

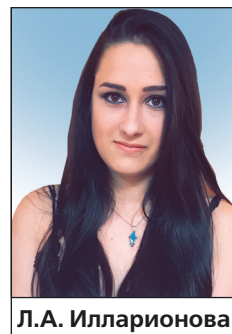
ВОЗМОЖНОСТЬ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Рассмотрена возможность применения беспилотной техники в строительстве. Приведен пример траектории движения транспортно-технологических средств при разработке специальной технологической схемы строительства железобетонного основания безбалластного железнодорожного пути.

***Ключевые слова:** беспилотный транспорт, траектория движения, движение точки, оператор-машинист, технологическая схема*



В.А. Кочнев



Л.А. Илларионова

В современном мире, при поддержке государства и бизнеса, создаются условия для ускоренного распространения беспилотного транспорта. Ряд стран решают задачи по запуску автономных грузоперевозок, беспилотных автобусов и такси. С учетом новых требований к профессии водителя, потребуются навыки инженера по безопасности для управления беспилотным транспортом. В некоторых странах уже сейчас курсируют беспилотные автобусы; снегоочистители, которые убирают снег на аэродромах со взлетно-посадочных полос; беспилотные грузовые машины работают на горнодобывающих предприятиях, а беспилотные комбайны — в сельском хозяйстве. В данное время использование беспилотных машин имеет ряд требований и ограничений. Это разрешенная макси-

мальная скорость, траектория, дальность пути, загруженность дорог и, конечно, безопасность человека.

Конечно, при планировании траектории движения беспилотной техники, большое влияние на выполнение работ оказывает качество дорожного покрытия. Его влияние слабее на горизонтальных и ровных участках дорог. При больших уклонах и неровностях дорожного покрытия техника вынуждена ограничить скорость движения прохождения данных участков по условиям безопасности, конструктивным особенностям машин и в зависимости от качества выполнения работ. При движении нескольких машин в одном направлении необходимо учитывать данные особенности и рассчитать порядок проезда при пересечении траектории движения.

Кочнев Виктор Андреевич, заведующий редакционно-издательским сектором Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизированные системы мониторинга транспортных средств, наземные транспортно-технологические комплексы. Автор шести научных работ.

Илларионова Лилия Алексеевна, старший преподаватель кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: проектирование объектов транспортной инфраструктуры. Автор 26 научных работ.

Траектория движения тела в начале пути прямолинейная, затем — криволинейная. В нашем случае, например, при уборке снега на взлетно-посадочной полосе или обработке сельскохозяйственных угодий, машины в начале пути перемещаются параллельно друг другу по прямой дороге, а затем дорога начинает «петлять» и автомобили движутся криволинейно.

Так как траектория движения машин известна, то задания движения машины можно описать естественным способом. Траекторию движения задаем согласно рис. 1. Начало отсчета устанавливаем в точке O и направление положительного движения задаем вверх по оси Oy .

Чтобы точно задать положение интересующего нас тела относительно точки отсчета, надо связать с точкой отсчета систему координат. При естественном способе задания движения задаем закон движения точки вдоль траектории [1]:

$$s=s(t).$$

Величина s в уравнении определяет положение движущейся точки на траектории, а не пройденный ею путь.

Положения движущейся точки в плоскости определяются двумя координатами и задаются как функции времени [2]:

$$x=x(t);$$

$$y=y(t).$$

Первую часть пути машины движутся прямолинейно, значит векторы скорости будут совпадать с

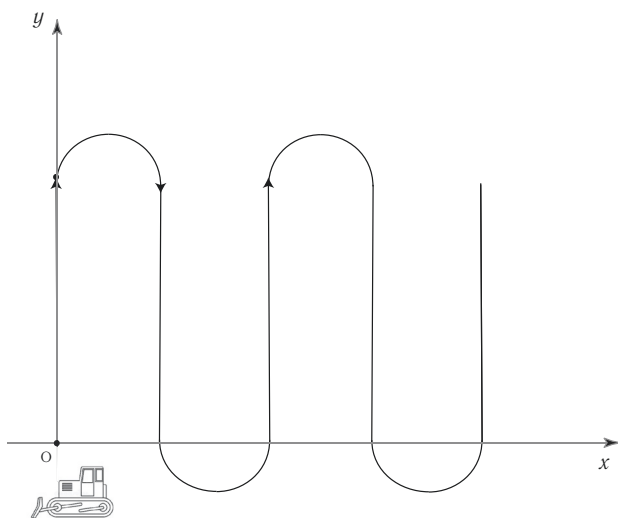


Рис. 1. Траектория движения машины

направлением перемещения, при криволинейном перемещении вектор скорости меняет направление [3;4]. Рассмотрим более подробно криволинейный участок заданного пути (рис. 2).

Вектор скорости всегда направлен вдоль касательной в ту сторону, куда движется точка, при этом показывает движение точки и быстроту [4;5]. Его можно представить через его проекции, используя единичные векторы $\vec{i}$, $\vec{j}$ при координатном способе задания движения

$$\vec{V} = \dot{x}\vec{i} + \dot{y}\vec{j}.$$

Проекции скорости V_x , V_y на координатные оси будут равны первой производной по времени от соответствующей оси координат

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x};$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y}.$$

Исходя из этого находим модуль скорости

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}.$$

Также при естественном способе задания движения можно ввести алгебраическую величину скорости:

$$V_\tau = \frac{ds}{dt},$$

где V_τ — проекция скорости $\vec{v}$ на направление вектора $\vec{\tau}$ [2].

Тогда

$$\vec{V} = V_\tau \vec{\tau}.$$

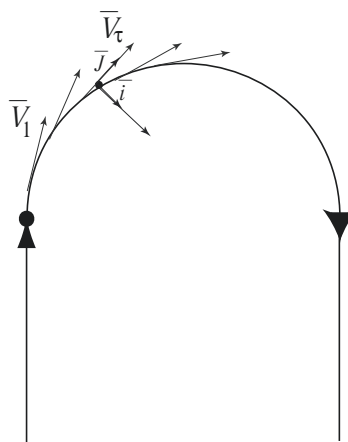


Рис. 2. Траектория машины на криволинейном участке с указанием направлений векторов скоростей

Как быстро меняется вектор скорости с течением времени, покажет ускорение (рис. 3). При естественном способе задания движения его раскладывают на два взаимно перпендикулярных вектора — касательное $\vec{a}_\tau$ и нормальное ускорение $\vec{a}_n$.

Главная нормаль всегда проходит через центр кривизны траектории движения точки.

Модуль вектора нормального ускорения определяется по формуле:

$$a_n = \frac{V^2}{\rho}.$$

Здесь ρ — радиус кривизны траектории движения, V — скорость точки.

При движении точки по окружности радиусом R радиус кривизны траектории $\rho=R$. В остальных случаях при движении точки по криволинейной траектории радиус ее кривизны является переменной величиной [1;6].

Нормальное ускорение перпендикулярно касательной к траектории и всегда направлено к центру кривизны:

$$\vec{a}_n = a_n \vec{n},$$

где $\vec{n}$ — единичный вектор в направлении главной нормали траектории.

Проекции ускорения на оси находим по формуле

$$\vec{a} = a_\tau \vec{\tau} + a_n \vec{n},$$

где

$$a_\tau = \frac{dV_\tau}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}.$$

Рассмотрим пример, когда автомобиль движется равнозамедленно по дуге окружности радиусом $r=800$ м

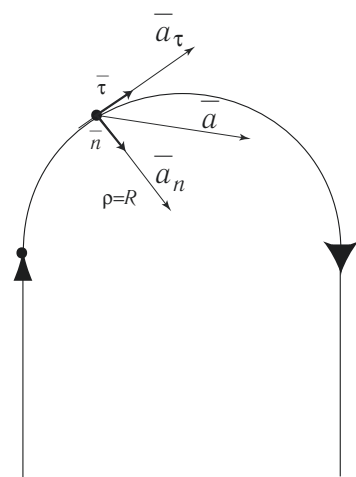


Рис. 3. Траектория машины на криволинейном участке с указанием направлений ускорения

и проходит путь $s_p=800$ м, имея начальную скорость $V_0=54$ км/ч и конечную $V_1=18$ км/ч. Такая траектория бывает при уборке снега на летном поле аэродрома или спортивной площадке, т.е. в случаях когда перемещение техники коммунального хозяйства не ограничивается элементами вертикальной разметки и строениями [6–8]. Определим время движения T автомобиля по такой дуге.

По условию движение равнопеременное. Законы равнопеременного движения имеют вид:

$$s = s_0 + V_{0\tau} t + a_\tau \frac{t^2}{2}; \quad V_\tau = V_{0\tau} + a_\tau t.$$

Запишем эти соотношения для момента времени T , учитывая, что $s_p = s_1 - s_0$:

$$V_1 = V_0 + a_\tau T; \quad s_p = V_0 T + a_\tau \frac{T^2}{2}.$$

Разрешая полученную систему уравнений относительно неизвестного времени и ускорения [6;7], получим

$$T = \frac{2s_p}{V_0 + V_1} = 80 \text{ с}; \quad a_\tau = \frac{V_1 - V_0}{T} = -\frac{1}{8} \text{ м/с}^2.$$

Найдем нормальное ускорение в начальной и конечной точках:

$$a_{n0} = \frac{V_0^2}{r} = \frac{9}{32} \text{ м/с}^2; \quad a_{n1} = \frac{V_1^2}{r} = \frac{1}{32} \text{ м/с}^2.$$

Для вычисления модуля ускорения воспользуемся тем обстоятельством, что касательная и нормальная составляющие ускорения ортогональны [6]:

$$|\vec{W}_0| = \sqrt{W_\tau^2 + W_{n0}^2} = 0,308 \text{ м/с}^2; \\ |\vec{W}_1| = \sqrt{W_\tau^2 + W_{n1}^2} = 0,129 \text{ м/с}^2.$$

Подобная траектория движения может быть использована при разработке специальной технологической схемы строительства железобетонного основания безбалластного железнодорожного пути, в основе которой находится технологический процесс бетонирования основной плитной конструкции, армированной металлическими стержнями или канатами с поэтапным уплотнением бетонной смеси [7–9].

Чтобы обеспечить заполнение опалубки без пустот, в том числе, в зоне стыковки арматурных стержней [10;11], в углах и в местах с высокой плотностью армирования применяется вибрация двух типов: глубинная и поверхностная. При вибрации бетонная смесь переходит из рыхлого состояния в структурное жидкое состояние, трение между частицами уменьшается и достигается требуемая текучесть, при этом все

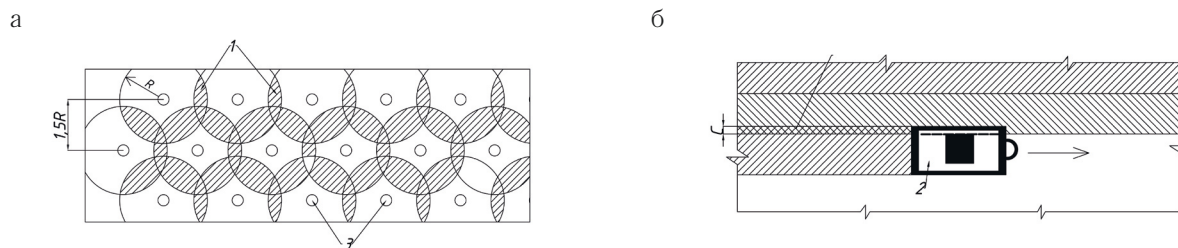


Рис. 4. Схема уплотнения бетонной смеси вибраторами: а – места расположения глубинных вибраторов; б – направление и траектория движения поверхностного вибратора; 1 – зона перекрытия; 2 – поверхностный вибратор; 3 – точки погружения глубинного вибратора

точки изменения геометрических размеров и формы опалубки заполняются (рис. 4).

Данная технология способна оказать помощь оператору-машинисту, совершенствуя управление техникой, направленное на сохранение параметров движения и корректировку в управлении при создании внешних помех или изменении качества дорожного покрытия [4; 12].

В дальнейшем будем рассматривать данную технологическую схему при задании траектории пути от двух и более машин при параллельном движении (рис. 5). Представленная траектория движения техники требует удостовериться в том, что машины не создадут помех друг другу, и, в частности, при пересечении траектории в точке 1. При создании данного алгоритма построения пути для движения беспилотной техники требуется учитывать не только различные параметры, такие как текущую скорость, ускорение и местопо-

жение одной машины, но и данные параметры относительно других машин. И это позволит построить наиболее оптимальный и безопасный маршрут, что повысит скорость и эффективность работы.

Основные параметры, на которые стоит обратить внимание при решении данных задач:

- безопасность для других участников движения;
- маневрирование техникой;
- качество выполняемых работ;
- удобство и понятный интерфейс.

Внедрение беспилотных систем имеет ряд преимуществ:

- безопасность человека;
- круглосуточный режим работы;
- отсутствие влияния погодных условий;
- увеличение производительности труда;
- оптимизация расходов;
- универсальность системы управления.

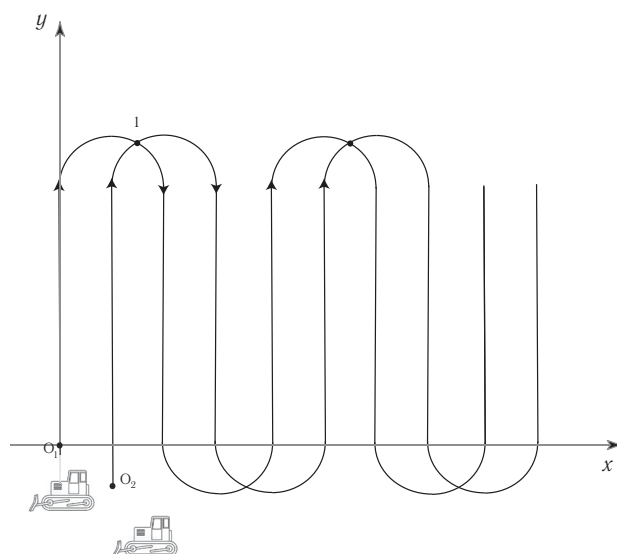


Рис. 5. Траектория пути при параллельном движении техники

Литература

1. Лукин, А.М. Теоретическая механика: (разделы «Статика», «Кинематика»): учебно-методическое пособие для студентов заочной и дистанционной форм обучения при подготовке дипломированного специалиста по направлению 653500 «Строительство» / А.М. Лукин, Д.А. Лукин, В.В. Квалдыков; Федеральное агентство по образованию, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). — Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. — 287 с. — Текст: непосредственный.
2. Подобед, С.А. К методике определения характера и вида движения точки при различных способах задания движения / С.А. Подобед. — Текст: непосредственный // Точная наука. — 2017. — № 16. — С. 2–9.
3. Локтев, Д.А. Определение габаритов транспортных средств и их положения на проезжей части в системе видеомониторинга / Д.А. Локтев, В.А. Кочнев, А.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2018. — № 4. — С. 62–69.
4. Glusberg B., Savin A., Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Chernova L., Loktev D. Counter-rail special profile for new generation railroad switch // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. Т. 982. С. 571–587.
5. Loktev D.A., Loktev A.A. Diagnostics of external defects of railway infrastructure by analysis of its images // В сборнике: Proceedings - 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018. 2018. С. 8570083.
6. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Savin A., Illarionova L., Lokteva O., Kuskov V. Dynamic behavior model of the ballastless railroad track segment considering wave processes // В сборнике: E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. 2020. С. 03035.
7. Гридасова, Е.А. Моделирование поведения сегмента рельсовой плети при динамическом воздействии / Е.А. Гридасова, А.А. Локтев, Л.А. Илларионова. — Текст: непосредственный // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. — 2020. — № 4(91). — С. 24–41.
8. Loktev A.A., Korolev V.V., Shishkina I.V., Basovsky D.A. Modeling the dynamic behavior of the upper structure of the railway track // Procedia Engineering (см. в книгах). 2017. Т. 189. С. 133–137.
9. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Chernova L., Geluh P., Savin A., Loktev D. Modeling of railway track sections on approaches to constructive works and selection of track parameters for its normal functioning // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. Т. 982. С. 325–336.
10. Lyudagovsky A., Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Alexandrova D., Geluh P., Loktev D. Energy efficiency of temperature distribution in electromagnetic welding of rolling stock parts // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. С. 01017.
11. Локтев, А.А. Моделирование мостотоннеля для пропуска легкового транспорта через объекты инфраструктуры / А.А. Локтев, В.П. Сычёв, О.И. Поддаева, А.В. Потапов, Г.Н. Талашкин. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2017. — № 1. — С. 73–78.
12. Логинов, И.Н. Когнитивная нейроморфная платформа управления ресурсами железнодорожного транспорта в автоматизированных системах управления / И.Н. Логинов, А.Н. Логинов, В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство: 9-я научно-практическая конференция с международным участием; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования Московский гос. ун-т путей сообщ. (МГУПС (МИИТ)), Российская открытая акад. трансп. (РОАТ). — Москва: МГУПС, 2016. — С. 312–319.