

# Расчет ширины коридора вписывания автопоезда в поворот с применением ЭЦВМ

Канд. техн. наук Ю. Ю. БЕЛЕНЬКИЙ, А. Б. АЗБЕЛЬ,

канд. техн. наук А. В. ЖУКОВ, В. П. ШИШЛО

Минский автозавод

ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ длиннобазных автопоездов различных типов необходимо решить проблему их вписывания в коридор заданной ширины во время движения на поворотах. Этому вопросу посвящены работы ряда авторов [1—4]. Однако в большинстве случаев описанные в литературе расчетные методики зачастую являются громоздкими и не всегда удобными для практического использования, а имеющиеся упрощенные расчетные модели не обеспечивают достаточной точности.

Рассмотрим кинематическую модель движения на повороте автопоезда, состоящего из автомобиля-тягача и прицепа или полуприцепа.

При составлении дифференциальных уравнений движения были приняты следующие допущения: движение автопоезда плоское без учета вертикальных колебаний; вследствие относительно малых скоростей при движении автопоездов на поворотах радиусом 12 м не учитывается боковой увод шин и их скольжение; характер движения каждого звена автопоезда однозначно определяется траекторией середины ходовой оси; колеса обеих осей прицепа предполагаются управляемыми с передаточными числами  $i_n$  и  $i_{n1}$ .

Кинематическая схема поворота автопоезда со всеми управляемыми осями показана на рис. 1.

На основе рассмотрения кинематики движения автопоезда были составлены дифференциальные уравнения для углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  складывания дышла и оси прицепа. В окончательном виде запишем их следующим образом:

$$\frac{d\gamma_1}{dt} = \omega_0 \left[ 1 - \frac{L_0 \sin\left(\frac{\gamma_1}{i_n} - \alpha_0\right)}{L_1 \operatorname{tg} \gamma_0 \cos \alpha_0 \cos\left(\frac{\gamma_1}{i_n} - \gamma_1\right)} \right]; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma_2}{dt} = & \left( \omega_0 - \frac{d\gamma_1}{dt} \right) \times \\ & \times \left[ 1 - \frac{L_1 \sin\left(\frac{\gamma_1}{i_n} - \gamma_1\right) + \frac{L_1 \cos\left(\frac{\gamma_1}{i_n} - \gamma_1\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_1}{i_n} - \alpha_0\right)} \times \right. \\ & \left. \times \frac{L_2 \cos\left(\frac{\gamma_2}{i_{n1}} - \gamma_2\right)}{\sin\left(\frac{\gamma_2}{i_{n1}} - \frac{\gamma_1}{i_n} + \gamma_1\right)} \right], \quad (2) \end{aligned}$$

где  $\omega_0 = \frac{v_0 \operatorname{tg} \gamma_0}{L_0}$  — угловая скорость поворота тягача;

$L_0$  — база автомобиля-тягача (для двухосного — расстояние между осями, для трехосного — расстояние между передней осью и серединой задней тележки);

$\gamma_0$  — угол поворота управляемых колес;

$L_1$  — длина дышла прицепа или длина полуприцепа;

$L_2$  — база прицепа (для двухосного — расстояние между осями, для трехосного — расстояние от передней оси до середины задней тележки);

$\alpha_0 = \operatorname{arctg}\left(\frac{C_0}{R_0}\right)$  ( $C_0$  — расстояние от оси задних колес

или от середины задней тележки до точки сцепки,  $R_0 = \frac{L_0}{\operatorname{tg} \gamma_0}$  — мгновенный радиус поворота тягача).

Задавая закон изменения угла  $\gamma_0 = \gamma_0(t)$ , при решении уравнений (1) и (2) определяют углы складывания  $\gamma_1(t)$  и  $\gamma_2(t)$ , на основании которых находят габаритную ширину коридора автопоезда на повороте. Движение автопоезда на повороте было разбито на четыре этапа.

1. Входная траектория — равномерный поворот управляемых колес  $\gamma_0 = \gamma_0 t$ . Поворот колес происходит до тех пор, пока внешняя точка тягача не станет двигаться по траектории с поворотом радиусом 12 м.

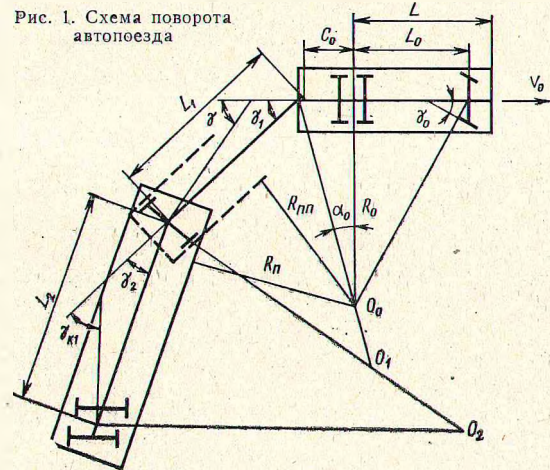


Рис. 1. Схема поворота автопоезда

2. Круговая траектория автомобиля-тягача  $\gamma_0 = \text{const}$ . Движение по круговой траектории продолжается до тех пор, пока суммарный угол поворота тягача  $\varphi$ , определяемый от начала поворота, не станет равным  $\varphi_2 = \alpha - \varphi_1$  ( $\alpha$  — задаваемый угол поворота автопоезда,  $\varphi_1$  — угол поворота тягача в конце первого этапа). Этот же угол равен углу поворота тягача при выходе из поворота в конце третьего этапа, отсчитываемому от конца второго этапа.

3. Выходная траектория  $\gamma_0 = \gamma_{0 \max} - \gamma_0 t$ . Поворот колес продолжается до тех пор, пока  $\gamma_0$  не станет равным 0.

4. Прямолинейная траектория  $\gamma_0 = 0$ . Расстояние от центра окружности, по которой движется автомобиль, до линии внутреннего борта:

для полуприцепов

$$R_{пн} = R_0 \cos \gamma_1 + C_0 \sin \gamma_1 - K; \quad (3)$$

для прицепов

$$R_{п1} = L_1 \sin \gamma_2 + C_0 \sin(\gamma_1 + \gamma_2) + R_0 \cos(\gamma_1 + \gamma_2) - K, \quad (4)$$

где  $K$  — половина габаритной ширины прицепа или полуприцепа.

Ширину коридора вписывания находим по следующей формуле:

$$B = 12 \text{ м} - R_{п}(R_{пн})_{\min}.$$

Уравнения (1) и (2) решали с помощью ЭЦВМ «Мир-1». По разработанной программе были рассчитаны и построены зависимости ширины коридора вписывания при повороте автопоездов от различных их параметров. Расчеты производили на автопоезде с полуприцепом и с прицепом (табл. 1).

Таблица 1

Параметры	Сельский тягач и полуприцеп	Автомобиль-тягач и прицеп
$L$ в м	5	6,25
$L_0$ в м	3,6	4,85
$C_0$ в м	0,325	3,18
$L_1$ в м	7,4	2,9
$L_2$ в м	—	6,4

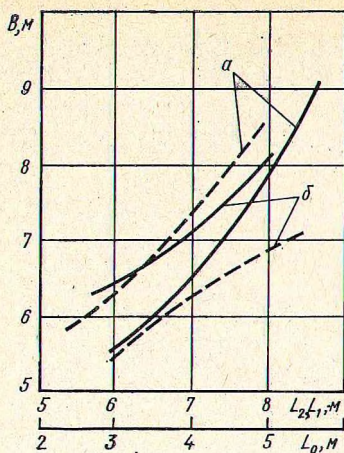


Рис. 2. Зависимость ширины коридора вписывания при повороте от базы прицепа  $L_2$  или полуприцепа  $L_0$  (кривые 1) и базы тягача (кривые 2) (сплошные линии — полуприцепы; штриховые линии — прицепы)

Результаты расчетов для обоих автопоездов при повороте на  $360^\circ$  приведены на рис. 2—4. Данные расчета подтверждают, что применение рассмотренной методики позволяет качественно и количественно анализировать влияние отдельных параметров автопоездов на кинематику их вписывания в повороты дорог.

Анализ результатов расчета показал, например, что изменение базы прицепного звена (рис. 2) больше влияет на ширину коридора вписывания, чем изменение базы тягача. При увеличении базы тягача свыше 4 м ширина коридора вписывания для автопоездов с полуприцепом изменяется интенсивнее, чем для автопоездов с прицепами.

Графики рис. 3 также характеризуют зависимости коридора вписывания от расположения точки сцепки на тягаче и длины дышла. Изменение положения точки сцепки полуприцепа с тягачом в пределах 80 см по отношению к его задней оси (кривая 1) не влияет на изменение ширины коридора вписывания, а увеличение расстояния от задней оси тягача до точки сцепки с прицепом уменьшает коридор вписывания.

На рис. 4 представлена зависимость ширины коридора вписывания автопоезда в составе автомобиля-тягача и прицепа от передаточных чисел передней и задней осей. Влияние передаточных чисел довольно существенно, причем передаточное число задней оси прицепа влияет значительно.

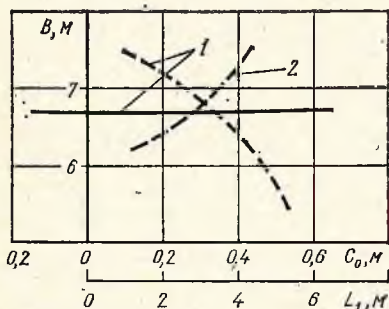
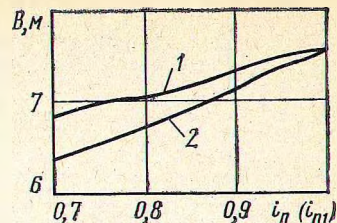


Рис. 3. Зависимость ширины коридора вписывания при повороте от расположения точки сцепки (кривые 1) и длины дышла прицепа (кривая 2): сплошная линия — полуприцепы; штриховые линии — прицепы

Зависимости углов  $\gamma_1 = \gamma_1(t)$  и  $\gamma_2 = \gamma_2(t)$  для автомобиля-тягача с прицепом при повороте на  $360^\circ$  приведены на рис. 5. Параметры автомобиля-тягача приведены в табл. 1, прицепа  $L_2 = 4,5$  м,  $L_1 = 2,9$  м. Скорость движения автопоезда 2 м/с. Точки  $t_1, t_2, t_3$  означают конец соответствующих этапов движения.

После решения уравнений (1) и (2) получены результаты, существенно отличающиеся от результатов расчетов, выполненных по методике, основанной на линейзации этих уравнений. Так, при расчете поворота автопоезда с полуприцепом на  $360^\circ$  с седельным тягачом, параметры которого приведены в табл. 1, полуприцепом, имеющим  $L_1 = 6$  м, по линейризованым уравнениям в конце первого этапа угол  $\gamma_1 = 7,8^\circ$ , а в конце второго  $\gamma_1 = 31,7^\circ$ . При расчете по уравнению (1) в конце первого этапа  $\gamma_1 = 9,7^\circ$ , а в конце второго  $\gamma_1 = 37^\circ$ . У полуприцепа с  $L_1 = 9,7$  м угол складывания  $\gamma_1$  достигает  $70^\circ$ . При расчетах по

Рис. 4. Зависимость ширины коридора вписывания при повороте от передаточного числа передней оси  $i_{п1}$  при  $i_{п2} = 1$  (кривая 1) и передаточного числа задней оси  $i_{п2}$  при  $i_{п1} = 1$  (кривая 2)



линеаризованной методике уже при угле  $\gamma_1 = 63^\circ$  имеем  $\gamma_1 < 0$  на втором этапе, что не соответствует действительности, а при решении уравнения (1) этого положения не возникает.

Точность изложенной методики проверена экспериментально путем непосредственного сравнения ширины коридора в чис-

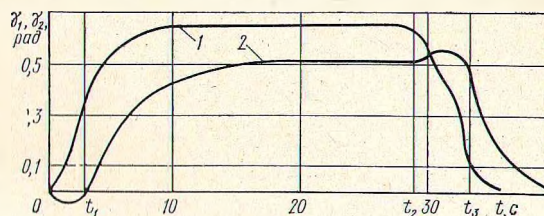


Рис. 5. Зависимость углов складывания дышла прицепа  $\gamma_1$  (кривая 1) и оси прицепа  $\gamma_2$  (кривая 2) от времени

вания, полученного расчетным и опытным путем для автопоездов с полуприцепами МАЗ при повороте по окружности 12 м.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных для автопоезда с седельным тягачом (табл. 2) указывает на достаточ-

Таблица 2

Параметры						Ширина коридора вписывания в м	
$L_1$ в м	$L_2$ в м	$L_0$ в м	$L$ в м	$C_0$ в м	$\alpha$ в град	Расчет	Эксперимент
7,9	—	3,85	4,15	0,10	90	5,90	6,1
					180	7,2	7,1
					360	7,81	7,6
9,88	—	3,85	4,15	0,10	90	6,6	7,0
					180	8,85	8,95
					360	11,1	10,65
7,9	—	3,4	4,7	0,10	90	5,7	5,8
					180	6,9	6,8
					360	7,4	7,15

ную для практических целей точность изложенной расчетной методики.

Из табл. 2 видно, что максимальное расхождение опытных и расчетных данных находится в пределах 6%.

Таким образом, можно рекомендовать изложенную методику расчета ширины коридора вписывания автопоездов на поворотах дорог для использования при их проектировании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда. М., «Транспорт», 1967.
2. Марголин И. И. — «Автомобильная промышленность», 1972, № 2.
3. Mitschke M., Bisimis E. — „Deutsche Kraftfahrtforschung und Strassenverkehrstechnik“, 1971, Heft 210.
4. Зисман Л. М., Гинцбург Л. Л. — «Автомобильная промышленность», 1973, № 10.