

отчета о работе перевозчиков, разработки стандартов качества предлагаемых транспортных услуг и т. д.

Перечисленные меры являются элементом политики государства в области транспорта. В

этой связи нельзя не отметить, что проблема параллельных пассажирских перевозок требует принятия эффективных экономических решений в целях прекращения ее отрицательного воздействия на национальное хозяйство страны.

УДК 656.13

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОСТИ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ

Асп. КАПСКИЙ Д. В.

Белорусский национальный технический университет

В результате исследований транспортных потоков накоплен большой объем информации о закономерностях дорожного движения. При многообразии теоретико-методологических подходов и концепций существует проблемная ситуация, вызванная недостатком методов и моделей, направленных на описание особенностей внезапных переходов от одного устойчивого состояния, через фазу неустойчивости, к другому устойчивому состоянию.

Обобщающим признаком таких ситуаций является то, что гладкие изменения значений факторов, воздействующих на систему соответствующего уровня, могут вызвать скачкообразные изменения выходных параметров и, следовательно, переход системы из одного состояния в другое. Исследование подобных проблем составляет предмет теории катастроф. Под «катастрофой» понимается внезапное изменение качественного состояния системы, что отождествляется с понятием дорожно-транспортного происшествия в приложении к дорожному движению.

При движении автомобиля в рамках стратегической задачи «двигаться быстро и безопасно» происходит постоянная смена тактических задач – «ускоренное движение», «торможение», «движение в установившемся режиме», «изменение траектории движения в поперечном сечении

полосы дороги». Следовательно, при построении математической модели необходимо прогнозировать качественный переход от одного состояния к другому и рассчитывать количественные характеристики движения. Исследование таких проблем и составляет предмет теории катастроф.

Динамическая система может иметь один или более устойчивых безопасных режимов различной размерности. Перевод системы из одного состояния в другое – наиболее часто встречающийся вид маневра. Маневр обычно имеет смысл, если конечное для него состояние устойчиво для данной системы. В пространстве параметров, описывающих систему, маневр – траектория перехода от одной точки (начальный вектор состояния) к другой (конечный вектор состояния). Маневр безусловно устойчив, если возмущающее воздействие, в его ходе воспринимаемое системой, не выведет траекторию в пространстве параметров из некоего интервала допустимых отклонений от идеальной траектории во времени. По отношению к маневру вектор целей – функция времени, т. е. прохождение контрольных точек без конфликтов. Множество допустимых векторов ошибки – интервал допустимых отклонений от идеальной траектории по времени прохождения контрольных точек.

Исходя из изложенного выше, основные методологические рекомендации применения теории катастроф при исследовании аварий в дорожном движении состоят в следующем:

1. Установить, сопровождается ли скачкообразное изменение параметра потенциальной опасности процесс функционирования системы в экстремальных ситуациях.

2. Произвести оценку факторов, описывающих данный процесс, непрерывно изменяющиеся факторы отнести к параметрам управления катастроф соответствующего типа, а фактор, претерпевающий разрыв, – к параметру состояния.

3. Осуществить содержательную интерпретацию параметров управления, поставив в соответствие каждому из них реально существующий фактор, отображающий закономерности изучаемого процесса. При этом необходимо следить за тем, чтобы структура взаимосвязей между реальными факторами не нарушалась в плоскости или пространстве параметров управления.

4. Сформулировать математическую модель и исследовать ее свойства.

На этих методологических положениях базируется разработанная система моделей возникновения аварий в дорожном движении.

Интерпретация параметров состояния и управления является достаточно идентичной для всех моделей и произведена с учетом следующих соображений. Каждая дорожно-транспортная ситуация соответствует определенному состоянию системы «Водитель–Автомобиль–Дорога–Среда», и изменение его в зависимости от сложности ситуации может происходить монотонно или скачкообразно. Следовательно, ситуация должна распознаваться по величине параметра состояния X – потенциальной опасности того или иного конфликта, который обладает свойством плавного или скачкообразного изменения. Смена дорожно-транспортной ситуации в процессе движения достигается изменением мгновенной скорости по расстоянию конфликтных траекторий (возможно, к дистанции – при исследовании попутных столкновений) между автомобилями в транспортном потоке определенной интенсивности. Поэтому параметры управления катастро-

фой можно интерпретировать как показатели, характеризующие мгновенную скорость, интенсивность движения и т. д. Причем, для описания движения на перекрестке (как физической системы) принималось общее семейство потенциальных функций $P_0(x, c)$, зависящих от n переменных состояния или параметров порядка $x \in R^n$ и k управляющих параметров $C \in c_i$, $i = 1, k$. Предположим далее, что состояние физической системы описывается значением x , минимизирующим потенциальную функцию, по крайней мере, локально. Тогда изучение такой системы сводится к изучению равновесия и локальной устойчивости потенциальной функции $P_0(x, c)$:

$$\frac{\partial P_0}{\partial x_i} = 0 \text{ – равновесие;} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 P_0}{\partial x_i \partial x_j} > 0 \text{ – локальная устойчивость}$$

и критических значений на ветвях устойчивого равновесия.

При моделировании наиболее важным является стремление системы в любых условиях занять положение с минимальным значением потенциальной энергии для данного сочетания параметров управления и состояния (т. е. минимум потенциальной опасности при нулевой аварийности). В случае возникновения опасной дорожно-транспортной ситуации происходит изменение значения P . Темп этого изменения и величина P , к которой стремится потенциальная энергия (опасность), определяются степенью сложности ситуации. Для опасных ситуаций, закончившихся ДТП, или при выходе из них значение параметра состояния изменяется скачкообразно.

Например, аварийные потери на исследуемом объекте при изучении межфазных конфликтов с учетом деления объекта на конфликтные точки, затем на конфликтные зоны и перекресток, определялись по следующей схеме:



Поскольку межфазные конфликты обычно совершаются под углом, близким к 90° , для оценки аварийности данного вида на перекрестках проводилась свертка потенциальной опасности с использованием степени 0,5, которая наиболее достоверно описывает процесс взаимодействия потоков транспорта.

Строились уравнения регрессии. Определялись статистика, характеризующая тесноту связи между факторами и зависимой переменной, коэффициент множественной корреляции. Значимость факторов оценивалась по критерию Стью-

дента. Доверительный уровень значимости γ принимался равным 0,1. Для проверки гипотезы существенности коэффициента множественной корреляции и согласованности уравнения регрессии с экспериментальными данными использовалась статистика критерия Фишера. Обработка результатов эксперимента проводилась с помощью метода наименьших квадратов посредством прикладных компьютерных математических пакетов.

На рис. 1, 2, 3 показаны примеры полученных регрессионных моделей (экспериментальные данные согласуются с полученными уравнениями регрессии – рассчитанные значения критерия Фишера больше табличного значения ($F > F_{\text{т min}} = 3,84$)) (табл. 1).

Проведенные исследования позволили установить статистически значимые зависимости между приведенной аварийностью и потенциальной опасностью.

Разработана методика, которая позволяет оценивать уровень аварийных потерь как на стадии разработки и принятия проектных решений, так и при оценке существующих вариантов организации дорожного движения (методика реализована в компьютерном варианте).

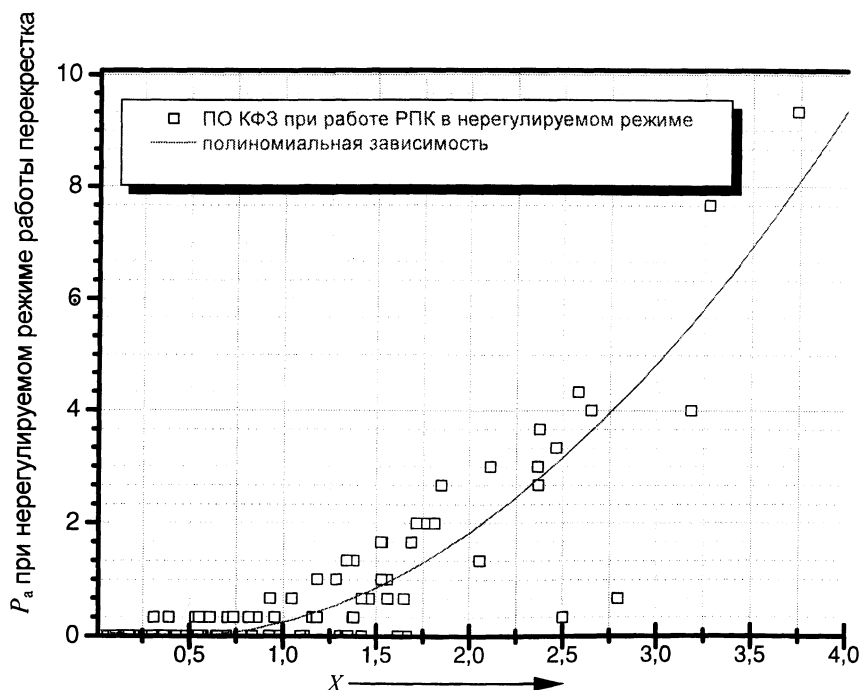


Рис. 1. Зависимость приведенной аварийности от параметра потенциальной опасности конфликтных точек (нерегулируемый режим)

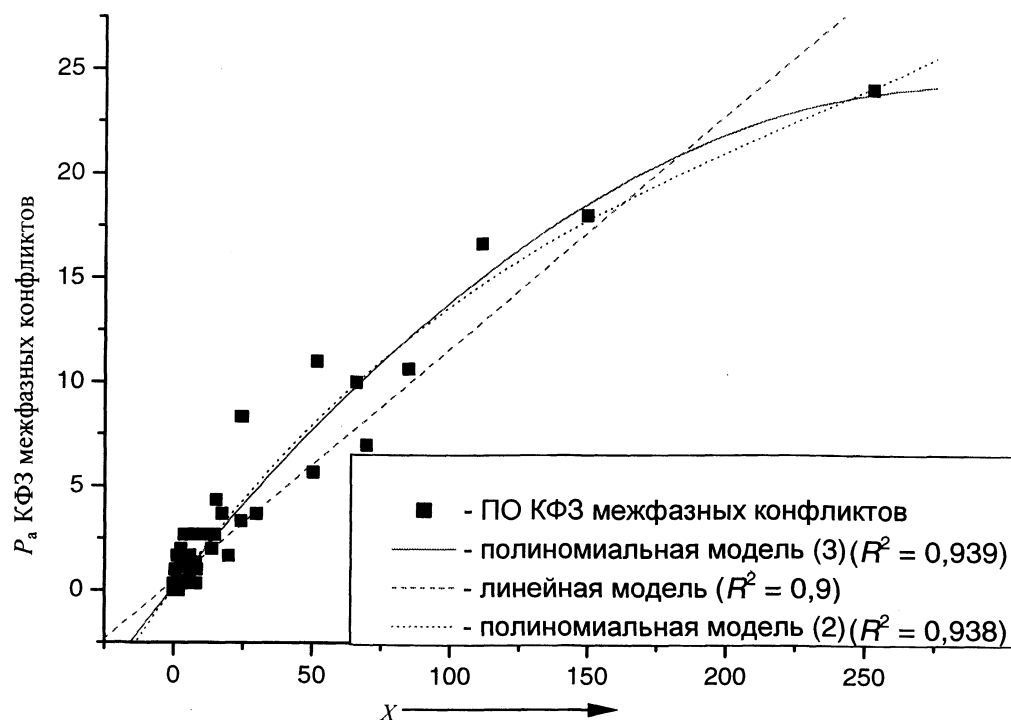


Рис. 2. Зависимость приведенной аварийности от параметра потенциальной опасности конфликтных зон при исследовании межфазных конфликтов

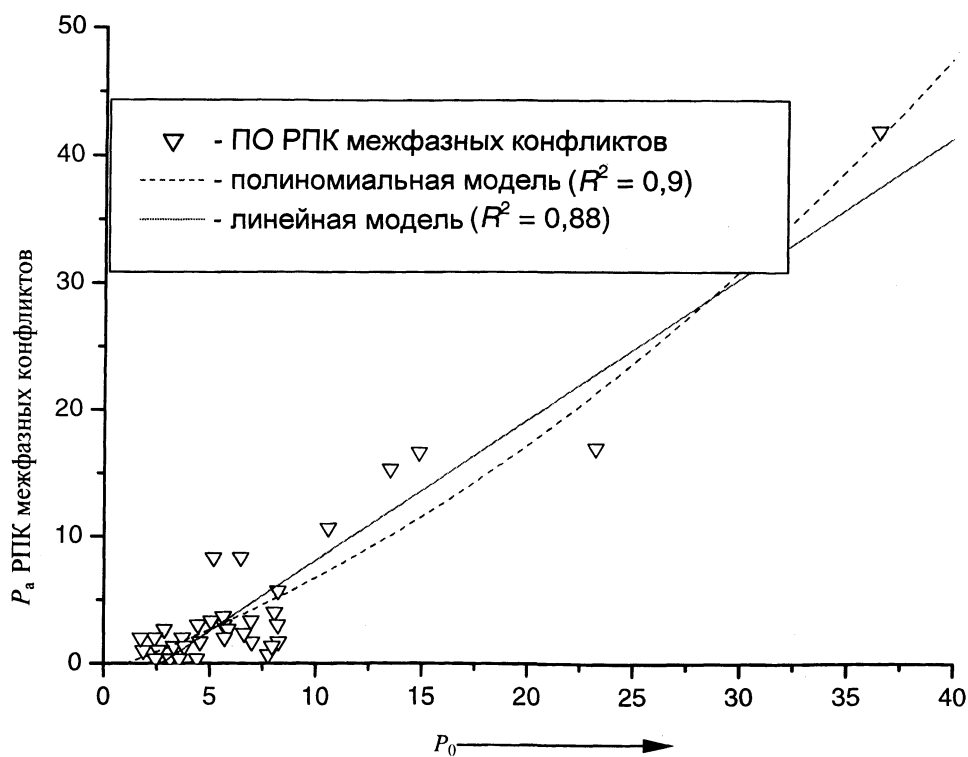


Рис. 3. Зависимость приведенной аварийности от параметра потенциальной опасности регулируемых перекрестков при исследовании межфазных конфликтов

Значения коэффициентов корреляции и линейной ошибки аппроксимации, критерия Фишера для полученных моделей

Коэффициент корреляции	Коэффициент линейной ошибки аппроксимации	Табличный критерий Фишера	Критерий Фишера	Исследуемые области конфликта	Вид конфликта
>0,7	1	3,84	>500	Точки	Межфазный
>0,9	<0,8	<3,94	>700	Зоны	
>0,9	<0,7	<4,166	>200	Перекресток	
>0,7	1	3,84	>150	Точки	Внутрифазный
>0,8	<0,8	<3,94	>400	Зоны	
>0,7	<0,8	<4,116	>100	Перекресток	
>0,2	1	3,84	>300	Точки	Нерегулируемый
>0,9	1	3,84	>700	Зоны	
>0,9	0,7	<4,116	>200	Перекресток	

Наиболее статистически значимые зависимости аварийности от параметра потенциальной опасности получены для конфликтных зон с учетом ранжирования групп факторов, входящих в структурную формулу расчета потенциальной опасности, приведения аварий по тяжести последствий (для межфазных аварий отношение аварий с материальным ущербом к авариям с ранеными составило 1:5; для аварий, реализованных при работе перекрестка в нерегулируемом режиме, – 1:3) и установленных пороговых значений потенциальной опасности для исследуемых конфликтов.

Предлагается определять потенциальную опасность как состоящую из частных коэффициентов, которые ранжированы по следующей формуле:

$$P_0 = P_{\text{он}} K_v K_y K_n K_r K_p^*,$$

$$K_i^* = \frac{K_i}{\left(\frac{K_{(i-1)\Sigma}}{x^* \bar{K}(i-1)\Sigma} \right)^m} \leq K_i,$$

где K_i^* – расчетный коэффициент i -го ранга, который определяется; $\bar{K}(i-1)\Sigma$ – среднее значение суммарного частного коэффициента, высшего на единицу ранга; x – повышающий показатель; m – показатель степени.

Использование методики прогнозирования приведенной аварийности по потенциальной опасности позволит повысить адекватность результатов прогнозирования с малыми трудозатратами и будет способствовать снижению аварийности в дорожном движении, а также тяжести аварийных последствий в области безопасности дорожного движения.