ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

Н. Ф. Котляренко, И. З. Скрыпин, В. А. Кругляк
Харьков

В последнее время в СССР большое значение в общей системе транспорта приобретают автомобильные перевозки (рис. 1). Увеличению удельного веса автотранспорта способствовало его существенное техническое перевооружение, создание специализированных дорожных машин и механизмов, развитие сети дорог с твердым покрытием. Магистральные автомобильные перевозки, как грузовые, так и пассажирские, составляют значительную часть всех перевозок в стране (рис. 2). В связи с этим железнодорожные переезды в местах пересечения автомобильных и железных дорог становятся причиной растущих простоев автотранспорта и повышенной опасности для людей и техники.

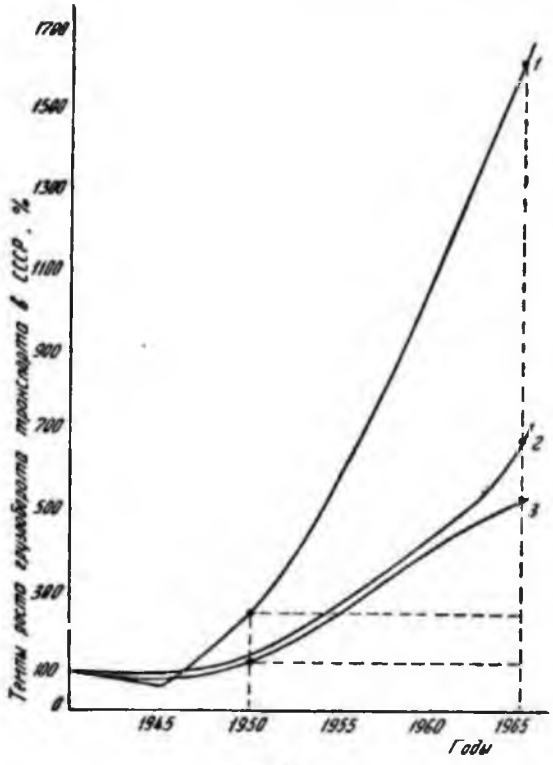

Рис. 1.
(*1* — автотранспорт; *2* — все виды транспорта; *3* — ж/д транспорт)

Строительство развязок в разных уровнях, широко практикуемое в местах пересечения дорог с наибольшей интенсивностью движения, ограничивается местными условиями и требует больших капитальных затрат. Поэтому большой интерес представляет повышение эффективности существующих систем ограждения железнодорожных переездов, которая определяется безопасностью движения и пропускной способностью переездов (для автотранспорта). Эти два фактора взаимосвязаны и далеко не всегда оптимальны даже при наиболее совершенных системах ограждения переездов.

Основным устройством автоматического ограждения является в настоящее время автоматическая переездная сигнализация с автошлагбаумами и без них, построенная по принципу фиксированного расстояния. При

проектировании таких устройств длина L участка приближения к переезду рассчитывается по формуле

$$L = 0{,}278\, V_{макс} t_{о.мин}, \qquad (1)$$

где $V_{макс}$ — максимально допустимая скорость движения поездов на участке, *км/ч*;

$t_{о.мин}$ — предварительно рассчитанное минимальное время оповещения, *сек* [1].

При вступлении поезда, движущегося с любой скоростью $V \leqslant V_{макс}$, на участок приближения длиной L, фиксированной для данного переезда, автоматические устройства срабатывают, и переезд закрывается. Очевидно, что фактический промежуток времени от момента закрытия переезда до вступления на него поезда, т. е. фактическое время оповещения $t_о$, будет обратно пропорционален скорости

$$t_о = \frac{t_{о.мин} V_{макс}}{V}. \qquad (2)$$

При движении поезда со скоростью V, меньшей максимальной, фактическое время оповещения $t_о$ будет больше на величину излишнего времени оповещения $t_и$, т. е.

$$t_о = t_{о.мин} + t_и. \qquad (3)$$

Из (2) и (3) получим

$$t_и = \frac{t_{о.мин}(V_{макс} - V)}{V}. \qquad (4)$$

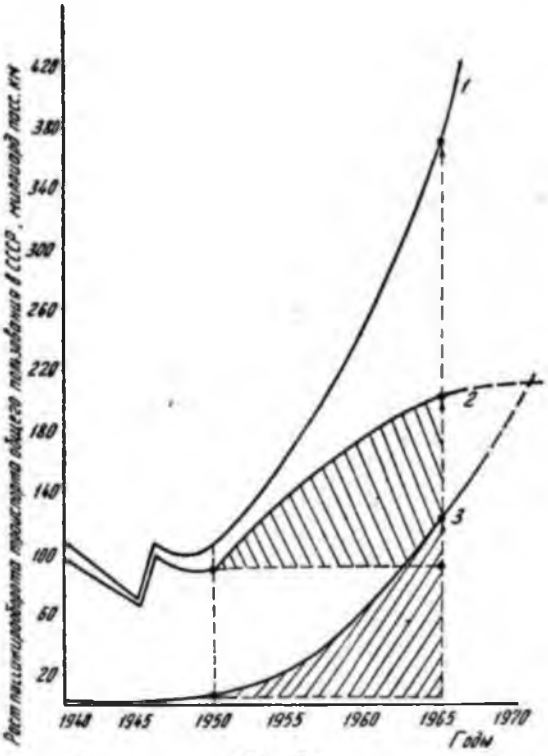

Рис. 2.

(*1* — все виды транспорта; *2* — ж/д транспорт; *3* — автотранспорт).

Очевидно, что излишнее время оповещения при широком диапазоне скоростей поездов различных категорий может в несколько раз превышать минимальное время, необходимое для своевременного закрытия переезда. Это значит, что переезд может закрываться задолго до вступления на него поезда и задержка автотранспорта без всякой необходимости может значительно увеличиваться. На большинстве действующих железнодорожных линий диапазон скоростей поездов достаточно широк и количество поездов, движущихся с малой скоростью, составляет значительную часть. Поэтому дополнительные простои автотранспорта у переездов за счет несовершенства переездной сигнализации, построенной по принципу фиксированного расстояния, в масштабе всей страны оказываются весьма ощутимыми. При этом следует иметь в виду, что излишне долгое закрытие переезда до вступления на него поезда приводит к резкому снижению безопасности движения, так как у водителей автотранспорта возникает сомнение в исправном действии устройств ограждения.

Для обоснования необходимости усовершенствования существующих устройств ограждения на железнодорожных переездах рассмотрим методику расчета дополнительных простоев автотранспорта за счет излишнего

времени оповещения. В данном случае целесообразно определять именно дополнительные потери, так как основные потери, связанные с необходимым временем оповещения и временем движения поезда по переезду, являются неизбежными при сохранении пересечения в одном уровне.

Дополнительные потери определяются временем простоя у переезда автомашин, задержанных за излишнее время при движении поездов в течение суток.

Пусть I — интервал попутного следования автомашин. Полагая, что задержка автотранспорта начинается с момента закрытия переезда, нетрудно убедиться (рис. 3), что каждая из m автомашин, подошедших к переезду за время $t_{\text{о. мин}}$, будет задержана дополнительно на время $t_{\text{н}}$;

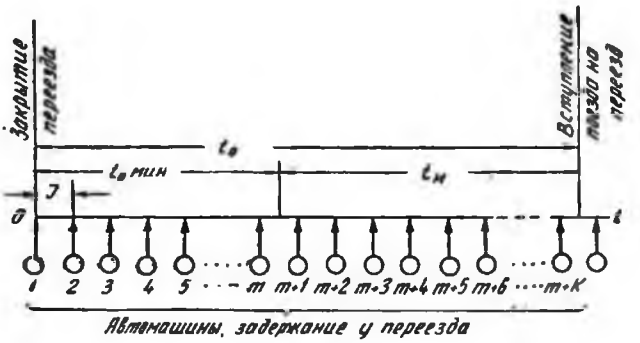

Рис. 3.

$m+1$ автомашина — на время $t_0 - mI$; $m+2$ автомашина — на время $t_0 - (m+1)I$ и т. д. Автомашина $m+k$, которая является последней из подошедших к закрытому переезду до вступления на него поезда, будет задержана на время $t_0 - (m+k-1)$. Общее время дополнительной задержки (за время $t_{\text{н}}$) одним поездом автомашин, двигающихся в одном направлении, составит

$$t_{\text{з}} = mt_{\text{н}} + (t_0 - mI) + [t_0 - (m+1)I] + \ldots + [t_0 (m+k-1)I]. \quad (5)$$

Учитывая, что t_0 повторяется в правой части равенства (5) k раз, а коэффициент при I возрастает по арифметической прогрессии, это равенство перепишем следующим образом:

$$t_{\text{з}} = mt_{\text{н}} + kt_0 - \frac{k(2m+k-1)}{2} I, \quad (6)$$

где $m = \left[\frac{t_{\text{о. мин}}}{I}\right] + 1$ — количество задержанных автомашин, подошедших к переезду за время $t_{\text{о. мин}}$ (в одном направлении);

$\left[\frac{t_{\text{о. мин}}}{I}\right]$ — целая часть дроби, заключенной в квадратны скобки;

$k = \left[\frac{t_{\text{н}}}{I}\right]$ — количество задержанных автомашин, подошедших к переезду за время $t_{\text{н}}$ (в одном направлении);

$\left[\frac{t_{\text{н}}}{I}\right]$ — целая часть дроби, заключенной в квадратные скобки.

С учетом (2) и (4) после преобразований получим

$$t_{\text{з}} = t_{\text{о. мин}} \left[(m+k)\frac{V_{\text{макс}}}{V} - m\right] - \frac{k(2m+k-1)}{2} I; \quad (7)$$

$$k = \left[\frac{t_{\text{о. мин}}}{l}\left(\frac{V_{\text{макс}}}{V} - 1\right)\right], \tag{8}$$

где $\left[\frac{t_{\text{о. мин}}}{l}\left(\frac{V_{\text{макс}}}{V} - 1\right)\right]$ — целая часть дроби, заключенной в квадратные скобки.

Если предположить, что поезда на участке, где расположен переезд, движутся равномерно во времени (что близко к действительности), то неравномерность движения автотранспорта в течение суток не будет влиять на результаты расчета. Среднесуточная интенсивность движения по переезду Q определяется произведением количества автомашин на количество поездов, проследующих по переезду в течение суток. Поэтому снижение интенсивности движения автотранспорта в одно время суток (ночью) будет компенсировано повышением ее в другое время (днем) при относительно равномерном движении поездов. Следовательно, для упрощения расчета можем принять движение автотранспорта также равномерным во времени. В этом случае интервал попутного следования автомашин через переезд определится по формуле

$$l = 1{,}73 \cdot 10^5 \frac{N}{Q}, \tag{9}$$

где N — общее количество пар поездов в сутки;

Q — интенсивность движения по переезду (поездоэкипажей в сутки).

Очевидно, что общие (от всех поездов) дополнительные потери $P_д$ за счет простоя автотранспорта у переезда в сутки с учетом двухстороннего движения автотранспорта составят

$$P_д = 4\sum_{1}^{n} t_{зi} N_i, \tag{10}$$

где n — число категорий поездов.

Из (10) с учетом (7) окончательно получим

$$P_д = 1{,}11 \cdot 10^{-3} \sum_{1}^{n} N_i \left\{t_{\text{о. мин}}\left[(m + k_i)\frac{V_{\text{макс}}}{V_i} - m\right] - \frac{k_i(2m + k_i - 1)}{2} l\right\}.$$

В практических расчетах величина $P_д$ может служить критерием для определения необходимости дооборудования существующих устройств ограждения переезда элементами контроля скорости движения поездов, позволяющими исключить дополнительные потери автотранспорта.

Приведем примерный расчет дополнительных потерь у переезда для следующих условий:

а) переезд оборудован автоматической сигнализацией без контроля фактической скорости поездов;

б) в сутки по переезду проследует 60 пар поездов следующих скоростных категорий: до 40 *км/ч* — 10 пар; до 60 *км/ч* — 31 пара; до 80 *км/ч* — 13 пар; до 120 *км/ч* — 6 пар;

в) интенсивность движения по переезду $Q = 540\,000$ поездоэкипажей (взаимопересечений) в сутки;

г) минимальное время оповещения $t_{\text{о. мин}} = 40$ *сек*.

Определим интервал попутного следования автомашин по формуле (9):

$$l = 1{,}73 \cdot 10^5 \frac{60}{540\,000} = 19{,}2 \text{ сек}.$$

Величина m равна

$$m = \left[\frac{40}{19{,}2}\right] + 1 = [2{,}08] + 1 = 3.$$

Значения k_i для поездов различных категорий получаем по формуле (8):

$$k_1 = \left[\frac{40}{19{,}2}\left(\frac{120}{40} - 1\right)\right] = [4{,}16] = 4;$$

$$k_2 = \left[\frac{40}{19{,}2}\left(\frac{120}{60} - 1\right)\right] = [2{,}08] = 2;$$

$$k_3 = \left[\frac{40}{19{,}2}\left(\frac{120}{80} - 1\right)\right] = [1{,}04] = 1.$$

$$k_4 = \left[\frac{40}{19{,}20}\left(\frac{120}{120} - 1\right)\right] = [0] = 0.$$

Величина дополнительных потерь автотранспорта для заданного переезда для каждой категории поезда будет равна

$$P_{д1} 1{,}11 \cdot 10^{-3} \cdot 10\left\{40\left[(3+4)\frac{120}{40} - 3\right] - \frac{4(2\cdot 3 + 4 - 1)}{2} \cdot 19{,}2\right\} = 4{,}15;$$

$$P_{д2} 1{,}11 \cdot 10^{-3} \cdot 31\left\{40\left[(3+2)\frac{120}{60} - 3\right]\frac{2(2\cdot 3 + 2 - 1)}{2}\ 19{,}2\right\} = 5{,}02;$$

$$P_{д3} 1{,}11 \cdot 10^{-3} \cdot 13\left\{40\left[(3+1)\frac{120}{80} - 3\right] - \frac{1(2\cdot 3 + 1 - 1)}{2} \cdot 19{,}2\right\} = 0{,}9;$$

$$P_{д4} 1{,}11 \cdot 10^{-3} \cdot 6\left\{40\left[(3+0)\frac{120}{120} - 3 - \frac{0(2\cdot 3 + 0 - 1)}{2} \cdot 19{,}2\right\} = 0.\right.$$

Общая величина дополнительных потерь составит

$$P_д = P_{д1} + P_{д2} + P_{д3} + P_{д4} = 4{,}15 + 5{,}02 + 0{,}9 = 10{,}07 \text{ автомоб. час/сутки.}$$

Расчет показывает, что на данном переезде в течение года только за счет излишнего времени оповещения теряется свыше 3 тыс. автомобиле-часов при исправной работе устройств сигнализации. На всей сети железных дорог сумма дополнительных потерь составит внушительную цифру. Материальный ущерб за счет простоев автотранспорта у переездов, вызванных несовершенством существующих систем ограждения, огромен. Хронометражные наблюдения, проведенные на ряде переездов, показывают, что фактические дополнительные потери автотранспорта у закрытых переездов значительно превышают расчетные, поскольку минимальное время оповещения на переезд и длины участков приближения, как правило, завышены. На многих переездах фактическое время оповещения на переезд при низкой скорости поезда в 5—6 раз превышает минимально необходимое, достаточное для обеспечения полной безопасности движения. Соответственно возрастают и простои автотранспорта.

Как уже отмечалось, не менее важным обстоятельством является резкое снижение безопасности движения на переездах. Водители автотранспорта нередко нарушают правила движения на переездах, что приводит к несчастным случаям. Все это делает неотложной задачу усовершенствования систем переездной сигнализации. Необходима разработка и внедрение устройств автоматического ограждения, позволяющих дифференцированно управлять переездной сигнализацией с контролем фактической скорости поезда на участке приближения к переезду, т. е. строить переездную автоматику по принципу фиксированного времени оповещения.

Это позволит значительно повысить эффективность автоматических ограждающих устройств с точки зрения пропускной способности и безопасности движения. Четкая работа автоматической переездной сигнализации с контролем скорости движения поездов дает возможность в будущем отказаться от установки автошлагбаумов как дополнительной меры безопасности, вызванной несовершенством существующих устройств. Кроме того, на вновь оборудованных переездах, расположенных на скоростных линиях, установка устройств для контроля скорости поездов позволит закладывать в расчет длины участка приближения те скорости поездов, которые предполагаются на участке в будущем. Это освободит от необходимости переоборудования переездов при повышении скорости движения поездов.

В настоящее время разработаны и испытаны различные конструкции устройств для контроля скорости движения поездов, известных под названием уравнителей времени оповещения (предупреждения). Устройства недороги, просты по конструкции и легко увязываются с действующими системами переездной сигнализации [2, 3]. Однако они до сих пор не внедрены. Дело в том, что практически все такие устройства, контролируя скорость поезда, не реагируют на ее возможные изменения в пределах участка приближения к переезду. Настроенный на равномерное движение поезда уравнитель допускает опасную ситуацию при резком увеличении скорости поезда на участке приближения.

При настройке на максимально возможное ускорение значительно снижается эффективность уравнителей при равномерном движении поездов, которое является преобладающим. Это препятствует широкому внедрению уравнителей времени на железнодорожном транспорте.

Принципиально возможна разработка устройств, контролирующих не только скорость, но и характер движения поезда. Имеется немало конструктивных предложений по реализации таких систем. Однако, как правило, они весьма сложны, громоздки и дороги. Целесообразность их вызывает сомнение, если учесть несколько формальное отношение к внедрению уравнителей. Дело в том, что машинисты при безостановочном проследовании переездов практически никогда не увеличивают скорость на участке приближения к нему. Если же поезд останавливался на участке приближения, то машинист при следовании через переезд будет максимально осторожен. При этом сказывается психологический фактор: для машиниста переезд — одно из самых опасных мест на пути следования. Необходимо лишь узаконить существующее положение — запретить ускоренное движение в сторону переезда до его закрытия. На участках, где ускоренное движение неизбежно, следует устанавливать уравнители, настроенные на максимальное возможное ускорение. Таким образом, задача может быть решена с помощью минимальных средств. При ее решении необходимо учитывать интересы железнодорожного и автомобильного транспорта. Кроме того, необходимо продолжать и работы по совершенствованию устройств контроля скорости, повышению их надежности и универсальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Шмырев. Автоматическая переездная сигнализация на железнодорожных переездах. Изд-во «Транспорт», 1964.

2. В. А. Шариков, Ф. Д. Лист. Автоматическая переездная сигнализация с электронными рельсовыми цепями. Изд-во «Транспорт», 1967.

3. И. З. Скрыпин. Электронный уравнитель времени предупреждения типа УВП-АПС-64. «Автоматика, телемеханика и связь», № 2, 1965.