

В.С. Короткий¹, С.И. Кочетов¹, С.В. Харитончик²

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НЕПРЯМОГО ОБЗОРА ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНОГО АВТОПОЕЗДА

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск¹
Белорусский национальный технический университет, Минск²

В работе рассмотрены особенности и проблемы применения беспилотных технологий на магистральных автопоездах и вопросы обеспечения визуальной информацией водителя и всей системы при маневрировании. Предложена динамическая система непрямого обзора и алгоритм управления ее устройствами. Проведен расчет зон обзора многозвенного автопоезда длиной 47 метров при маневрировании с применением алгоритма динамического управления устройствами непрямого обзора. В ходе исследования определено, что использование предложенной динамической системы непрямого обзора и алгоритма управления ее устройствами позволяют увеличить полезную зону обзора при выполнении поворота исследуемым объектом до 50%.

Ключевые слова: Обзорность, многозвенный автопоезд, зоны обзора, алгоритм, безопасность, рабочее место водителя, динамическая система непрямого обзора, камера, монитор.

В настоящее время во всем мире активно ведутся работы по созданию беспилотного транспорта различного вида. Особое место занимает автомобильный транспорт, являющийся самым распространенным видом транспорта для перевозки пассажиров и грузов. Поэтому в мировом автомобилестроении уделяется особое внимание разработкам систем и устройств для повышения его эффективности и безопасности, в том числе многоуровневой системы автоматического управления движением (САУД), то есть беспилотного управления с учетом требований, обеспечивающих безопасность на автомагистралях.

Разработчики автомобильного транспорта проводят масштабные исследования и, как результат, уже находятся в опытной эксплуатации грузовые и пассажирские транспортные средства с беспилотным управлением, например, тягач Mercedes-Benz FUTURETRUCK 2025 с режимом беспилотного движения (рис. 1) [1], VOLVOSARTRE с системой управления в колонне (рис. 2) [2] и др. Названные транспортные средства имеют два режима управления: ручной и автоматический (беспилотный).



Рис. 1. Mercedes-Benz FUTURE TRUCK 2025 в беспилотном режиме [1]



Рис. 2. Движение автоколонны VOLVO SARTRE с автомобилями в режиме автономного хода [2]

Основной целью беспилотного движения является исключение человеческого фактора из алгоритма управления движением автотранспортных средств, что позволит избежать ошибок, совершаемых человеком при управлении и тем самым повысить безопасность грузоперевозок. Исключение водителя из управления позволяет решить проблемы здоровья человека и усталости, уменьшив физические и психологические нагрузки. При движении в автоматическом режиме водитель фактически переходит в категорию “пассажира”, что позволяет ему избежать накопления общей усталости во время прохождения всего многокилометрового маршрута, а также уменьшить количество вынужденных остановок для работы с документами, отдыха и др.

Применение технологии беспилотного управления на многозвенных автопоездах увеличенной длины при эксплуатации имеет больший эффект по сравнению с автопоездами "классической" сцепки (тягач и полуприцеп) за счет уменьшения количества водителей, уменьшения расстояния между звеньями и как результат сокращения затрачиваемой энергии на преодоление аэродинамического сопротивления.

Проведенные дорожные испытания многозвенного автопоезда длиной 47 м на автомагистрали М1 (Е30) показали, что во время движения за ним выстраивались магистральные автопоезда, образуя при этом значительную по длине автоколонну (рис. 3). При таком движении целесообразно включать всех участников автоколонны в общую САУД с возможностью беспрепятственного входа и выхода из нее автопоездов.

Комплексная многоуровневая САУД всеми транспортными средствами автоколонны не только решит задачу освобождения человека от управления транспортным средством, но также позволит решить задачи организации движения на автомагистралях, в том числе, уменьшить расстояние между автопоездами, что приведет к сокращению общей длины автоколонны по сравнению с тем же количеством транспорта, но с ручным управлением, тем самым увеличив пропускную способность дорог.

Важной задачей на пути к беспилотному управлению является получение информации о дорожной обстановке: на первом этапе – это обеспечение водителя-оператора визуальной информацией для режима ручного управления; далее в режиме автономного хода – это необходимые исходные данные для принятия решения электронной системой автоматического управления движением.

Рассмотрим режимы движения магистральных автопоездов при выполнении грузоперевозок. Весь маршрут условно делится на 3 этапа:

- 1) погрузочные работы и движение по территории логистического центра, проезд по региональным автодорогам с малыми скоростями в стесненных условиях при наличии значительного количества перекрестков со светофорным регулированием и без него, до выезда на автомагистраль;
- 2) движение по автомагистрали на дальние и сверхдальние расстояния в установившемся (стабильном) режиме, с постоянной, редко изменяющейся скоростью характеризующееся, как монотонное движение;

- 3) съезд с автомагистрали на региональные автодороги и движение к логистическому центру по маршруту описанному в этапе 1, маневрирование на его территории и выполнение разгрузки.



Рис. 3. Стихийно образованная автоколонна во время дорожных испытаний многозвенного автопоезда длиной 47 м

Второй этап является преобладающим, как по расстоянию, так и по времени относительно всего маршрута в целом. Данный этап движения по автомагистрали представляет собой монотонное движение с движением других транспортных средств по соответствующим полосам дороги и хорошо подходит для использования автопоездами автоматического режима движения, что и показано на рис. 1 и 2.

Для первого и третьего этапов предпочтительно ручное управление, т.к. необходимо выполнять маневрирование и быстро принимать решения в условиях быстроменяющейся дорожной обстановки с частыми торможениями и разгонами. В связи с частым маневрированием движение на данных этапах усложняется для автопоездов в связи с затруднениями в получении визуальной информации как для ручного, так и для автоматического режима управления.

Визуальная информация важна, т.к. позволяет человеку, управляющему транспортным средством, более точно оценить дорожную ситуацию и правильным образом среагировать на нее. Конструктивным свойством транспортного средства, обеспечивающим получение такой информации, называется обзорность и регламентируется правилами ЕЭК ООН № 46 [3]. Правила предписывают зоны обзора и требования к устройствам непрямого обзора для различных типов транспортных средств, в том числе и к седельным автопоездам.

Рассмотрим седельный автопоезд в составе седельного тягача и полуприцепа, выполняющего маневр поворот. На рисунке 4,а[4] изображены зеркала заднего вида (вид с места водителя), в которых не отображается каких-либо препятствий. Рисунок 4,б[4] отображает это же транспортное средство. Из рисунков видно, что водитель не видит других участников дорожного движения (велосипедистов), находящихся рядом с транспортным средством. Это связано с отсутствием в правилах ЕЭК ООН № 46 [3] требований к зонам обзора при выполнении маневра. Вместе с тем для обеспечения безопасности и водитель, и автономная система управления должны учитывать дорожную обстановку в полном объеме и делать прогноз ее возможного развития.

Для эффективного распознавания дорожной обстановки при разработке важно учитывать не только величину "слепых" зон, но и качество передаваемой информации как для человека, так и для электронных систем управления. В правилах ЕЭК ООН №46 [3] приводится методика получения основных параметров системы «камера-монитор»: критического расстояния обзора и максимального расстояния обнаружения человеком.



а)

б)

Рис. 4. Демонстрация "слепой" зоны автопоезда[4]:

а) вид из кабины через зеркала заднего вида; б) вид со стороны на слепую зону обзора

Критическое расстояние обзора r_{mcrit} определяется как расстояние, на котором наименьший различимый элемент, отображаемый на мониторе, охватывает 1 дуговую минуту, измеренное от глаза (порог восприятия обычного наблюдателя)[3]:

$$r_{mcrit} = \frac{\delta \cdot 60 \cdot 180}{\pi}, \quad (1)$$

где r_{mcrit} - критическое расстояние обзора видеомонитора (м); δ - размер наименьшего различимого элемента на мониторе (м).

Максимальное расстояние обнаружения в пределах критического расстояния обзора, когда после установки устройства расстояние видимости меньше критического расстояния обзора, определяют по следующей формуле [3]:

$$r_{dclose} = \frac{D_0 \cdot 60 \cdot 180}{\omega_c \cdot \pi \cdot f}, \quad (2)$$

где r_{dclose} - расстояние обнаружения (м); D_0 - диаметр критического объекта: высота - 0,5 м, диаметр 0,3 м; f - пороговый возрастающий коэффициент, равен 8; ω_c - наименьший различимый элемент (угл мин).

В том случае, если после установки устройства расстояние видимости превышает критическое расстояние обзора, максимальное возможное расстояние обнаружения определяют по следующей формуле[3]:

$$r_{dfar} = \frac{r_{mcrit}}{r_m} r_{dclose}, \quad (3)$$

где r_{dfar} - расстояние обнаружения при расстоянии большем чем критическое расстояние обзора (м); r_{dclose} - расстояние обнаружения при расстоянии меньшем чем критическое расстояние обзора (м); r_m - расстояние обзора, т.е. расстояние между глазами и монитором (м); r_{mcrit} - расстояние критического обзора (м).

Следует отметить, что при использовании статических систем непрямого обзора, т.е. включающих устройства с постоянными во времени параметрами, водитель автопоезда, выполняя маневр, теряет часть необходимой ему для обеспечения безопасности зоны обзора по бортам. Рассмотрим выполнение маневра поворот радиусом 30 м многозвенным автопоездом длиной 47 м[5 и др.]. На рис. 3 представлена схема выполнения маневра.

Для оценки изменения рассчитаем относительную зону обзора для промежуточных положений многозвенного автопоезда при выполнении маневра:

$$A_{\text{раз}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i \text{ обзор}}}{2 \cdot L_{\text{АП}} B_{\text{П}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $S_{i \text{ обзор}}$ – площадь полос, просматриваемой средством непрямого обзора при прямолинейном движении, м^2 ; n – количество средств непрямого обзора на автопоезде; $L_{\text{АП}}$ – длина автопоезда, м; $B_{\text{П}}$ – ширина полосы на автодороге, м.

Величины зон обзора, рассчитанные с учетом вышеприведенных формул с использованием зеркал и камер для многозвенного автопоезда длиной 47 м при выполнении маневра поворот с радиусом 30 м на скорости 20 км/ч, представлены в виде графиков на рис.6.

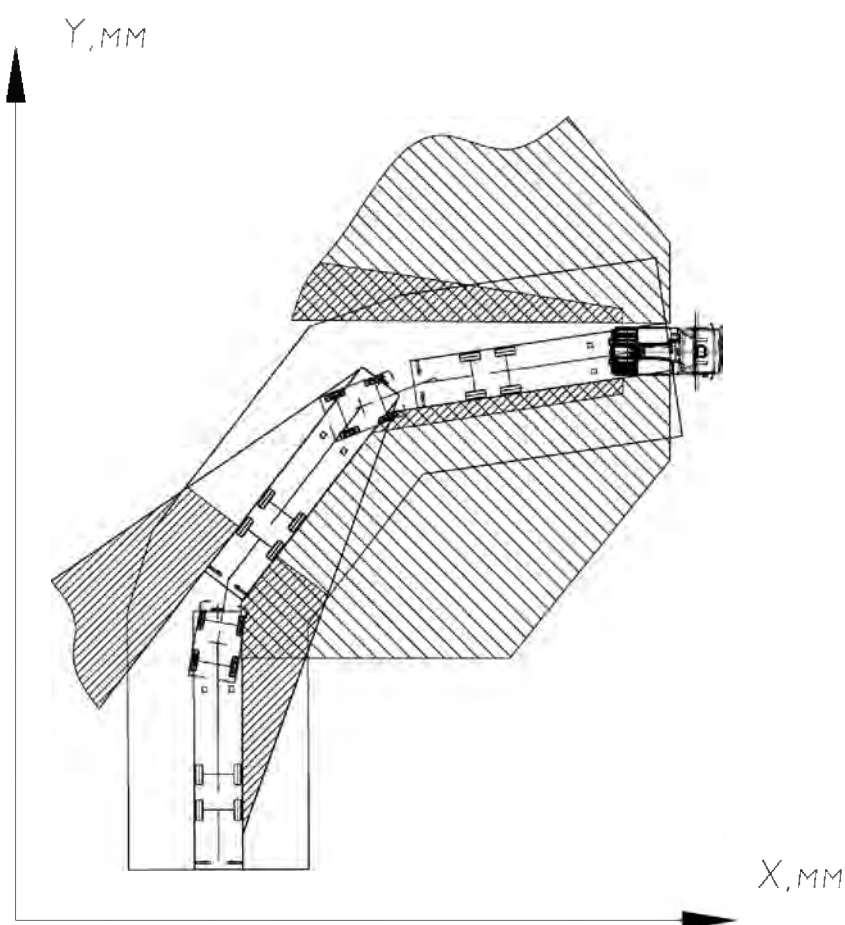


Рис. 5. Схема расчета зон обзора при выполнении маневра поворот направо

Рассмотрим зависимость зоны обзора от времени выполнения маневра. Из рис. 6 следует, что установка дополнительной системы видеообзора дает увеличение зоны до 41%. Вместе с тем видно, что в некоторых фазах поворота даже с использованием дополнительной системы непрямого обзора величина зоны уменьшается до 60%.

Увеличения зоны обзора в некоторых фазах маневра можно достичь за счет изменения параметров устройств непрямого обзора, в частности положения и фокусного расстояния камер заднего вида. Причем динамическое изменение таких параметров во время движения транспортного средства позволит поддерживать величину зоны обзора на максимально возможном уровне. Система, работающая по этому принципу, называется

динамической системой непрямого обзора. Динамическая система непрямого обзора подразумевает, что в зависимости от положения в пространстве и состава автопоезда автоматически будут подобраны параметры устройств, обеспечивающие максимальную величину необходимой обзорности.

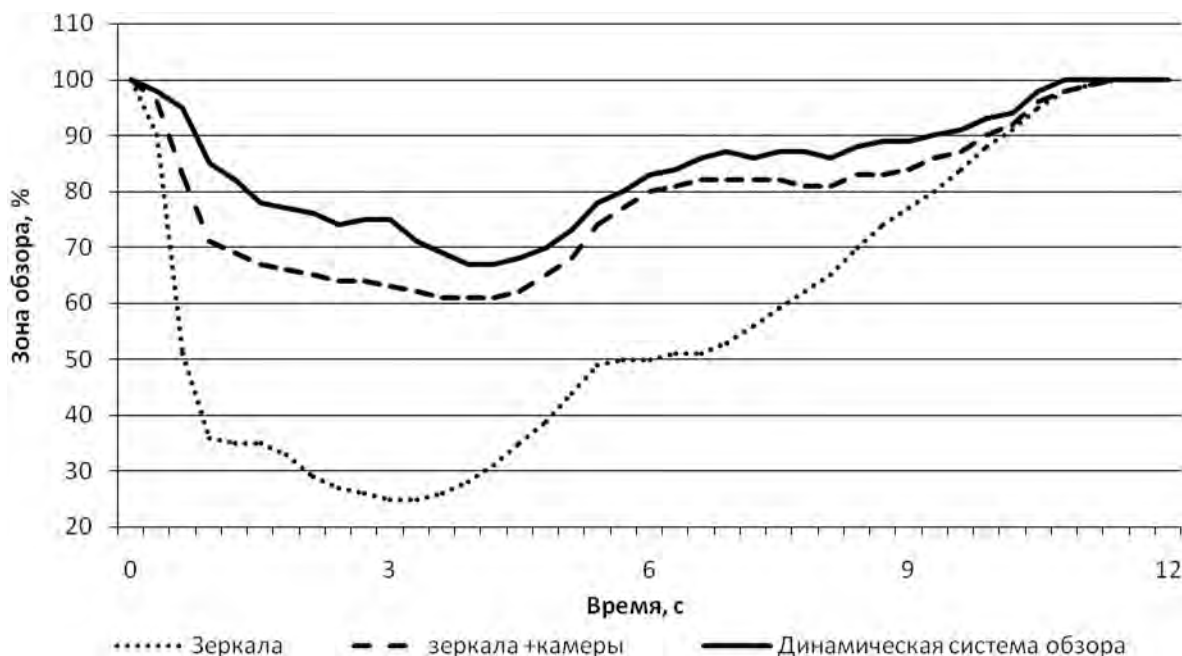


Рис. 6. Зависимость зоны обзора от времени прохождения маневра поворот направо

Закон изменения параметров устройств непрямого обзора подбирается по предлагаемому алгоритму, изображенному на рис. 7, таким образом, чтобы обеспечить максимальную величину относительной зоны обзора всего автопоезда во всех промежуточных точках маневра. Можем записать целевую функцию следующим образом:

$$A_{раз} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{i\text{ обзор}}(x_{1..n})}{2 \cdot L_{АПБп}} \cdot 100\% \rightarrow \max, \quad (5)$$

при условии $x_{\max 1..n} \geq x_{1..n} \geq x_{\min 1..n}$, где $x_{1..n}$ - параметры устройств непрямого обзора; $x_{\max 1..n}, x_{\min 1..n}$ - граничные значения параметров устройств непрямого обзора; n - общее количество параметров устройств непрямого обзора.

Рис. 6 также содержит зависимость изменения зоны обзора многозвенного автопоезда длиной 47 м при использовании динамически регулируемых фокусных расстояний камер системы видеообзора от 5,2 мм до 27 мм для диагонали матрицы камеры 1/3". Максимальное увеличение зоны обзора составило 50% по сравнению с использованием только лишь регламентированных устройств непрямого обзора.

С использованием предложенного алгоритма выбора рациональных параметров устройств непрямого обзора были определены законы изменения фокусных расстояний объективов двух камер для многозвенного автопоезда в составе трех полуприцепов и двух подкатных или тяговых тележек общей длиной 47 м при выполнении маневра поворот 30 м на скорости 20 км/ч. Полученные зависимости представлены на рис. 8.

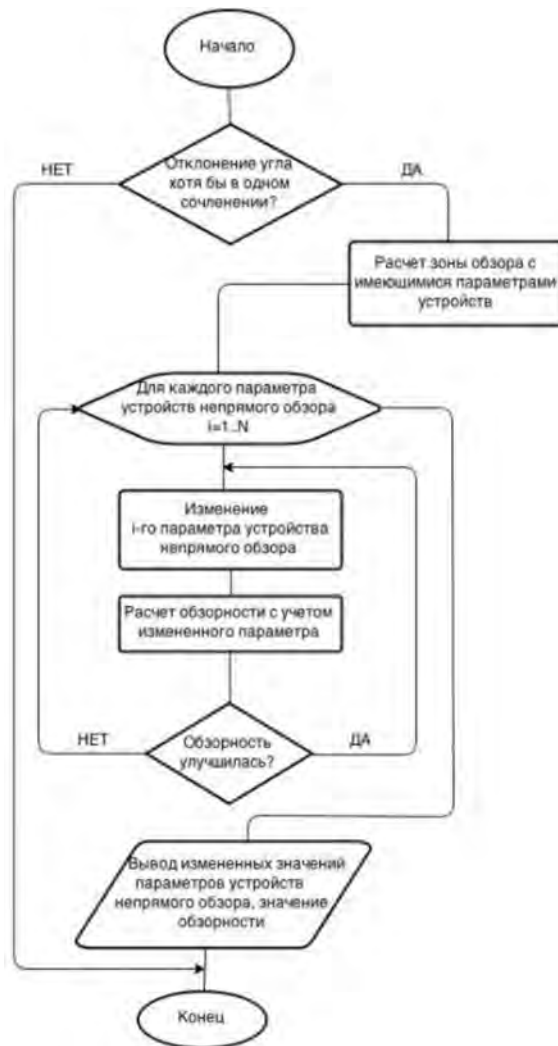


Рис. 7. Алгоритм выбора рациональных параметров динамической системы управления устройствами непрямого обзора

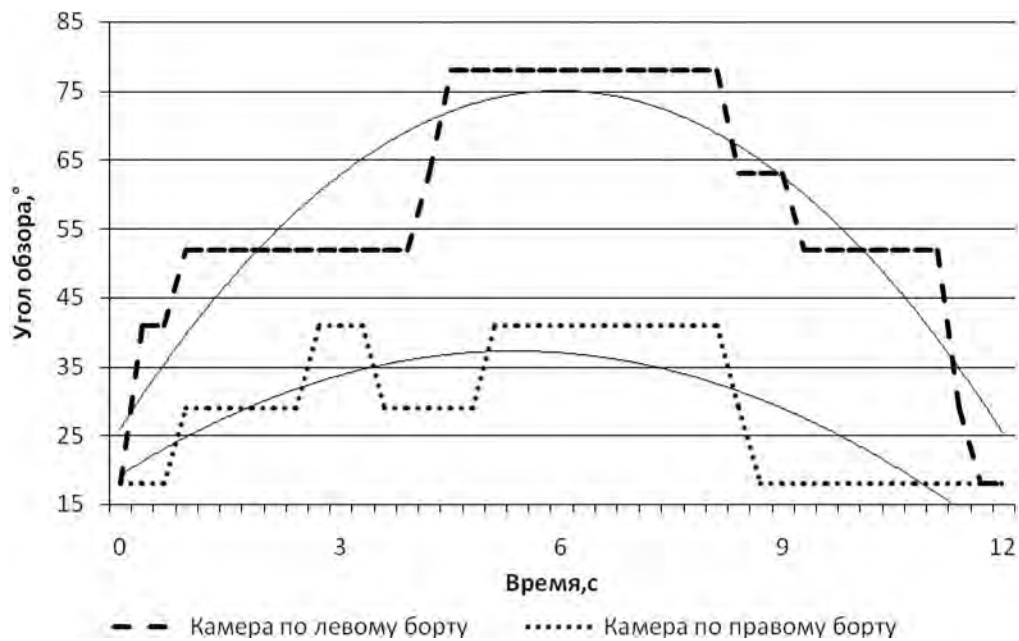


Рис. 8. Закон изменения угла обзора камер видеобзора при выполнении автопоездом длиной 47м маневра поворот направо

На основе проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Существующие системы непрямого обзора сочлененных транспортных средств не позволяют водителям получать необходимую информацию и не обеспечивают регламентированной зоны обзора при выполнении маневров. Использование дополнительной системы непрямого обзора на многозвенного автопоезде длиной 47 м позволяет увеличить зону обзора до 41% при выполнении маневра поворот.
2. Использование динамической системы непрямого обзора для сочлененных многозвенных магистральных автопоездов позволяет не только обеспечить водителя визуальной информацией для режима ручного управления, но и в части перехода к беспилотному управлению обеспечивает электронную систему автоматического управления движением автопоезда необходимыми исходными данными в условиях маневрирования.
3. Предложен алгоритм выбора рациональных параметров устройств непрямого обзора, применение которых на многозвенном автопоезде длиной 47 м позволяет повысить зону обзора до 50% при выполнении маневра поворот с учетом зрительных возможностей человека и технических характеристик устройств непрямого обзора.

Библиографический список

1. Mercedes покажет беспилотный грузовик будущего [Электронный ресурс]// ООО «Автомалиновка». - Режим доступа: http://av.by/news/index.php?event=View&news_id=32792/ – Дата доступа: 24.02.2016.
2. The SARTREProject [Электронный ресурс]//SARTRE-Consortium - Режим доступа: <http://www.sartre-project.eu/en/Sidor/default.aspx>– Дата доступа: 24.02.2016.
3. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения устройств непрямого обзора и механических транспортных средств в отношении установки этих устройств. Правила ЕЭК ООН №46 пересмотр 5 - Введ.19.08.2013.
4. Demonstration of Semi-Trucks Blind Spot [Электронный ресурс] // youtube. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=kKKPZi0zPJU/> – Дата доступа: 22.09.2015.
5. **Высоцкий, М.С.** Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетов, С.В. Харитончик.– Минск : Беларус. навука, 2011.–392 с.

*Дата поступления
в редакцию 25.02.2016 г.*

V. Korotky¹, S. Kochetov¹, S. Kharitonchik²

APPLICATION OF INDIRECT VISION DYNAMIC SYSTEM FOR LINEHAUL TRAIN

Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus ¹
Belarusian National Technical University ²

The paper describes the characteristics and problems of using of unmanned technologies for linehaul trains as well as issues of providing of necessary visual information to the driver during maneuvering process. The dynamic system for indirect vision and algorithm of its control are described. The calculation of vision areas fo 47 meters long linehaul train made for the when maneuvering with using of algorithm of dynamic control devices for indirect vision. The study determined that using of proposed system of the dynamic indirect vision with developed control algorithm can increase vision areas during up maneuvering to 50%.

Key words: vision, linehaul train, vision areas, algorithm, safety, camera, monitor, indirect vision.