

УДК 621**ВЫБОР ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ЗАГРУЗКИ
ОБОРУДОВАНИЯ, ТРАНСПОРТНЫХ И СКЛАДСКИХ РАБОТ В
МАШИНОСТРОЕНИИ**

Иванов Дмитрий Максимович
Научный руководитель: Чичерин Иван Владимирович
КузГТУ, г. Кемерово

Введение

Роботизация в машиностроении чаще всего ассоциируется со сваркой, окраской или сборкой, однако на многих предприятиях большой резерв производительности находится не в самой обработке, а в обслуживании оборудования. Рабочий подает заготовку к станку, снимает обработанную деталь, перекладывает ее в тару, перемещает между операциями, ведет учет партии и следит за накопителем. Каждое отдельное действие выглядит простым, но в сумме оно занимает значительную часть сменного времени и часто ограничивает использование дорогостоящих станков с ЧПУ. Поэтому выбор робота для загрузки, транспортных и складских работ нельзя сводить только к покупке манипулятора с подходящей грузоподъемностью. Нужно рассматривать весь участок: станок, приспособления, тару, транспортные связи, систему безопасности, обслуживание и качество заготовок.

В нормативной и учебной литературе промышленный робот рассматривается как автоматически управляемый, перепрограммируемый манипулятор, предназначенный для выполнения задач в промышленной среде. Для машиностроительного предприятия это определение важно практически: робот должен быть не одноцелевым механизмом, а перенастраиваемым средством автоматизации. Если завтра изменится номенклатура деталей, он должен сохранить полезность хотя бы после замены захвата, корректировки программы и переналадки оснастки. Поэтому грамотный выбор начинается с ответа на вопрос, какую производственную проблему решает робот: сокращение простоев станка, уменьшение ручного тяжелого труда, стабилизацию качества, повышение сменности работы или организацию гибкого участка.

Исходные данные для выбора робота

Первый этап выбора - сбор исходных данных по детали и операции. Для загрузки оборудования фиксируют массу заготовки и готовой детали, габариты, положение центра тяжести, шероховатость поверхности, наличие острых кромок, масла, стружки, окалины или литников. От этих параметров зависит не только грузоподъемность робота, но и тип захвата. Для гладких листовых деталей могут быть удобны вакуумные присоски, для ферромагнитных заготовок - магнитные захваты, для тел вращения - самоцентрирующиеся механические губки. ГОСТ 26063-84 выделяет

механические, вакуумные, магнитные и прочие захватные устройства, а также задает номенклатуру основных параметров для их присоединения к роботу [3]. Это подтверждает, что выбор рабочего органа является самостоятельной инженерной задачей, а не второстепенным дополнением к манипулятору.

Второй блок данных относится к технологическому оборудованию. Необходимо знать высоту загрузочной зоны, направление подхода к патрону или приспособлению, ход дверей, наличие автоматического зажима, продувки, контроля базирования, сигналов готовности станка и интерфейса обмена с ЧПУ. Если робот физически достает до патрона, но не может безопасно войти в рабочую зону из-за ограждений, стола или конвейера, проект придется переделывать. При обслуживании нескольких станков дополнительно строят схему движения робота или портального модуля и проверяют, не возникает ли пересечение траекторий с оператором, тележкой, накопителем инструмента и дверями станков.

Третий блок - требуемая производительность. Ее нельзя оценивать только по паспортной скорости робота. Цикл загрузки включает ожидание сигнала от станка, открытие двери, вход в рабочую зону, съём детали, возможную обдувку, установку новой заготовки, проверку зажима, выход и закрытие двери. В результате один и тот же манипулятор может быть избыточным для длинного токарного цикла и недостаточным для короткой операции на автоматической линии. Поэтому расчет проводят по полной циклограмме, а затем оставляют запас времени на остановки, контроль, обслуживание захвата и накопителей.

Выбор робота для загрузки и разгрузки оборудования

Для загрузки металлорежущего оборудования в машиностроении чаще применяют шарнирные шестиосевые роботы, портальные роботы, линейные манипуляторы и специальные автооператоры. Шестиосевой робот удобен, когда детали имеют разную ориентацию, требуется обход препятствий, обслуживание нескольких станков или совмещение загрузки с дополнительными действиями: обдувкой, измерением, маркировкой, укладкой в тару. Его сильная сторона - универсальность. Недостаток состоит в том, что рабочая зона сложна по форме, а доступность точек зависит от положения всех осей. Поэтому при выборе необходимо проверять не только максимальный радиус, но и реальные траектории с учетом ориентации захвата.

Портальный робот рационален, когда операция повторяется, оборудование расположено в линию, а детали перемещаются по прямоугольной схеме. Такая компоновка хорошо подходит для загрузки группы станков, автоматических линий и участков, где напольное пространство нужно сохранить свободным. Портал проще согласовать с накопителями и конвейерами, но он хуже переносится на другую планировку. Если предприятие выпускает широкую номенклатуру деталей и часто переставляет оборудование, шестиосевой робот обычно дает большую

гибкость. Если же участок рассчитан на стабильную серию, порталный вариант может быть надежнее и понятнее в обслуживании.

Грузоподъемность выбирают с учетом массы детали, массы захвата, переходной плиты, датчиков, шлангов и возможной динамической нагрузки при ускорениях. В учебных расчетах иногда ограничиваются формулой 'масса детали плюс масса захвата', но на практике этого мало. Желателен запас, особенно при работе с несимметричными заготовками. Если деталь длинная, тяжелая и смещает центр тяжести от фланца, робот с формально достаточной грузоподъемностью может оказаться перегруженным по моментам на осях. Поэтому паспортную грузовую диаграмму нужно анализировать вместе с конструктором захвата.

Точность позиционирования для загрузки станка не всегда должна быть микронной, поскольку окончательное базирование выполняет патрон, призма, паллета или приспособление. Но робот обязан повторяемо подать заготовку в зону захвата без удара и перекоса. При посадке в оправку, установке в узкую ячейку или загрузке деталей с малым зазором требуется либо высокая повторяемость, либо компенсирующие устройства: плавающий фланец, направляющие, датчик усилия, машинное зрение. Для операций загрузки особенно важна не абсолютная точность в пространстве цеха, а устойчивость повторения в конкретной технологической оснастке.

Захватные устройства и вспомогательная оснастка

Захватное устройство часто определяет успешность всего проекта. В отличие от сварочной горелки, захват взаимодействует с деталями, которые могут иметь разброс размеров, загрязнение, заусенцы и разную температуру. Для загрузки токарных станков удобно применять двойной захват: одна пара губок снимает готовую деталь, другая сразу устанавливает новую заготовку. Это сокращает время нахождения робота в зоне станка и уменьшает простой оборудования. Для фрезерных центров с паллетами может быть эффективнее не брать каждую деталь отдельно, а перемещать приспособление или кассету. Такой вариант увеличивает массу перемещаемого объекта, но упрощает базирование и делает процесс более устойчивым.

Выбор захвата связан с риском повреждения изделия. Вакуумные присоски хорошо работают с листами и плоскими поверхностями, но чувствительны к пористости, маслу и окалине. Магнитные захваты просты для стальных деталей, однако требуют контроля остаточного магнитного поля и не подходят для цветных сплавов. Механические губки универсальны, но требуют расчетов усилия зажима и формы контактных поверхностей. Для заготовок после термообработки или литья нужно учитывать температуру и абразивность поверхности. Если на предприятии выпускают разные типоразмеры, целесообразно предусмотреть быстросменные губки или автоматическую смену захвата.

Накопители и тара не менее важны, чем сам робот. Неряшливо организованная подача заготовок превращает роботизированный участок в полуавтоматический: оператор постоянно поправляет детали, убирает

перекосы и контролирует наличие заготовок. При выборе робота следует сразу проектировать кассеты, лотки, вибробункеры, магазины, паллеты или конвейеры. Для серийных деталей выгодны специализированные кассеты с точным положением каждой заготовки. Для мелкосерийного производства лучше использовать универсальную тару и техническое зрение, но это повышает стоимость и усложняет программирование.

Роботы для транспортных работ

Транспортные операции в машиностроительном цехе включают перемещение заготовок от склада к станкам, передачу деталей между операциями, возврат тары, подачу инструмента, доставку комплектующих и вывоз готовой продукции. Здесь выбор идет не только между разными манипуляторами, но и между принципами организации потока. Если маршрут короткий и жестко связан с линией, достаточно конвейера или портального перегружателя. Если детали нужно перевозить между удаленными участками, применяют автоматические тележки, мобильные роботы, роботизированные тягачи или автономные платформы с надстройками.

Для транспортного робота основными параметрами становятся грузоподъемность платформы, габариты перевозимой тары, способ навигации, радиус разворота, скорость, точность остановки у станции, время зарядки и безопасность движения рядом с персоналом. В отличие от робота-загрузчика, транспортный робот редко выполняет точное базирование детали. Его задача - вовремя доставить партию в нужное место и не нарушить ритм участка. Поэтому при проектировании важно согласовать его работу с системой диспетчеризации, складским учетом и расписанием станков. Робот без связи с производственным планом может ездить правильно, но доставлять не те партии или создавать очереди у оборудования.

В условиях машиностроения транспортный робот должен учитывать состояние пола, ширину проездов, наличие стружки, масляных загрязнений и пересечение с обычными погрузчиками. Для тяжелых деталей часто выгоднее не стремиться к высокой скорости, а обеспечить надежную фиксацию груза, устойчивость тары и понятную схему обмена с рабочими местами. На небольшом участке автоматическая тележка может быть экономически слабее простого рольганга, но на распределенном производстве она дает гибкость: маршрут можно менять программно, не перестраивая механическую линию.

Роботы для складских работ и паллетирования

Складские работы в машиностроении имеют свои особенности. В отличие от склада готовых потребительских товаров, здесь часто хранятся тяжелые заготовки, литые и кованые детали, оснастка, инструмент, ящики с крепежом, паллеты с комплектующими. Роботизация склада может решать разные задачи: автоматическое паллетирование, укладку деталей в кассеты, обслуживание стеллажей, подачу паллет к станкам, учет перемещения тары. Поэтому перед выбором робота нужно разделить складские операции на манипуляционные и транспортно-накопительные.

Для паллетирования используют роботы с большой рабочей зоной и достаточной грузоподъемностью. Здесь точность обычно ниже, чем при загрузке станка, но важны скорость, устойчивость штабеля и способность работать с разной тарой. Захват может брать одну деталь, группу деталей, короб, ящик или весь слой. Если изделие имеет необработанные поверхности, допускается более простая оснастка. Если паллетируются обработанные детали, требуется защита от ударов и прокладки между слоями. При выборе робота важно проверить высоту будущего штабеля: иногда грузоподъемности хватает, но вертикального хода или ориентации запястья недостаточно для верхних рядов.

Для автоматизированных складов с ячейками и стеллажами применяют не только классические манипуляторы, но и штабелеры, краны-штабелеры, линейные модули и мобильные платформы. В машиностроительном производстве особенно полезна связь склада с производственным маршрутом: роботизированный склад должен выдавать не просто любую партию, а именно ту, которая нужна для текущего задания. Если такая связь не налажена, дорогая техника будет выполнять функции обычного механизированного склада. Поэтому робот для склада выбирают вместе с системой учета, маркировкой тары, правилами адресного хранения и организацией контроля качества.

Сравнение основных вариантов

Ниже приведено обобщенное сравнение вариантов роботов и роботизированных устройств, применяемых для загрузки, транспортных и складских работ. Таблица намеренно упрощена: в реальном проекте каждый вариант уточняется по конкретным деталям, планировке и режиму работы.

Вариант	Где применять	Главное преимущество	На что обратить внимание
Шестиосевой промышленный робот	Загрузка станков, укладка в тару, обслуживание нескольких позиций	Гибкость и сложные траектории	Проверка досягаемости, грузовой диаграммы и безопасности
Портальный робот	Линии станков, передача деталей по прямоугольной схеме	Рациональное использование пола, простая логика движения	Меньшая гибкость при перестановке оборудования
Мобильный робот или автоматическая тележка	Внутрицеховая доставка тары и заготовок	Изменяемые маршруты без перестройки конвейеров	Навигация, зарядка, состояние пола, диспетчеризация

Паллетирующий робот	Склад, упаковка, укладка деталей и ящиков	Высокая производительность при повторяемой операции	Высота штабеля, устойчивость груза, тип захвата
------------------------	---	--	--

Экономические и организационные критерии

Даже технически подходящий робот может оказаться неудачным, если его выбирали без экономической модели. Для загрузки станка основной эффект обычно связан с увеличением фактического времени работы оборудования. Если станок дорогой и простаивает из-за ручной загрузки, робот окупается быстрее. Если же обработка длится долго, а оператор одновременно обслуживает несколько единиц оборудования, экономия может быть скромнее. Поэтому оценивают не только зарплату высвобождаемого работника, но и прирост выпуска, снижение брака, повышение сменности, уменьшение травмоопасных операций и стабильность качества.

Важным критерием является коэффициент загрузки самого робота. Иногда предприятие покупает мощный манипулятор для одной короткой операции, и большую часть смены он простаивает. Более рационально рассмотреть обслуживание двух-трех станков, совмещение загрузки с измерением или укладкой, а также возможность переналадки на другую деталь. Однако чрезмерное объединение операций тоже опасно: робот становится узким местом, и остановка одного элемента останавливает весь участок. Хороший проект сохраняет баланс между загрузкой робота и устойчивостью производства.

Нужно учитывать подготовку персонала. Роботизированный участок требует наладчика, специалиста по программированию, механика по захватам и инженера, который понимает связь робота со станком. ГОСТ 12.2.072-98 относит безопасность к обязательным вопросам проектирования, эксплуатации, ремонта и обслуживания роботизированных технологических комплексов [4]. Поэтому обучение персонала, инструкции, режимы ручной наладки, зоны доступа и порядок восстановления после аварийной остановки должны быть заложены в проект до запуска, а не после первой нештатной ситуации.

Безопасность и интеграция

Безопасность выбора робота начинается с планировки. Опасная зона должна быть определена по реальным траекториям, включая худшие положения руки, захвата и детали. Ограждения, световые завесы, замки дверей, аварийные кнопки, безопасные скорости наладки и блокировки станка должны работать как единая система. Особое внимание уделяется загрузке тяжелых деталей: при потере питания или падении давления в пневмосистеме захват не должен самопроизвольно отпустить груз. Для этого используют

обратные клапаны, механические фиксаторы, контроль разрежения, датчики присутствия детали и безопасные положения ожидания.

Интеграция с оборудованием включает обмен сигналами. Станок должен сообщать о готовности к загрузке, завершении обработки, положении двери, состоянии зажима и авариях. Робот, в свою очередь, передает команды открытия/закрытия, подтверждает установку детали и освобождение зоны. Для складских и транспортных операций нужна связь с системой учета. На простом участке достаточно дискретных сигналов и панели оператора, на более сложном - промышленной сети, сервера заданий, штрихкодов или RFID-меток. Чем больше номенклатура, тем важнее исключить человеческую ошибку при выборе программы и партии.

Перед покупкой желательно провести имитационную проверку. В цифровой модели можно оценить досягаемость, столкновения, примерный цикл и размещение оборудования. Но модель не заменяет технологическую проработку: нужно проверить реальные заготовки, способы базирования, загрязнение, стабильность размеров и удобство обслуживания. На практике полезен пробный захват детали и испытание на макете рабочей зоны. Это дешевле, чем переделывать уже установленный комплекс.

Типичные ошибки выбора

Первая распространенная ошибка - выбор робота только по максимальной грузоподъемности и радиусу действия. В каталогах эти параметры выглядят главными, но они не показывают, сможет ли робот подойти к детали под нужным углом, удержать смещенный груз и выполнить цикл без столкновений. Поэтому на раннем этапе нужно требовать не просто коммерческое предложение, а проверку компоновки: схему рабочей зоны, расположение шкафа управления, подвода воздуха и кабелей, ограждений, накопителей и мест обслуживания. Иногда более слабый робот, правильно расположенный у станка, работает лучше, чем мощная модель, поставленная в неудобную точку.

Вторая ошибка - недооценка разнообразия деталей. На бумаге участок может называться серийным, но фактически партии отличаются диаметрами, длиной, способом базирования и видом тары. Если это не учесть, после запуска начнутся постоянные ручные переналадки. Для таких условий целесообразно заранее разделить детали на технологические группы и выбрать для каждой группы тип захвата, кассету и программу. Иначе робот будет работать только на самой простой детали, а остальные операции останутся ручными.

Третья ошибка - покупка робота без подготовки окружающей инфраструктуры. Роботизированная загрузка требует автоматической двери станка, надежного зажима, удаления стружки, контроля наличия детали, удобной подачи заготовок и стабильной тары. Транспортный робот требует свободных маршрутов, разметки, мест ожидания и правил движения. Складской робот требует адресного хранения и маркировки. Поэтому правильный алгоритм выбора выглядит так: описать поток материалов,

выделить узкое место, разработать компоновку, подобрать захват и тару, рассчитать цикл, проверить безопасность, а уже затем выбирать конкретную модель робота и поставщика интеграции. В этом алгоритме важно привлекать технолога, наладчика, специалиста по охране труда и представителя будущей эксплуатации, потому что каждый из них видит свои ограничения. Технолог отвечает за базирование и качество детали, наладчик - за переналадку, служба безопасности - за доступ в опасную зону, а эксплуатация - за ремонтпригодность и наличие запасных частей.

Заключение

Выбор промышленных роботов для загрузки оборудования, транспортных и складских работ в машиностроении должен выполняться как выбор элемента производственной системы, а не как выбор отдельной машины. Для загрузки станков главными параметрами являются реальная досягаемость, грузовая диаграмма, повторяемость, скорость полного цикла, надежный захват и согласование со станком. Для транспортных работ важнее маршрут, грузовая тара, диспетчеризация, безопасность движения и устойчивость работы в условиях цеха. Для складских операций решающими становятся адресное хранение, паллетирование, учет партий и связь с производственным планом.

Наиболее правильный порядок действий можно представить так: сначала анализируют деталь и маршрут, затем выбирают принцип организации потока, после этого подбирают тип робота, захват, накопители, систему безопасности и способ обмена данными. Только затем имеет смысл сравнивать конкретные модели и производителей. Такой подход снижает риск покупки избыточного или неподходящего оборудования. Роботизация вспомогательных операций не всегда выглядит эффектно, но именно она часто позволяет станкам работать стабильнее, уменьшить ручной тяжелый труд и приблизить участок к гибкому автоматизированному производству.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ИСО 8373:2021. Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2023.
2. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения.
3. ГОСТ 26063-84. Роботы промышленные. Устройства захватные. Типы, номенклатура основных параметров, присоединительные размеры.
4. ГОСТ 12.2.072-98. Роботы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний.
5. Козырев Ю. Г. Применение промышленных роботов: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2016. 494 с.
6. Юревич Е. И. Основы робототехники. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1985.

7. Черпаков Б. И., Вереина Л. И. Технологическое оборудование машиностроительного производства: учебник. 4-е изд., перераб. М.: Академия, 2012. 448 с.
8. Моисеев Ю. И. Применение промышленных роботов для загрузки металлообрабатывающего оборудования: учебное пособие. Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2013. 170 с.
9. Кравченко А. С. Транспортное оборудование. Роботы и манипуляторы: учебно-методическое пособие. Минск: БГТУ, 2006. 54 с.
10. Громов В. С., Борисов О. И., Синетова М. М. Программирование промышленных роботов серии Mitsubishi Melfa: учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2023. 80 с.
11. Кочергин А. И., Бабак Т. Н. Анализ конструкции промышленного робота: учебно-методическое пособие. Минск: БНТУ, 2021. 44 с.
12. Карпова Т. Тренды роботизации в машиностроении // РИТМ машиностроения. 2024. № 2.