

Смирнова Н.В., канд. тех. наук.

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ЗАДАННОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ СОСТОЯНИИ ДОРОГИ

Аннотация. Представлен алгоритм и результаты моделирования движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги. Выполнен анализ зависимостей изменений характеристик потока.

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность движения, скорость свободного движения, средние скорости.

Анотація. Представлено алгоритм і результати моделювання руху транспортних потоків при заданому експлуатаційному стані дороги. Виконано аналіз залежностей змін характеристик потоку.

Ключові слова: транспортний поток, інтенсивність руху, швидкість вільного руху, середні швидкості.

Abstract. An algorithm for the simulation results and traffic flow at a given operating condition of the road represented. The analysis of dependencies changes the flow characteristics performed.

Keywords: traffic flow, intensity of movement, free movement velocity, average speed.

Введение

Роль показателей технического уровня дороги и её эксплуатационного состояния в режимах движения автомобилей в транспортном потоке характеризуется, главным образом, показателями ровности проезжей части и сцепными свойствами покрытия. Определяющим также является и уровень оснащённости эксплуатационной организации ресурсами для содержания дороги (финансовыми, материалами, дорожно-эксплуатационными машинами,

кадрами и пр.). В отдельные периоды эксплуатации дороги сцепные свойства могут резко снижаться и быть меньше минимально допустимых, например, в периоды зимних метелей и гололеда. Даже при уровне финансирования 100% в эти периоды практически невозможно повысить коэффициент сцепления до нормы из-за погрешностей прогноза погодных-климатических явлений.

Основная часть

В силу указанных причин моделирование движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги, существенно отличным от нормативного, является актуальным для прогнозирования транспортно-эксплуатационных свойств дороги на длительный период её типичного жизненного цикла эксплуатации.

Далее приведены алгоритмы и примеры моделирование движения транспортных потоков при заданном эксплуатационном состоянии дороги.

Алгоритм вычислительных процедур моделирования режимов движения транспортных потоков на дорогах II – IV категорий составлен следующим образом.

1. Моделируют по зависимостям [1, 2] в программе *Road_1* свободное движение всех групп автомобилей расчетного потока грузовых, автобусов, легковых (малых, средних, больших) автопоездов по всей дороге с шагом по длине, например, $\Delta x=20$ м. В каждой точке x получают средние скорости свободного движения тех же типов автомобилей и средние квадратические отклонения (СКО) скорости. Также в программе *Road_1* вычисляют – расстояние видимости встречного автомобиля для последующего назначения режимов движения потока.

2. Считывают результаты моделирования свободного движения по всем пикетам во внутреннюю базу, из которой будут выбираться нужные данные для моделирования на всех пикетах дороги как в прямом, так и в обратном направлении. При интенсивности потока по дороге Q и в зависимости от загрузки k_1 и k_2 полос 1 (правой) и 2 (левой) принимают $Q_1=k_1Q$ и $Q_2=k_2Q$.

3. Поскольку характеристики потоков как правой (1) так и левой (2) полос взаимно зависимы, то моделирование необходимо выполнять итерационным способом, уточняя с каждой итерацией эти характеристики. Опытные прогоны программы показали, что достаточно двух прогонов: 1 и 2.

Назначают прогон $Pr=1$, полосу $lan=1$, интенсивность $q= Q_{lan}/3600$, начальный пикет $i_x = 0$.

4. Моделирование ведут по всем пикетам i_x дороги. Для пикета i_x вычисляют значения плотности вероятности скорости свободного движения всех автомобилей, входящих в поток и с учетом состава потока как средневзвешенную находят общую плотность вероятности скорости свободного движения $f(v)$. Как математическое ожидание находят среднюю скорость свободного движения $v_{св}$ всех автомобилей потока.

Если прогон первый и полоса 1, то скорость встречного потока v_{2N} , неизвестна и первоначально её принимают равной скорости свободного движения потока $v_{св}$ на полосе 2, а затем уточняют в п. 7, 8, 9 в зависимости от того, какой режим движения потока будет на данном пикете. Если прогон второй и полоса 1, то скорость встречного потока v_{2N} , принимают равной скорости потока на полосе 2, вычисленной при предыдущем прогоне. Если прогон второй и полоса 2, то скорость встречного потока v_{2N} , принимают равной скорости потока на полосе 1, вычисленной при предыдущем прогоне.

В предположении возможности обгона на данном пикета i_x и на данной полосе моделируют стационарный режим, вычисляя $P_1(v)$, $P_2(v)$, $P_3(v)$ и вероятность свободного движения $P(v)$ по формулам [1]. Далее вычисляют распределение вероятности скорости в потоке $\Phi(v)$ скорость потока v_N на данной полосе. Вычисляют плотность потока $r = q/v_Q$.

По расстоянию видимости встречного автомобиля с пикета i_x устанавливают возможность обгона. Вид режима движения потока (1- стационарный, 2 - переходной режим без обгонов и 3 переходной режим движения с обгонами) устанавливают в зависимости от возможности обгона на данном пикете и от того, какой режим движения был на предыдущем пикете.

5. Если обгоны на данном пикете не возможны, то режим потока 2. Если пикет $i_x = 0$, принимают, что предыдущим был стационарный режим и для него начальные вероятности свободного движения $P(v)$ такие, как в [2]. Если $i_x > 0$, то начальные вероятности $P(v)$ такие, какие были в конце предыдущего пикета. Для моделирования движения без обгонов переходят к п. 8.

6. Если обгоны на данном пикете возможны и на предыдущем пикете был режим 1, то на данном пикете режим потока 1, а если на предыдущем пикете не закончился режим 3, то на данном пикете будет продолжаться режим потока 3. Если обгоны на данном пикете возможны и на предыдущем пикете был режим 2, то на данном пикете начинается режим потока 3 – переходной режим с обгонами. Для моделирования стационарного режима 1 переходят к п. 7. Для моделирования режима 3 переходят к п. 9.

7. Моделирование стационарного режима 1. Вычисляют для полосы lan : а) интервал $t_{бд}$ и минимально-безопасный интервал t_0 по формулам [1]. Если $qt_0 > 0.99$, то превышена пропускная способность на пикете i_x и переходят к п.12. В противном случае продолжают, рассчитывая фиктивную плотность потока r' , вероятность свободного движения $P(v)$, распределение вероятностей свободного движения и скорость потока v_N на данной полосе в данном пикете i_x по формулам [1].

Вычисляют плотность потока $r = q / v_Q$, которая будет отличаться от плотности, вычисленной в п. 4. Поэтому, принимая среднее значение плотности из двух указанных, продолжают итерационным способом вычисления с начала настоящего пункта, пересчитывая $t_{бд}$, t_0 , r' , $P(v)$, $\Phi(v)$ и v_N , уточняя плотность r . Пересчеты продолжают, пока отличие плотности r на данной итерации от значения r на предыдущей итерации будет не более, чем 1-2%. Сходимость итерационного процесса обеспечивается. По завершению моделирования переходят к п.10.

8. Моделирование переходного режима движения без обгонов. Вычисляют для полосы lan : а) интервал $t_{бд}$ и минимально-безопасный интервал t_0 по формуле и б) фиктивную плотность потока r' по формулам [1]. Если $qt_0 > 0.99$, то превышена пропускная способность на пикете i_x и переходят к п.12.

В противном случае продолжают, рассчитывая вероятность свободного движения $P(v)$, распределение вероятностей свободного движения и скорость потока v_N на данной полосе в данном пикете i_x^* . Вычисляют плотность потока $r = q / v_Q$, которая будет отличаться от плотности, вычисленной в п. 4. Поэтому, принимая среднее значение плотности из двух указанных, продолжают итерационным способом вычисления с начала настоящего пункта, пересчитывая $t_{\text{бд}}$, t_0 , r' , $P(v)$, $\Phi(v)$ и v_N уточняя плотность r . Пересчеты продолжают, пока отличие плотности r на данной итерации от значения r на предыдущей итерации будет не более, чем 1-2%. Сходимость итерационного процесса обеспечивается. По завершению моделирования переходят к п.10.

9. Моделирование переходного режима движения с обгонами. Вычисляют для полосы lan : а) интервал $t_{\text{бд}}$ и минимально-безопасный интервал t_0 и б) фиктивную плотность потока r' по формулам [35]. Если $(q t_0) > 0.99$, то превышена пропускная способность на пикете i_x и переходят к п.12.

В противном случае продолжают, рассчитывая вероятность свободного движения $P(v)$ по формулам [2]. Если участку движения с обгонами предшествовал участок движения без обгонов, то $P_{30}(v) = 0$ для всех v .

С найденными вероятностями $P_1(v)$, $P_2(v)$, $P_3(v)$ вычисляют распределение вероятностей свободного движения по формулам [2] скорость потока v_N на данной полосе в данном пикете i_x . Вычисляют плотность потока $r = q / v_Q$, которая будет отличаться от плотности, вычисленной в п. 4. Поэтому, принимая среднее значение плотности из двух указанных, продолжают итерационным способом вычисления с начала настоящего пункта, пересчитывая $t_{\text{бд}}$, t_0 , r' , $P(v)$, $\Phi(v)$ и v_N уточняя плотность r . Пересчеты продолжают, пока отличие плотности r на данной итерации от значения r на предыдущей итерации будет не более, чем 1-2%. Сходимость итерационного процесса обеспечивается.

Переходной режим движения с обгонами считается завершенным на данном пикете, если скорость v_Q , вычисленная в данном пункте, достигнет скорости стационарного режима на данном пикете, в предположении возможности обгонов на всей дороге (см. п.4) Завершив моделирование, переходят к п.10.

10. При известной интенсивности потока Q авт/ч вычисляют по формуле (4.34) значения Q_1 , Q_2 и Q_3 (авт/ч) – интенсивности частей потока движущихся 1) – свободно, 2) – связно, не свободно, 3) с обгонами.

11. Переходят к следующему пикету i_x . Если не достигнут конец участка, то продолжают моделировать движение потока в данном направлении, переходя к п.4. Если достигнут конец участка и номер полосы $lan=1$, то принимают $lan=2$ и начинают моделировать движение потока в обратном направлении, переходя к п.4. Если достигнут конец участка и номер полосы $lan=2$, то проверяют номер прогона Pr ; если $Pr=1$, то назначают $Pr=2$, принимают $lan=1$ и начинают второй прогон моделирования движения потока в прямом направлении, переходя к п.4. Если при втором прогоне достигнут конец участка и номер полосы $lan=2$, то моделирование завершено.

12. Так как $qt_o > 0.99$, то выводят сообщение о превышении пропускной способности на пикете i_x и завершают моделирование при заданной интенсивности, рекомендуя её уменьшить.

Результаты моделирования Основные параметры дороги в примере следующие: категория – III; длина участка – 3 км; начало на ПК 20, конец на ПК 50. Параметры поперечного профиля и проезжей части: количество полос движения – 2; ширина полосы движения 3.75 м, обочин 3.0 м; покрытие – асфальтобетонное с коэффициентом сцепления 0.4; ровность проезжей части 60 см/км; обочины укреплены засеваем трав. В плане дорога имеет две кривые.

Продольный профиль показан на рис. 1.

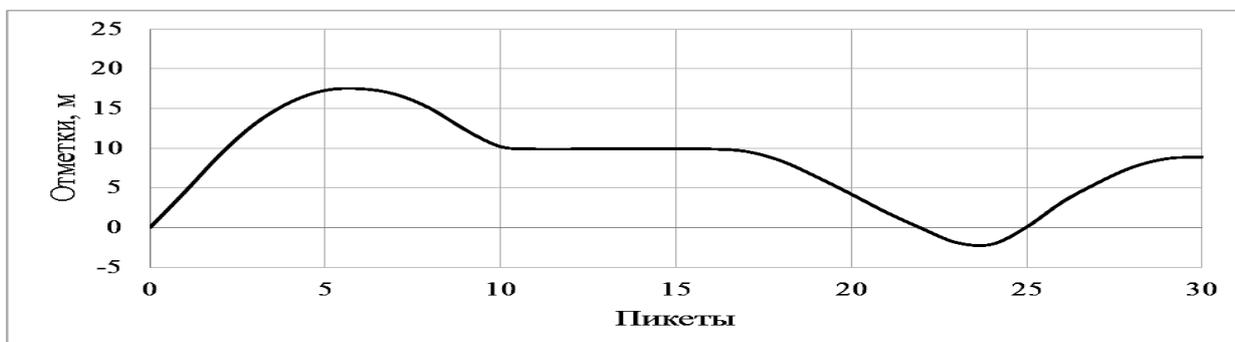


Рисунок 1 – Продольный профиль дороги

Мост с габаритом равным ширине проезжей части расположен на ПК 23+90 – ПК 24+10. Малый населенный пункт с двухсторонней застройкой (расстояние от дороги до застройки 10 м) расположен на ПК 43 – ПК 47; тротуаров и полос местного движения нет.

Оснащенность эксплуатационной организации ресурсами для содержания дороги 60%.

Расчетная интенсивность движения для моделирования: среднее значение 300 авт/час, пиковое 600 авт/час. Состав потока приведен в табл. 1.

Таблица 1 - Состав движения

Типы автомобилей	Грузовые					Автобусы			Легковые		
	мал	сред	бол	A+пр	A+ппр	мал	сред	бол	мал	сред	бол
%	2	3	4	5	6	7	8	9	20	14	22

Обозначения в табл. 2: мал – малые, сред – средние, бол – большие, A+пр – автомобиль с прицепом, A+ппр – автомобиль с полуприцепом.

Моделирование выполняется в два этапа:

- 1) свободное движение - в программах *Road_0*, и *Road_1*,
- 2) движение транспортных потоков - в программе *Road_3*.

Для моделирования свободного движения исходные данные примера введены в программы *Road_0*, и *Road_1* [40]. Для последующего моделирования движения транспортных потоков результаты моделирования свободного движения в прямом и обратном направлениях записывают в файлы *STFOR.001* и *STFOR.002*. Файлы *STFOR.001* и *STFOR.002* считываются программой *Road_3*, в которой и выполняется моделирования движение транспортных потоков.

Выполнен анализ зависимостей характеристик потока.

Теоретические возможности настоящего метода моделирования движения транспортных потоков позволяют находить значения скорости свободного движения, скорости при различных значениях интенсивности, количество обгонов и разброс скорости.

Таблица 2 - Изменение характеристик потока прямого направления с ростом интенсивности (фрагмент)

ПК	Скорости, км/ч					R, авт/км				Обгоны, обг/час				СКО, км/ч			
	Св	300	600	1200	1800	300	600	1200	1800	300	600	1200	1800	300	600	1200	1800
20	82	75	72	60	38	2.0	4.2	10.1	23.5	0	0	0	0	31	30	25	7
21	80	72	68	55	38	2.1	4.4	10.9	23.8	0	0	0	0	29	28	21	6
22	75	67	63	52	38	2.2	4.8	11.6	23.8	0	0	0	0	23	22	16	6
23	69	63	60	51	38	2.4	5.0	11.8	23.8	0	0	0	0	15	15	12	6
24	74	67	64	53	38	2.2	4.7	11.3	23.7	0	0	0	0	11	12	12	6

Выводы

Анализ результатов моделирования с расчетом различных скоростей, убеждает в том, что фактические скорости определяются, прежде всего, особенностями технического уровня дороги, параметрами плана, продольного профиля и параметрами дорожной обстановки, показателями эксплуатационного состояния дороги. Анализ средних скоростей потока показывает, что рост интенсивности потоков в большей степени влияет на значения скорости, чем все остальные дорожные факторы – с ростом интенсивности скорости всех автомобилей все более сближаются. Эта же тенденция присуща и разбросу скорости. Количество обгонов растет с ростом интенсивности, но затем падает до нуля при интенсивности, близкой к пропускной способности.

Литература

1. Смирнова Н.В. Моделирование движения транспортных потоков и расчет показателей функционирования дороги //Матеріали 75-ї студентської наукової конференції та 77-ї науково-методичної конференції ХНАДУ. – Харків, 2013. – С. 102-105.

Филиппов В.В., Смирнова Н.В. Моделирование режимов движения транспортных потоков на дорогах II – IV категорий // Науковий вісник будівництва – Харків – 2013– Вип.73. – С.351-359.