

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПОГРУЗЧИКОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

А.Е. Пугонин, магистрант
Сибирский федеральный университет
(Россия, г. Красноярск)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-6-2-126-131

Аннотация. В представленной статье исследуется качественная трансформация парка погрузчиков периодического действия в условиях перехода к Индустрии 4.0. Автор проводит анализ векторов модернизации конструкций, акцентируя внимание на вытеснении традиционных двигателей внутреннего сгорания литий-ионными и водородными силовыми установками. Обоснована концепция «интеллектуальной плотности» машин как основного критерия их конкурентоспособности на современном рынке. Впервые предлагается модель роевого взаимодействия автономных модулей на базе динамической буферизации, позволяющая превратить дискретные циклы перевалки грузов в непрерывный технологический поток. Сформулированные выводы и предложенные алгоритмы автоматизации открывают новые возможности для повышения эффективности складской и промышленной логистики.

Ключевые слова: вилочные погрузчики; периодическое действие; интеллектуальная плотность; роевой интеллект; литий-ионные технологии; автоматизация логистики.

Трансформация парка подъемно-транспортных машин наглядно иллюстрирует отказ от примитивной механизации в пользу сложных интеллектуальных комплексов. Эффективность оборудования оценивается не только тоннажем, но и скоростью обработки каждой паллеты. Если взглянуть на ретроспективу, становится ясно: за последние десятилетия погрузчики периодического действия превратились из обычного подсобного инвентаря в центральный узел логистики. Раньше на складах доминировали неповоротливые машины с ДВС и жестким управлением, но сегодня приоритеты сместились в сторону маневренных электрических платформ [1].

Рыночные показатели, проанализированные Е.А. Элькановой, обнажают прямую связь между взрывным ростом маркетплейсов и смежной записью бизнеса [2]. Складская логистика больше не нуждается в «просто погрузчиках». Нужны выносливые машины, готовые пахать круглосуточно без поломок.

Статистика подтверждает: компании перестали гнаться за дешевизной, выбирая дорогую технику с долгим сроком службы. Логика проста – аренда складов дорожает, приходится расти вверх, что требует ричтраков и штабелеров, способных ювелирно работать на огромной высоте [3].

Сегодняшний рынок буквально помешан на экологии и «цифре». Электропогрузчики активно вытесняют газовые и дизельные аналоги даже там, где раньше данное казалось невозможным [4]. Но главное даже не в типе двигателя. Современная высокопроизводительная единица – это, по сути, компьютер на колесах, который сам собирает данные и передает их в систему управления складом. Сейчас мало просто поднять груз. Нужно делать это в рамках единого цифрового контура. Выигрывают те бренды, которые встраивают в железо системы телеметрии, позволяющие предсказать поломку до того, как она случится [2]. Мы видим не просто замену старых машин новыми, а настоящий технологический скачок, меняющий саму суть складского труда.

Разнообразие современных логистических и строительных задач исключает существование универсальной машины, что привело к жесткой сегментации парка. Если попытаться систематизировать актуальный модельный ряд, то водораздел проходит не только по грузоподъемности, но и по кинематике рабочего оборудования, а также по специфике взаимодействия с грузом.

Вилочные модели остаются «золотым стандартом» для паллетированных грузов. Их эволюция, детально описанная Д.А. Семеновым, идет по пути минимизации радиуса разворота

и внедрения многосекционных мачт [3]. В закрытых распределительных центрах сегодня практически невозможно встретить технику с ДВС – здесь господствуют трехпорные и четырехпорные электропогрузчики. Их сфера применения ограничена твердыми ровными покрытиями, где критически важна точность позиционирования вил и возможность работы в узких межстеллажных проходах [4].

В отличие от складских собратьев, фронтальные погрузчики ориентированы на работу с инертными материалами в условиях строительных площадок или карьеров. Здесь на первый план выходит исследование динамических моделей, так как ковшовое оборудование создает колоссальные знакопеременные нагрузки на раму [5]. Основная сфера применения – перемещение грунта, щебня или песка, где требуется высокое вырывное усилие. Конструктив рассчитан на агрессивную среду и бездорожье, что делает их непригодными для стерильных условий логистических хабов.

Наиболее узкую, но технологически сложную нишу занимают бункерные погрузчики периодического действия. Их применение в тоннелестроении и горной добыче позволяет решить проблему прерывистости транспортного потока [6]. В отличие от фронтальных машин, задача «бункерника» – не просто зачерпнуть массу, а аккумулировать её и дозированно передать на конвейер или в вагонетку. Такие системы становятся незаменимыми при проходке тоннелей щитовым методом, где пространство ограничено диаметром выработки, а требования к производительности исключают использование стандартной колесной техники. Считаем, что разграничение сфер применения диктуется физикой процесса: вилочный погрузчик обеспечивает адресность хранения, фронтальный – объемную перевалку, а бункерный – технологическую стыковку добычного и транспортного звеньев.

Рассматривая конструктивную эволюцию погрузчиков, глупо отрицать, что эпоха грохочущих дизелей в закрытых цехах окончательно ушла в прошлое. Инженерная мысль бьется не над тем, как увеличить объем цилиндра, а над тем, как впихнуть максимум ампер-часов в ограниченный объем аккумуляторного отсека. Переход на литий-ионные (Li-ion) технологии стал тем самым триггером, который перевернул экономику владения парком ПРТ.

В отличие от капризных свинцово-кислотных батарей, литиевые накопители не требуют отдельных «зарядных комнат» с мощной вытяжкой и долгого простоя. Возможность «дробной» зарядки во время обеденного перерыва оператора позволяет эксплуатировать машину практически в режиме нон-стоп [1]. Конечно, критики указывают на высокую начальную стоимость, но, если посчитать снижение эксплуатационных расходов за три-четыре года – отсутствие обслуживания АКБ, меньший износ тормозной системы за счет рекуперации – выгода становится очевидной.

Более амбициозным вектором выглядит внедрение водородных топливных элементов. Здесь речь идёт уже не о простой замене одного типа батарей на другой, а о полноценной альтернативе в энергетике склада. Водородный погрузчик заправляется за три минуты, а на выходе мы получаем только чистый водяной пар и стабильный крутящий момент, который не падает по мере разряда, как у обычных «электричек» [4].

В данном контексте экологический след не является просто следствием моды или «зеленой» риторики, а представляет собой практический инструмент для сокращения расходов на мощные системы вентиляции и кондиционирования в логистических центрах. Внедрение таких силовых установок превращает погрузчик из «грязного» механизма в стерильный инструмент, пригодный для работы в фармацевтике или пищепроме, где малейший выхлоп критичен для продукции [2]. Мы видим, как конструкция машины адаптируется под требования нулевой эмиссии, сохраняя при этом жесткие графики погрузочно-разгрузочного цикла.

Когда речь заходит о работе в «закрытом грунте» – будь то тепличные комплексы, подземные хранилища или узкие технологические коридоры – стандартные инженерные решения пасуют перед физическими ограничениями пространства. Здесь погрузчик перестает быть просто тягачом и превращается в прецизионный инструмент, где каждый лишний сантиметр радиуса поворота означает риск повреждения инфраструктуры или продукции.

П.И. Павлов в своих работах справедливо подчеркивает, что производительность машин напорного действия в таких условиях напрямую зависит не от мощности двигателя, а от

адаптивности гидравлики и органов управления [7].

Главная проблема конструкторов – сочетание ограниченного объема воздуха и необходимости сохранять высокую тягу. В закрытом грунте использование традиционных ДВС практически исключено из-за проблем с вентиляцией и накоплением токсичных выбросов, губительных для растений или персонала. Поэтому акцент смещается на компактные электрические приводы с низким центром тяжести. Исследования Павлова доказывают: для эффективной работы в теплицах или на малых складах требуется специфическая настройка трансмиссии, позволяющая машине двигаться на сверхмалых скоростях без рывков, что критично при маневрировании между стеллажами.

Специфика «стесненности» диктует и особые требования к обзорности. Оператор в закрытом пространстве работает в условиях постоянного визуального дефицита. Современная адаптация включает установку камер кругового обзора и ультразвуковых датчиков дистанции, которые интегрируются в систему управления, принудительно ограничивая скорость при приближении к препятствию [3].

Интересно, что Павлов указывает на неочевидный фактор – давление на грунт. В тепличных хозяйствах или на многоуровневых мезонинах покрытие часто имеет ограниченную несущую способность. Адаптация здесь идет по пути использования шин с широким профилем и специальным составом резины, который не оставляет следов и гасит вибрации, предотвращая деформацию опорных поверхностей [7]. Таким образом, «специфические условия» – не просто теснота, а целый комплекс ограничений, превращающий погрузчик в узкоспециализированный технологический модуль.

В специфических условиях подземного строительства, где каждый квадратный метр выработки стоит колоссальных вложений, стандартная схема «погрузчик – самосвал» часто оказывается логистическим тупиком. А. С. Носенко в своих исследованиях детально препарирует эту проблему, указывая на критическую потерю темпов проходки из-за простоя транспортных звеньев [6]. Решением здесь выступает внедрение периодических бункеро-перегрузателей, которые играют роль своего рода «демпфера» или технологического

буфера между забоем и магистральным транспортом.

Инновационность подхода, описанного в трудах Носенко, заключается в синхронизации циклов разрушения породы и её эвакуации. Бункер-перегрузатель позволяет проходческому щиту или комбайну работать непрерывно: пока одна порция грунта аккумулируется в емкости, транспортное средство (вагонетка или конвейерная лента) успевает совершить маневр.

Техническая адаптация таких машин для тоннелестроения требует нестандартных компоновочных решений. Как отмечает авторский коллектив под руководством Носенко, ключевым фактором становится возможность работы в крайне стесненных условиях, где радиус поворота ограничен диаметром тоннеля. Внедрение автоматизированных систем контроля уровня заполнения бункера и распределения нагрузки на ходовую часть позволяет избежать перегрузов и поломок в условиях, когда ремонт практически невозможен из-за отсутствия свободного пространства.

Особый интерес вызывает интеграция бункеро-перегрузателей в состав роботизированных комплексов. Здесь мы видим переход от простого накопителя к «умному» узлу, который сам дозирует выдачу породы в зависимости от текущей пропускной способности конвейера. Изучив работы А.С. Носенко, мы пришли к выводу, что они задают вектор на полную автономизацию горнопроходческих работ, где роль человека сводится к дистанционному мониторингу параметров, а физический контакт с породой полностью перекладывается на плечи адаптивных механизированных систем.

Полемика вокруг экономической целесообразности тотальной автоматизации парка ПРТ сегодня достигает пика. Главный вопрос: оправдана ли замена живого оператора дорогостоящим программным кодом в условиях нестабильных логистических цепочек? Критики прогресса часто указывают на уязвимость сенсоров перед банальной пылью или вибрацией, которые сопровождают любой цикл погрузки [8]. На бумаге беспилотник идеален. В реальности же малейший сбой датчика лидара из-за тумана или температурного скачка в неотопляемом ангаре превращает

высокотехнологичный модуль в грудку неподвижного металла.

Существует серьезный разрыв между лабораторными моделями и суровой практикой эксплуатации. Системы управления, претендующие на соответствие стандартам Industry 4.0, нередко пасуют перед хаотичностью реального склада. Человеческий глаз мгновенно распознает деформированный поддон или рассыпавшийся груз, тогда как алгоритм может воспринять препятствие как критическую ошибку, парализуя работу всей зоны [9]. Исследователи, включая А.В. Серкова, признают: математические модели пока недостаточно учитывают стохастическую природу взаимодействия ковша с неоднородными средами [5].

Препятствия внедрения носят не только технический, но и инфраструктурный характер. Полная автономия требует стерильной чистоты и идеальной разметки, что практически недостижимо на старых производственных площадках. Приходится признать наличие конфликта между стремлением к «цифровому двойнику» предприятия и реальным состоянием материальной базы. Интеллектуализация погрузчика – не панацея, а инструмент, требующий колоссальных вложений в обучение персонала и перестройку всех смежных процессов. Без комплексного апгрейда самой среды обитания машины внедрение ИИ рискует остаться дорогостоящим экспериментом, не приносящим реальной прибыли в краткосрочной перспективе. Скептицизм практиков здесь вполне обоснован. Консерватизм отрасли диктуется не страхом перед новым, а трезвым расчетом рисков простоя сложной техники.

Финальный вектор эволюции подъемно-транспортного оборудования направлен в сторону создания экосистемы, где машина

перестает быть обособленным инструментом. Интеграция с WMS-системами (Warehouse Management System) превращает обычный погрузчик в активный узел цифровой сети. Обмен данными происходит мгновенно. Бортовой компьютер получает задание напрямую из «облака», оптимизируя маршрут движения с учетом загруженности проездов и приоритетности заказов. Такая связка исключает холостые пробеги, которые в традиционных схемах составляют до 30% рабочего времени [2].

Роботизация и искусственный интеллект меняют саму архитектуру управления. Мы наблюдаем постепенный отказ от классической иерархии «оператор – машина» в пользу концепции роевого интеллекта. Группа автономных модулей взаимодействует между собой без участия диспетчера, распределяя задачи в реальном времени подобно биологическим системам. Если один блок выходит из строя или занят на приоритетном участке, соседние единицы перестраивают алгоритм захвата груза, чтобы исключить затык в логистической цепочке.

Предлагаемая концепция базируется на пересмотре роли промежуточных звеньев внутри логистической цепи. Традиционные исследования А.С. Носенко трактует периодические бункеры-перегрузчики преимущественно как механические демпферы для компенсации пауз в транспортировке породы [6]. Авторский подход предполагает трансформацию подобного оборудования в интеллектуальный информационный узел. Суть организационной новизны заключается в разработке модели динамической буферизации, где группа погрузчиков функционирует как единый «рой». Состояние такого узла в любой момент времени t можно описать через баланс входящих и исходящих потоков «роя»:

$$\frac{dV_j(t)}{dt} = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) * \delta_i - \mu_j(t) * n_j \quad (1)$$

Здесь $V_j(t)$ отражает текущий объем груза в накопителе, а переменные δ_i и n_j фиксируют готовность погрузчиков к передаче данных. Суть организационной новизны заключается в разработке модели динамической буферизации, где группа погрузчиков функционирует как единый «рой».

В рамках предложенной схемы автономные единицы техники не просто выполняют линейное перемещение груза. Машины ведут непрерывный меагрегатный обмен данными о степени заполнения временных накопителей. Самостоятельное перераспределение нагрузки происходит без прямой инициации команд со стороны централизованной WMS. Решение о

векторе движения конкретного погрузчика P_i принимается на основе минимизации функционала ожидания J :

$$J_i = \min_{j \in m} \left(\frac{L_{ij}}{v_i} + \frac{V_j(t)}{C_j * \mu_j} \right) \quad (2)$$

Параметры L_{ij} и v_i учитывают расстояние и скорость с приоритетом энергосбережения, что позволяет технике автономно выбирать оптимальный целевой узел. Решение принимается на основе локальной плотности данных в точках перегрузки. В итоге минимизируются простои и исключается эффект «бутылочного горлышка».

Применение алгоритмов превращает набор механизмов в адаптивную саморегулирующуюся систему. Прогноз развития отрасли однозначен: кабина как рабочее место скоро станет пережитком прошлого. Будущее принадлежит безэкипажным платформам, способным к самообучению на основе накопленных данных о трафике и специфике хранимой номенклатуры. Использование нейросетевых моделей позволит технике предсказывать пиковые нагрузки, заранее перемещая востребованные паллеты ближе к зоне отгрузки. Переход к полной автономности – создание среды, где скорость и точность операций ограничены лишь законами физики, а не реакцией водителя [6]. Итогом станет превращение склада в единый живой механизм, функционирующий с математической безупречностью.

Выводы

1. Проведенный обзор технологического ландшафта подтверждает: отрасль переживает глубокую структурную трансформацию. Эра экстенсивного наращивания мощности завершена. Современный рынок диктует иные правила, где побеждает не самый грузоподъемный, а самый «умный» механизм. Резюмируя выявленные тенденции, стоит выделить доминирование электрических силовых установок и систем предиктивного анализа, которые становятся базовым требованием для любого складского хаба.

Реализация описанной модели радикально меняет природу технологического процесса. Когда бункер перестает быть пассивной емкостью и начинает выступать активным регулятором трафика, дискретный цикл фактически трансформируется в непрерывный поток. Математически доказательством служит стремление коэффициента пульсации трафика K_p к нулю:

$$K_p = \frac{\sigma(\Phi_{out})}{\Phi_{out}} \rightarrow 0 \quad (3)$$

2. Гипотеза о приоритете интеллектуальной плотности над физическими характеристиками находит прямое подтверждение в эволюции систем управления. Способность машины самостоятельно выстраивать траекторию, минимизировать пустые пробеги и контролировать остаток заряда аккумулятора даеткратно больший экономический эффект, чем простое увеличение объема ковша или высоты мачты. Погрузчик превращается в полноценного субъекта цифровой среды. Он не просто перемещает поддон, а оптимизирует пространство склада в режиме реального времени, интегрируясь в общие контуры управления предприятием.

3. Фактор конкурентоспособности сегодня сместился в область программного обеспечения и алгоритмизации. Выигрывают производители, предлагающие не кусок металла, а готовое логистическое решение с открытым API для стыковки с WMS-системами [6]. Будущее за беспилотными платформами, чей КПД ограничен лишь скоростью передачи данных и надежностью сенсорного оборудования. Считаем, что, развитие погрузочной техники периодического действия окончательно перешло из плоскости классической механики в сферу высоких технологий и искусственного интеллекта. Машина будущего – это автономный агент, чья ценность определяется гибкостью настройки под меняющиеся задачи бизнеса.

Библиографический список

1. Семенов Д.А. Современные тенденции развития вилочных погрузчиков / Д.А. Семенов // Грузовик. – 2021. – № 5. – С. 36-40. – EDN KHBVTS.
2. Эльканова Е.А., Киндяков Н.А., Чермошенцев А.П. Анализ рынка погрузчиков: складская логистика // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17. – № 1S. – С. 108.
3. Семенов Д.А. Современные тенденции развития вилочных погрузчиков / Д.А. Семенов // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 1. – С. 14-19. – EDN EFTBIL.
4. Панченко Д.Р. и др. Перспективы развития вилочных погрузчиков // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. – 2025. – № 1 (14). – С. 73-82.
5. Серков А.В., Баранов А.С., Алехина А.М. Исследование динамической модели фронтального ковшового погрузчика // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. – 2023. – № 4 (9). – С. 40-44.
6. Nosenko A.S. Applying periodic hopper-reloaders when driving traffic tunnels by the heading method / A.S. Nosenko, A.A. Domnitskii, V.V. Nosenko [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2024. – № 4. – Р. 8-16. – DOI 10.21440/0536-1028-2024-4-8-16. – EDN HKMICZ.
7. Павлов П.И. Производительность погрузчиков напорного действия, работающих в условиях закрытого грунта / П.И. Павлов, А.О. Везиров, А.В. Левченко, И.Л. Дзюбан // Наука в центральной России. – 2025. – № 2(74). – С. 7-13. – DOI 10.35887/2305-2538-2025-2-7-13. – EDN DYCNKD.
8. Васильчиков В.В. Обоснование выбора устройства автоматизированного контроля режимных параметров фронтальных погрузчиков периодического действия / В.В. Васильчиков, А.С. Беляева, А.А. Богомолова, А.М. Никитина // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова, Саратов, 03 октября 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 15-20. – EDN HMZLRF.
9. Семенов Д.А. Автоматизация рабочего цикла вилочного погрузчика // Научные известия. – 2022. – № 28. – С. 201-203.

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF PERIODIC LOADERS

A.E. Pugonin, Graduate Student
Siberian Federal University
 (Russia, Krasnoyarsk)

Abstract. This article explores the qualitative transformation of the intermittent forklift fleet in the context of the transition to Industry 4.0. The author analyzes design modernization vectors, focusing on the displacement of traditional internal combustion engines by lithium-ion and hydrogen power plants. The concept of "intelligent density" of forklifts is substantiated as the primary criterion for their competitiveness in the modern market. A model of swarm interaction between autonomous modules based on dynamic buffering is proposed for the first time, enabling the transformation of discrete cargo handling cycles into a continuous process flow. The conclusions and proposed automation algorithms open up new opportunities for improving the efficiency of warehouse and industrial logistics.

Keywords: forklifts; intermittent operation; intelligent density; swarm intelligence; lithium-ion technologies; logistics automation.