1. Требования к эксплуатации транспортных средств с магнитным наведением

При эксплуатации узкопроходных транспортных средств, помимо требований к самой технике, предъявляются дополнительные требования к ровности пола на рабочей площадке.
Поверхность пола должна выдерживать вертикальные и горизонтальные нагрузки и соответствовать требованиям допуска по ровности дорожного покрытия согласно директиве VDMA (на основании стандарта DIN 18202).
Только при полном соответствии минимальным стандартам VDMA можно гарантировать оптимальные эксплуатационные характеристики техники и производительность.
Проверку ровности пола необходимо выполнять сразу после завершения установки оборудования и до начала дальнейших работ.
Работы по устройству пола должны выполняться в соответствии со следующими техническими нормами.

1.1. Основание

1.1.1. Несущее основание

Несущая подоснова должна быть спроектирована в соответствии с DIN EN 1045, части 1 и 2, выполнена из бетона не ниже класса B25 и соответствовать требованиям DIN 18202.

1.2. Рабочая поверхность (верхний слой)

1.2.1. Толщина покрытия

Согласно DIN EN 18560, часть 7, таблица 1 (для помещений с воздействием масел и жиров), толщина промышленного пола должна составлять приблизительно 10–30 мм и соответствовать требованиям ко второй категории нагрузок (средняя нагрузка).

1.2.2. Требования к поверхности пути с магнитной лентой

Поверхность движения транспортного средства должна:

- иметь антискользящие свойства (коэффициент трения $\mu \geq 0{,}5$);
- быть сухой и чистой от масла и загрязнений;
- не подвергаться пластическим деформациям под нагрузкой;
- обеспечивать соответствие тормозному пути по стандарту ISO 6292;
- иметь сопротивление заземления $RE \leq 10^6$ Ом (в соответствии с DIN EN 1081).

1.2.3. Требования к общей ровности пола

Общая ровность поверхности должна строго соответствовать техническим требованиям, не выходя за пределы допустимых отклонений.
Простое шлифование пола по направляющим не обеспечивает требуемой для узкопроходных транспортных средств точности по стандарту.

1.2.4. Разрывы и неровности в полу

Если на поверхности имеются траншеи, люки или другие разрывы, расстояние от них до траектории движения транспортного средства должно быть не менее 200 мм. Рекомендуется избегать размещения подобных элементов внутри рабочего коридора.

1.2.5. Механическая обработка поверхности

При использовании индуктивных или механических направляющих систем допускается фрезеровка или шлифовка отдельных путей движения в коридоре для достижения требуемой ровности, при условии, что не будет образовано заметных визуальных или ощутимых перепадов высоты.

1.3. Допуски по ровности пола

Настоящий раздел разработан на основании директивы VDMA «Требования к напольным покрытиям при эксплуатации сверхузкопроходных промышленных транспортных средств».
По сравнению с остальными зонами склада, требования к ровности пола в сверхузких проходах значительно строже.
В зонах сверхузких проходов и участках, где техника движется с повышенной нагрузкой, необходимо строго соблюдать допуски, установленные директивой VDMA (см. таблицы 1, 2 и 3).
Для остальных зон склада ровность пола должна соответствовать таблице 3, строке 3 стандарта DIN 18202.

Нормативы ровности пола для сверхузких проходов оцениваются по трём параметрам:

- Поперечные перепады высоты пути движения
- Продольные перепады высоты пути движения
- Волнообразные колебания поверхности

Эти три фактора оказывают решающее влияние на устойчивость и управляемость техники. Несоблюдение нормативов может привести к снижению эффективности транспортных операций и росту износа узлов машины.

1.3.1. Поперечные перепады высоты на пути движения

Согласно директиве VDMA, поперечные отклонения от уровня поверхности должны соответствовать стандарту DIN 18202 (см. таблицу 1).

Таблица 1 — Допустимые поперечные перепады высоты

Высота подъёма (м)	**Коэффициент наклона Zslope**	**Допустимый перепад Δz = Z × Zslope**
До 6 м	2,0 мм/м	Δz = Z × 2,0 мм/м
10 м	1,5 мм/м	Δz = Z × 1,5 мм/м
15 м	1,0 мм/м	Δz = Z × 1,0 мм/м

При высоте подъёма более 6 м значения определяются интерполяцией (см. рисунок 2).

Обозначения:

- **Zslope** — допустимый уклон (в мм/м); определяет максимальный поперечный наклон между центрами колёс нагрузки промышленного транспортного средства.
- **Z** — расстояние между центрами опорных (нагрузочных) колёс транспортного средства (в метрах).
- **ΔZ** — максимально допустимая разность высот между центрами колёс нагрузки (в мм).

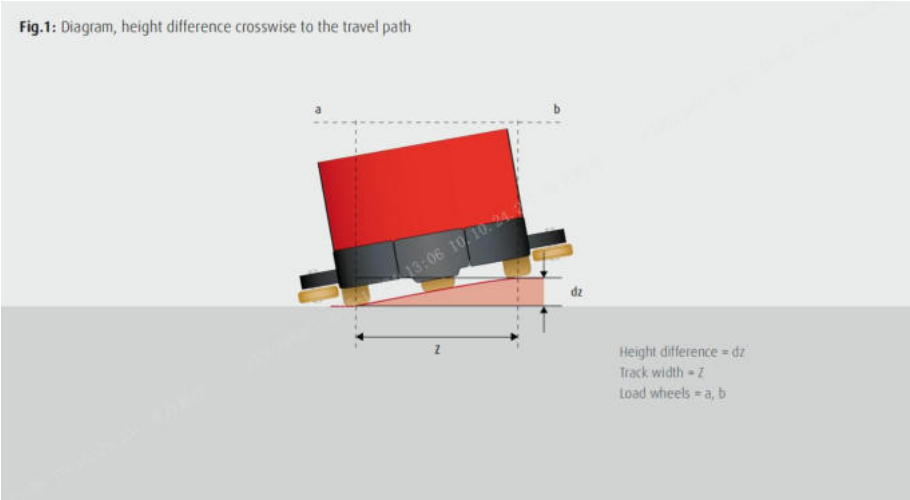


Рис. 1

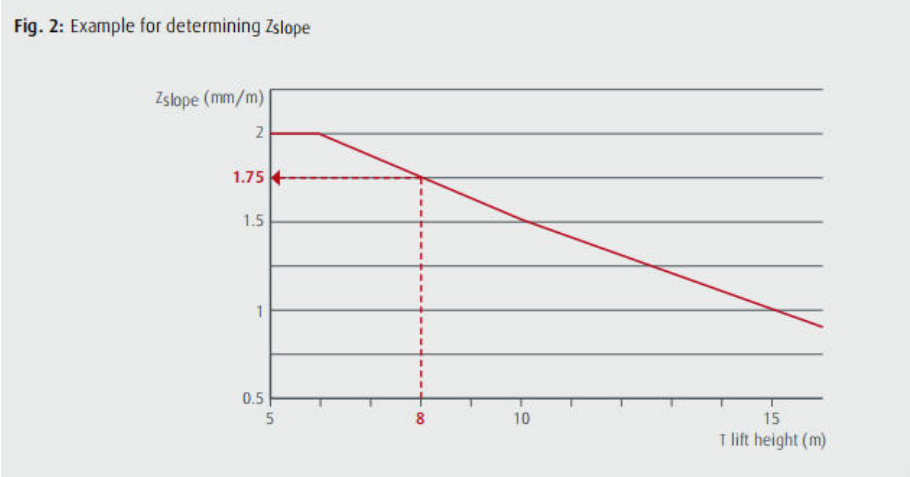


Рис. 2

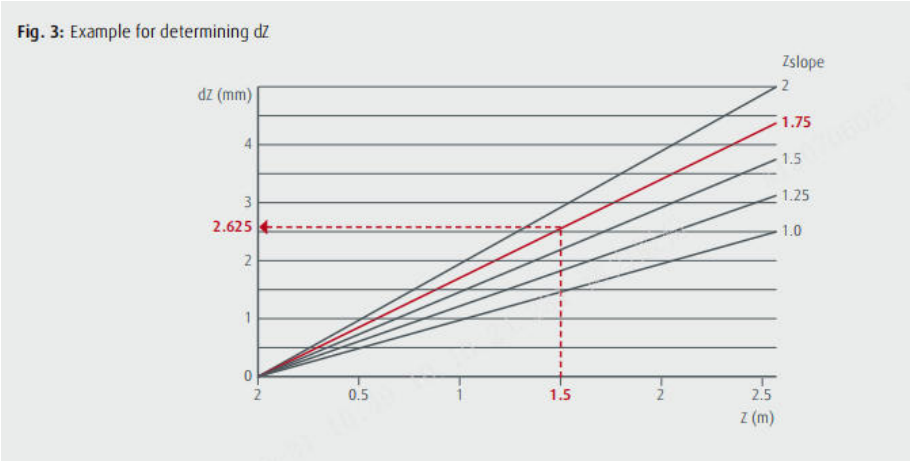


Рис. 3

Пример определения коэффициента уклона Zslope

Исходные данные:

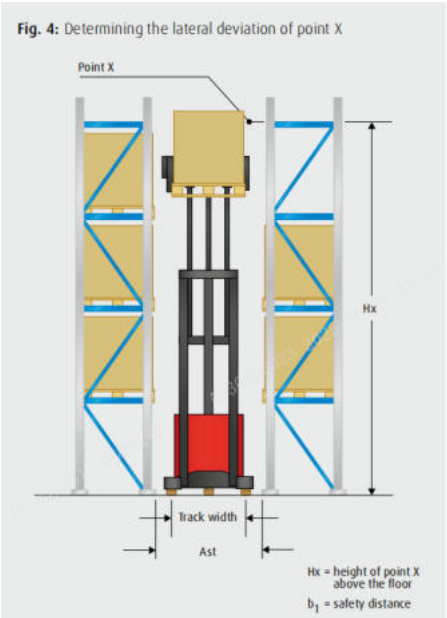
- Высота подъёма = **8 м**
- Расстояние между центрами колёс нагрузки **Z = 1,5 м**

Согласно рисунку 2, для высоты подъёма 8 м значение коэффициента уклона составляет: Zslope = 1,75 мм/м

Расчёт допустимого перепада высоты:

$\Delta z = Z \times Zslope = 1{,}5 \times 1{,}75 = 2{,}625$ мм

Таким образом, при данных условиях максимально допустимая разность высот (Δz) не должна превышать 2,625 мм.



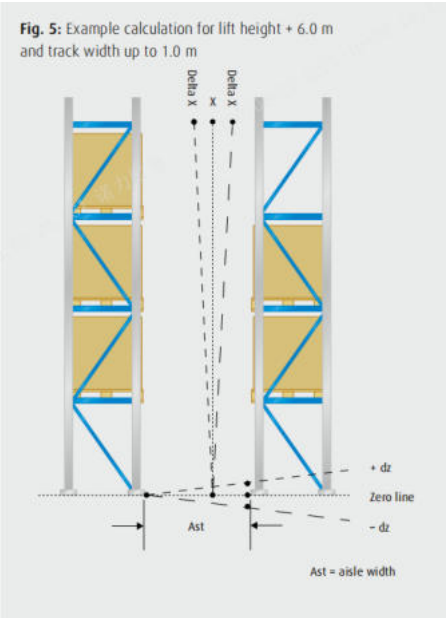


Рис. 4 Рис. 5

После определения максимально допустимой разности высот Δz, можно рассчитать поперечное отклонение транспортного средства на заданной высоте подъёма.

Общая формула для определения поперечного отклонения (см. рисунок 4):

$\Delta X = \Delta z$ (мм/м)$\times$Hx (м) , где:

- **ΔX** — поперечное отклонение в верхней точке, мм
- **Δz** — допустимая разность высот между центрами колёс, мм/м
- **Hx** — высота точки X, м

Пример расчёта (см. рисунок 5):

Условия:

- Высота подъёма **H = 10 м**
- Ширина колеи (расстояние между рельсами) **1,0 м**
- Для данной высоты подъёма **Δz = 1,5 мм/м**

Подставляем значения в формулу:

ΔX=1,5 мм/м×10 м=15 мм

Следовательно, при высоте подъёма 10 м и ширине колеи 1,0 м
максимальное поперечное отклонение ΔX в точке X не должно превышать 15 мм.

1.3.2. Продольные перепады высоты пути движения

В случаях, когда требуется оценить продольную ровность пути, необходимо вести запись данных по вертикальному положению (см. таблицу 2).

Таблица 2 — Допуски на продольную ровность пути движения

Расстояние между точками контакта *l*	**Зазор под контрольной рейкой *t***
1 м	2 мм
2 м	3 мм
3 м	4 мм
4 м	5 мм

Проверка продольной ровности выполняется в соответствии со стандартом DIN 18202**.**

Пример (см. рисунок 6):
При контроле ровности под 2-метровой контрольной рейкой зазор между рейкой и поверхностью пола не должен превышать 3 мм (измеряется индикатором часового типа или щупом).

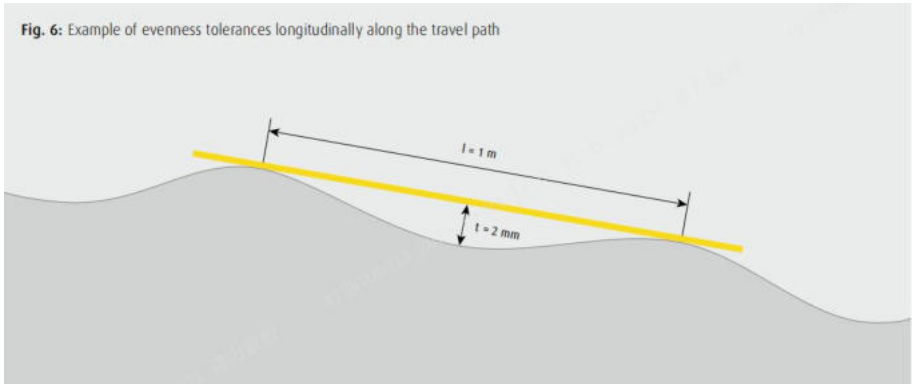


Fig. 6: Example of evenness tolerances longitudinally along the travel path

1.3.3. Волнообразные колебания высоты поверхности

Помимо требований к абсолютным перепадам высот, для узких проходов предъявляются особые требования к отсутствию волнообразных неровностей.
Такие участки необходимо регулярно проверять и, при необходимости, шлифовать или выравнивать поверхность.

Если на дорожном покрытии наблюдаются периодические волнообразные неровности или чередующиеся боковые уклоны, это может привести к потере устойчивости и даже опрокидыванию промышленного транспортного средства.

Определение волнообразных отклонений

Волнообразные неровности определяются по разности высот между соседними точками измерения вдоль пути движения.
Результат выражается в виде коэффициента волнистости Fx, который рассчитывается по специальному алгоритму на основании измерений нескольких последовательных точек.

- Чем меньше значение Fx, тем больше выражена волнистость поверхности и тем хуже качество покрытия.
- Значение Fx характеризует амплитуду и частоту колебаний неровностей дороги.

Методика расчёта коэффициента подробно описана в директиве VDMA, где также доступен программный инструмент для автоматического расчёта данного показателя на основании полевых данных.

Официальную версию директивы и инструменты расчёта можно найти на сайте VDMA: (www.vdma.org/Branchen/Logistiksys-Teme)

Требуемые значения коэффициента Fx

Рассчитанное значение коэффициента волнистости Fx должно соответствовать требованиям, приведённым в таблице 3.

Таблица 3 — Допустимые значения коэффициента волнистости Fx

Высота подъёма (м)	**Требуемое значение Fx**
15 м	≥ 525
10 м	≥ 400
До 6 м	≥ 300

При высоте подъёма более 6 м значение Fx определяется интерполяцией (см. рисунок 5).

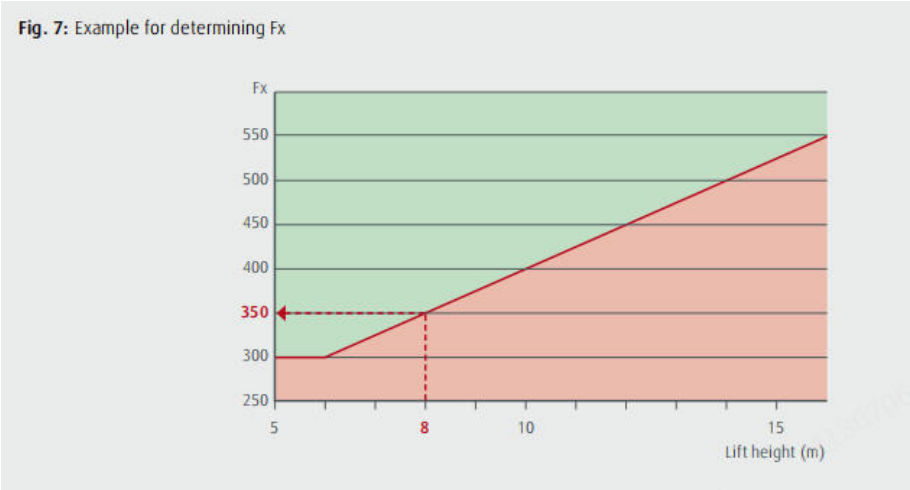


Рис. 7

Процедура измерения волнообразных колебаний поверхности

Как отмечено ранее, точный метод измерения и расчёта коэффициента волнистости Fx подробно описан в директиве VDMA.
Ниже приведена схема (см. рисунок 7), иллюстрирующая последовательность определения параметра Fx.

Пример расчёта

Исходные данные:

- Высота подъёма = **8 м**
- Ход по оси Z = **1,5 м**

По рисунку 2 определяется уклон оси Z:

Zslope=1,75 мм/м

По рисунку 3 вычисляется разность высот:

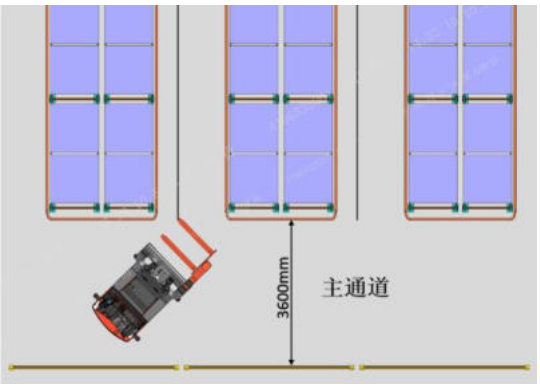
Δz=Z×Zslope=1,5×1,75=2,625 мм

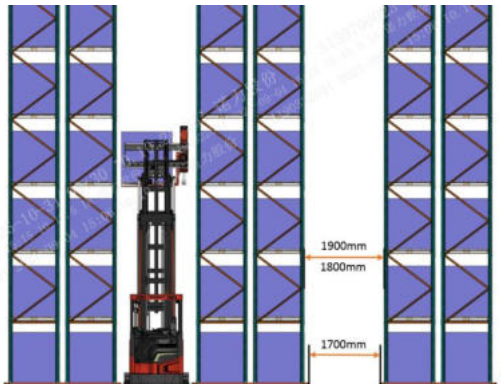
По рисунку 6 определяется коэффициент волнистости: Fx≥350

Таким образом, при высоте подъёма 8 м и межосевом расстоянии 1,5 м коэффициент волнистости Fx должен быть не менее 350 для обеспечения безопасной устойчивости транспортного средства.

2. Требования к проходам и стеллажам при использовании транспортных средств с магнитным наведением

- **Расстояние между стойками стеллажа:** 1800–1900 мм
- **Ширина рабочего прохода:** 1700–1800 мм *(от груза до груза)*
- **Максимальные габариты груза:** длина × ширина не более 1200 × 1200 мм
- **Ширина главного прохода:** 3600 мм — должна обеспечивать свободный въезд и выезд транспортного средства в стеллажный коридор**.**





3. Требования к укладке магнитной ленты для системы магнитного наведения

3.1. Определение типа магнитной ленты

3.1.1. Рекомендуемый тип

В соответствии с требованиями проекта рекомендуется использовать магнитные ленты на основе постоянных магнитов.
Такие ленты обладают высокой магнитной индукцией и стабильностью и подходят для большинства производственных и складских сценариев.

3.1.2. Размеры магнитной ленты

Выбор размеров магнитной ленты зависит от массы транспортного средства, грузоподъёмности и скорости движения.
Как правило ширина магнитной ленты должна быть не менее 30 мм, толщина — от 1 мм.

3.2. Правила размещения магнитных лент

3.2.1. Планирование маршрута

На основании маршрутов движения транспортных средств следует спланировать расположение магнитных лент таким образом, чтобы они покрывали всю зону движения, исключая «слепые зоны».

3.2.2. Расстояние между параллельными лентами

Минимальное расстояние между соседними параллельными лентами должно составлять не менее 200 мм, чтобы избежать взаимного влияния магнитных полей.

3.2.3. Стыки на одной линии

Ширина стыка между двумя сегментами одной и той же ленты должна быть менее 10 мм, чтобы обеспечить непрерывность и стабильность магнитного сигнала.

3.2.4. Начальные, конечные и поворотные участки

В точках старта, остановки и поворота под прямым углом необходимо укладывать магнитную ленту длиной больше длины транспортного средства,
что обеспечивает корректное распознавание позиций и точность остановки.

3.2.5. Полярность и сила поля

Полярность магнитной ленты должна быть северным полюсом вверх (N↑).
Магнитная индукция — не менее 100 Гс (гаусс).

3.3. Крепление магнитных лент

3.3.1. С липким основанием

Магнитные ленты с клеевым слоем фиксируются непосредственно на поверхность пола, при необходимости сверху наклеивается защитная лента для предохранения от износа.

3.3.2. Без клеевого слоя

Для лент без клеевого основания применяется специальный клей или механические крепления, обеспечивающие надёжную фиксацию на полу.

3.3.3. Встроенные (врезные) ленты

При подземной укладке выполняются фрезерные пазы в полу глубиной 1–2 см,
в которые помещаются магнитные ленты, после чего выполняется герметизация.

3.4. Меры предосторожности и обслуживание

1. Перед монтажом убедиться, что поверхность пола сухая, чистая, ровная, без масляных пятен, влаги и пыли.
2. При установке не допускать изгиба или перекручивания ленты — она должна плотно прилегать к полу, без вздутий и расслоений.
3. После монтажа провести проверку магнитной индукции, чтобы убедиться, что поле соответствует требованиям системы навигации.
4. Избегать размещения ферромагнитных предметов вблизи магнитной ленты, так как это искажает распределение поля.
5. При прокладке соблюдать безопасное расстояние до инженерных коммуникаций (кабелей, труб и т. п.), чтобы предотвратить взаимные помехи.

6. После завершения укладки провести тестирование движения транспортного средства — проверить, не отклоняется ли оно от заданного маршрута. При необходимости скорректировать положение ленты.
7. Периодически осматривать магнитные ленты. При обнаружении повреждений или отслоений выполнять ремонт или замену.
8. При одновременной работе нескольких машин контролировать взаимное расположение лент и минимизировать их перекрёстное влияние.
9. Соблюдение данных правил обеспечивает стабильную и надёжную работу системы магнитного наведения, а также повышает точность и безопасность эксплуатации транспортных средств. В процессе эксплуатации рекомендуется адаптировать расположение лент с учётом особенностей помещения и условий проекта.

3.5. Монтаж магнитных лент на объекте

3.5.1. Размеры встроенных лент

Встроенные (утопленные) магнитные ленты имеют различные размеры:
обычно толщина составляет 6 мм или 12 мм, ширина — 6 мм или 10 мм.
Поверхность с вогнутой формой является полярной стороной — при установке необходимо обеспечить, чтобы полярная сторона была направлена вверх.

3.5.2. Глубина паза

Типовая глубина паза для укладки ленты — 10–20 мм.
Расстояние между магнитным сенсором и магнитной лентой должно составлять 30–60 мм.

Если фактическое расстояние выходит за пределы этого диапазона, необходимо:

- либо скорректировать высоту установки магнитного датчика,
- либо изменить глубину залегания ленты.

3.5.3. Ширина паза

Ширина паза должна быть примерно в 1,5 раза больше ширины ленты,
чтобы обеспечить достаточный монтажный зазор и исключить повреждения при установке.

Пример:
при ширине ленты 6 мм рекомендуется делать паз шириной 9 мм.

3.5.4. Качество поверхности и прямолинейность

Поверхность внутри паза должна быть ровной и гладкой, чтобы исключить повреждение ленты.
Паз следует фрезеровать строго по прямой, без отклонений.
Магнитная лента при укладке также должна быть расположена по прямой линии.
После укладки лента может быть залита цементным раствором.

3.5.5. Подготовка и планировка

Перед началом работ рекомендуется нанести разметку трассы для обеспечения аккуратной укладки.
Маршрут необходимо очистить от пыли и загрязнений, чтобы избежать последующего отслаивания клеевого слоя.

3.5.6. Приклеивание на прямолинейных участках

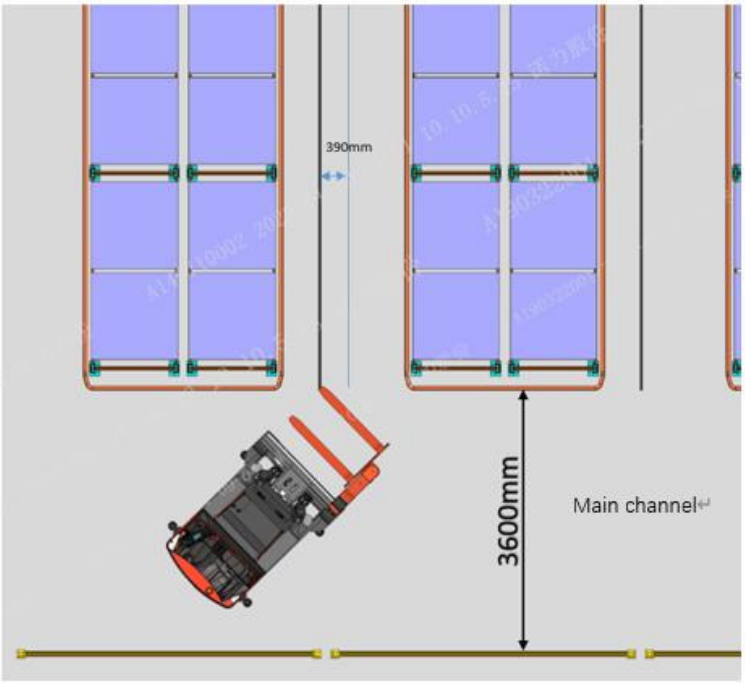
Для обеспечения надёжного сцепления клеевого слоя и поверхности пола после наклейки ленту следует плотно прижать по всей длине.

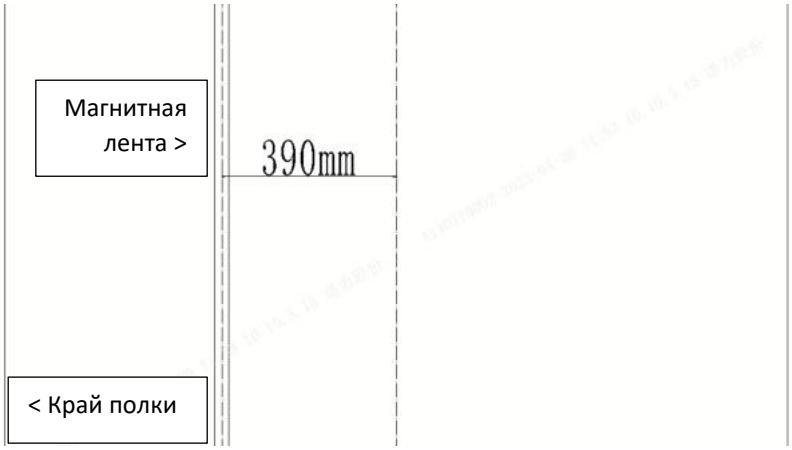
3.5.7. Подготовка поверхности

Перед укладкой убедитесь, что поверхность пола сухая, чистая и обезжиренная, так как лента фиксируется двусторонним клеевым слоем, расположенным на её тыльной стороне.

3.5.8. Монтаж напольной ленты

Магнитная лента должна быть смещена на в пространстве между стеллажами





Центр магнитной ленты должен быть расположен на линии со смещением 390 мм от центральной линии между стеллажами.

Укладка магнитной полосы

1. Оторвите пленку и сначала приклейте магнитную ленту
2. Оторвите пленку с защитной ленты с клеевым слоем, приклейте по центру поверх магнитной ленты

1) 2)

3.5.9. Монтаж встроенной (врезной) ленты

Магнитная лента должна быть расположена по центру между стеллажами

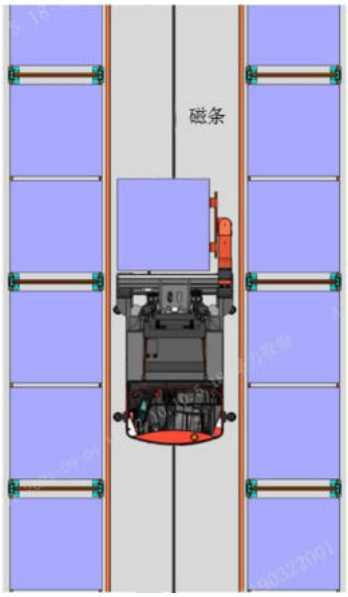
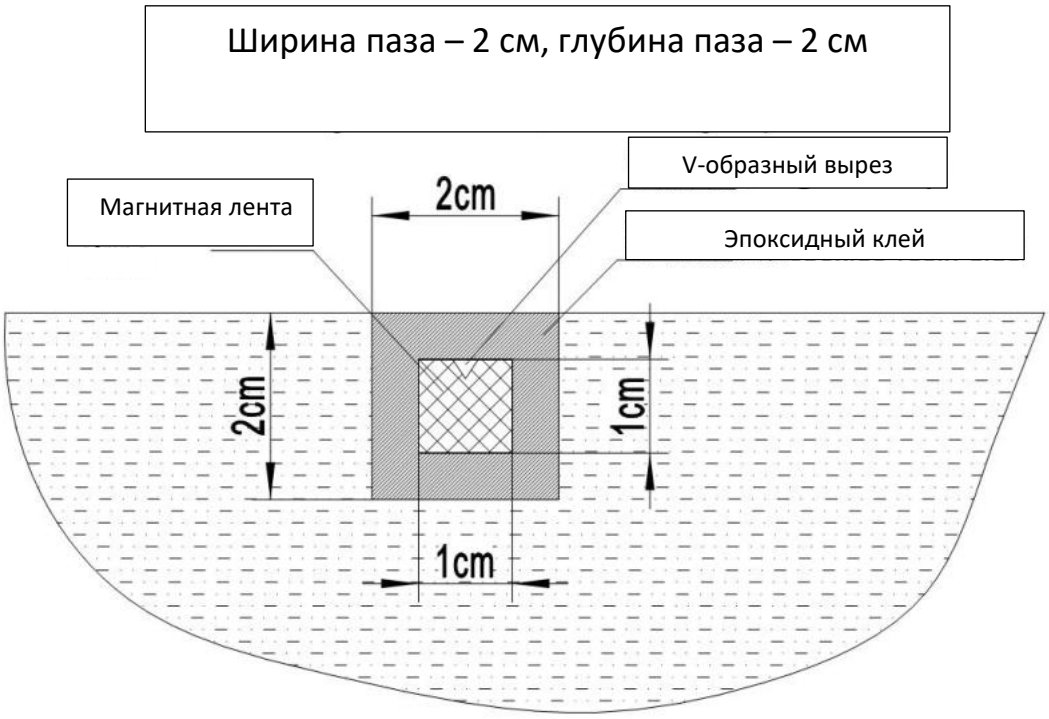
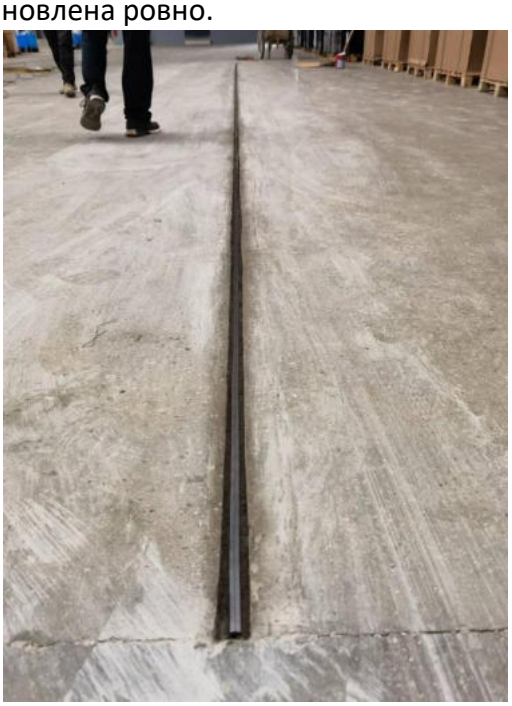


Схема магнитной ленты и порядок монтажа



1. Вырез паза

2. Убедитесь, что магнитная лента установлена ровно.



3. С помощью эпоксидного герметика и скребка зафиксируйте линию магнитной ленты. Эпоксидный клей должна быть приобретен заказчиком.

3.6. Защита магнитных лент

3.6.1. Взаимодействие с металлическим основанием

Не допускается установка навигационной магнитной ленты непосредственно на металлическое покрытие.
В случае контакта с железной основой магнитное поле ленты ослабляется.

3.6.2. Влияние внешних магнитов

Приближение других магнитов или сильных магнитных полей может исказить распределение магнитного поля ленты,
поэтому запрещено размещать магнитные материалы рядом с трассой навигации.

3.6.3. Металлическая пыль и стружка

Попадание железной пыли или стружки на поверхность ленты приводит к изменению плотности магнитного потока.
Рекомендуется регулярно очищать ленту от загрязнений.

3.6.4. Стыковка магнитных лент

Зазор в месте соединения соседних лент должен быть менее 10 мм.

3.6.5. Защитное покрытие

После завершения укладки рекомендуется наклеить поверх ленты защитную плёнку или ленту, ширина которой должна быть больше ширины магнитной ленты.
Это предотвращает:

- износ поверхности,
- попадание воды и масла под клей,
- отслоение.

Магнитные ленты не должны подвергаться воздействию ходьбы или иного давления.
Для защиты допускается использовать покрытия из алюминиевой фольги, ПВХ-ленты или тканевой армированной ленты.

3.6.6. Встроенные (врезные) решения

Если позволяют условия, предпочтительно использовать встроенные (заглублённые) магнитные ленты.
Такое исполнение предотвращает повреждение от движения тяжёлых транспортных средств и выглядит более эстетично.

3.6.7. Воздействие химических веществ

Не допускается контакт ленты с растворителями и химическими веществами (ацетон, разбавитель и др.), так как они вызывают деформацию и деградацию магнитного слоя.

3.6.8. Срок службы и обслуживание

Из-за естественного процесса размагничивания срок службы магнитных лент составляет примерно 12–18 месяцев.
В процессе эксплуатации необходимо регулярно проводить проверку магнитной индукции и при выявлении износа или размагничивания выполнять поэтапную замену повреждённых участков.