logistics_-_Challenges_Requirements_and_Solutions_for_Logistics_Networks. Доступ 17.06.2022.

3. He, Yi; Sun, Changxin; Huang, Helai; Jiang, Liang; Ma, Ming; Wang, Pei; Wu, Chaozhong. Safety of micro-mobility: Riders' psychological factors and risky behaviors of cargo TTWs in China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2021, Vol. 80, pp. 189–202. DOI: 10.1016/j.trf.2021.04.001.

4. Козорезова О. Н. Ответственность перевозчика за несохранность груза по договору перевозки железнодорожным транспортом // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 2–9. – С. 137–140. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44878063>. Доступ 17.06.2022.

5. Горбуров В. Транспортная логистика. Правила профессионалов. – Литрес, 2022. – 330 с. ISBN 978-5-4493-9452-1.

6. StrategyR Influencer Driven. *Logistics Insurance World Market Report. Highlights & Report Index*. [Электронный ресурс]: <https://www.strategyr.com/market-report-logistics-insurance-forecasts-global-industry-analysts-inc.asp>. Доступ 17.06.2022.

7. Бусел А. А. Объект страхования как существенное условие договора транспортного страхования грузов // Вестник Полоцкого государственного университета, серия Д. Экономические и юридические науки. – 2021. – Т. 1. – № 6. – С. 160–164. [Электронный ресурс]: <https://elib.psu.by/handle/123456789/24342>. Доступ 17.06.2022.

8. De Andres Gonzalez, O., Koivisto, H., Mustonen, J., Keinänen-Toivola, M. Digitalization in Just-In-Time Approach as a Sustainable Solution for Maritime Logistics in the Baltic Sea Region. *Sustainability*, 2021, Vol. 13 (3), pp. 1173. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13031173>.

9. Захаров С. В. Теоретические подходы к формированию методик и инструментов анализа государствен-

ной политики транспортной системы. – Ростов-на-Дону: ООО «Форвардер», 2021. – № 22. – С. 62–69. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5115680>.

10. Мальшев М. И. Инновационные инструменты обеспечения омниканальности в управлении цепями поставок // Технологии информационного общества: Сб. трудов XVI Международной отраслевой науч.-техн. конференции, Москва, 02–03 марта 2022 года. – М.: ООО «Издательский дом Медиа публшер», 2022. – С. 256–258.

11. Holubčík, M., Koman, G., Soviar, J. Industry 4.0 in Logistics Operations. *Transportation Research Procedia*, 2021, Vol. 53, pp. 282–288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.040>.

12. Singh, R., Sharma, R., Akram, S. V., Gehlot, A., Buddhi, D., Malik, P. K., Arya, R. Highway 4.0: Digitalization of highways for vulnerable road safety development with intelligent IoT sensors and machine learning. *Safety Science*, 2021, Vol. 143, pp. 105407. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105407>.

13. He, Yunze; Deng, Baoyuan; Wang, Hongjin; Cheng, Liang; Zhou, Ke; Cai, Siyuan; Ciampa, F. Infrared machine vision and infrared thermography with deep learning: A review. *Infrared Physics & Technology*, 2021, Vol. 116 (2), pp. 103754. DOI: 10.1016/j.infrared.2021.103754.

14. Jiang, Hua Feng; Hao, Yuan; Yun, Qing Hu; Jun, Lin; Shi, Wang Liu; Xiao, Luo. Research on deep learning method for rail surface defect detection. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2020, Vol. 10, No. 4, pp. 436–442. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-est.2020.0041>. [Электронный ресурс]: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-est.2020.0041>. Доступ 17.06.2022.

15. Kheraki, A., Ouazzani, R. El. Deep convolutional neural networks architecture for an efficient emergency vehicle classification in real-time traffic monitoring. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 2022, Vol. 11, Iss. 1. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijai.v11.i1.pp110-120>.

16. Yépez, J., Castro-Zunty, R., Cho, Y., Seok-Bum, Ko [et al]. Real-time CVSA decals recognition system using deep convolutional neural network architectures. *IET Intelligent Transport Systems*, 2021, Vol. 15, Iss. 11, pp. 1359–1371. DOI: <https://doi.org/10.1049/itr2.12103>.

17. Uspenskiy, I. A., Yukhin, I. A., Ryabchikov, D., Rembalovich, G. K. Development and testing of a conveyor for detecting various types of vehicles when transporting agricultural products from the field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020, Vol. 832, Iss. 1, pp. 012059. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012059.

18. Song, Weidong; Jia, Guohui; Zhu, Hong; Jia, Di; Gao, Lin. Automated Pavement Crack Damage Detection Using Deep Multiscale Convolutional Features. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, Vol. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6412562>.

19. Мальшев М. И. Обзор исследований в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 58–71. DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-4-58-71.

20. Raut, R., Krit, S., Chatterjee, P. *Machine Vision for Industry 4.0: Applications and Case Studies*. CRC Press, 2022, 322 p. ISBN 9780367637125. ●

Информация об авторе:

Мальшев Максим Игорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, dicorus@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.07.2022, одобрена после рецензирования 06.09.2022, принята к публикации 08.09.2022.

• Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 61–72

Мальшев М. И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления поврежденных грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций