

более сложным. В последнее время были разработаны многочисленные модели так называемой схемы «назначения – имитации» (*assignment – simulation*), самыми известными из которых являются *DYNASMART*, *DynaMIT*, *Dynameq* и *Aimsun*.

Для оценки текущего состояния могут использоваться в том числе и имитационные модели, в результате их применения можно получать информацию о тех элементах дорожной сети, которые не подвергаются мониторингу. Также эти модели можно использовать для прогнозирования дорожной обстановки, распространяя их действие на временные интервалы в будущем.

Для средних или крупных дорожных сетей моделирование движения в достаточно продолжительном интервале времени и соответствующая обработка данных требует нескольких минут, что несовместимо с приложениями, работающими в реальном масштабе времени. Так как имитационная модель опережает фактическое состояние системы, то при поступлении новых данных прогноз можно актуализировать, сохраняя его действительным вплоть до следующего обновления. С помощью этого способа, известного в специализированной литературе под названием *rolling horizon* (катящийся горизонт), можно получить прогноз на достаточно длительный промежуток времени (порядка одного часа или даже больше), актуализируя его путем введения новых данных через относительно короткие интервалы (порядка 5–10 мин).

Трактовка методик не входит в рамки данной работы. В учебных целях мы рассмотрим наиболее известные методы фиксации ДТП, делая основной упор на алгоритме Калифорния, применение которого мы проиллюстрируем на примере.

## **В6.2 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ И АВТОМАТИЧЕСКАЯ ФИКСАЦИЯ ДТП**

### **В6.2.1 Задачи и определения**

Задачей методов автоматического распознавания ДТП<sup>72</sup> является определение, быстрое и без участия дорожных служб, наличия условий создания рецидивных заторов и, в частности, автомобильных аварий, с тем, чтобы предпринять неотложные меры по разрешению создавшейся ситуации.

Рецидивный затор может быть вызван случайным снижением пропускной способности дороги или, что происходит гораздо реже, внезапным временным ростом спроса на автомобильные перевозки. Случайное снижение пропускной способности дороги понимается в широком смысле как некий инцидент<sup>73</sup>, который мог быть вызван столкновением ТС, выходом автомобиля из строя или случайным перекрытием движения по полосе в результате, скажем, обвала.

<sup>72</sup> В научно-технической литературе подобные методы чаще всего носят название автоматических *алгоритмов* распознавания ДТП. Это объясняется тем, что в большинстве методов модель не применяется, а используется одно или несколько простых условий, определенных априорно на основании знаний о явлении, которое затем отражается в модели. В целом, можно разработать методики автоматического распознавания, которые бы использовали модель для проверки различий между результатами расчетов и прогнозируемыми значениями.

<sup>73</sup> В данном случае мы использовали этот термин, опираясь на значение английского слова *incident* – происшествие, инцидент в широком смысле его понимания, в противоположность слову *accident*, которое обозначает аварию.

Ожидаемая польза от использования систем автоматической фиксации ДТП может выражаться в уменьшении количества заторов на дорогах (действительно, основной причиной заторов на дорогах Европы и Соединенных Штатов являются ДТП) и повышении уровня безопасности: от 20 до 50 % ДТП носят характер *вторичных* или *производных*, т. е. случившихся в результате первой аварии; кроме того, более 50 % вторичных аварий происходит в течение первых 10 мин после первой (Busch, 1991).

Быстрое и недвусмысленное распознавание ДТП позволяет повысить эффективность ответных действий в части:

- незамедлительного участия служб спасения и возможности устранения последствий ДТП;
- информирования водителей об опасности (с помощью встроенных в автомобиль аппаратных средств или дорожных информационных табло) с целью сокращения количества вторичных ДТП;
- информирования водителей об обстановке на пути следования и возможном изменении маршрута;
- незамедлительного устранения помех движению с целью сокращения времени нахождения в заторе и недопущения вторичных ДТП.

### **В6.2.2 Проект системы наблюдения и контроля с автоматической фиксацией ДТП**

Блок, отвечающий за автоматическую фиксацию ДТП, является составной частью системы наблюдения и контроля, представляющую собой неподвижную систему мониторинга (состоящую из датчиков регистрации дорожного движения и, возможно, видеонаблюдения), укомплектованную управляющими устройствами и соответствующими служебными мобильными средствами (рис. 147).

Возможности автоматической фиксации ДТП зависят от возможности корректно интерпретировать объект мониторинга, иными словами – от модели дорожного движения, принятой для создания алгоритма распознавания.

Этот алгоритм предполагает использование простого правила, которое позволяет определить факт создания нештатной ситуации и может быть выражена в виде вопроса «Это ДТП или нет?».

Блок автоматической фиксации ДТП должен быть, в свою очередь, связан с другими модулями интеллектуальной транспортной системы, в частности с информационной системой (информационные табло с прокручиваемыми сообщениями, встроенные в автомобиль средства информатизации) и системой регулирования (контроль въезда на автодороги, контроль скорости), благодаря которым предпринимаются действия, направленные на динамическое управление дорожным движением. Интеграция может происходить на уровне сети в целом (посредством скоординированных действий по регулированию дорожного движения) или на локальном уровне (контроль за ситуацией на предыдущем пересечении дорог).

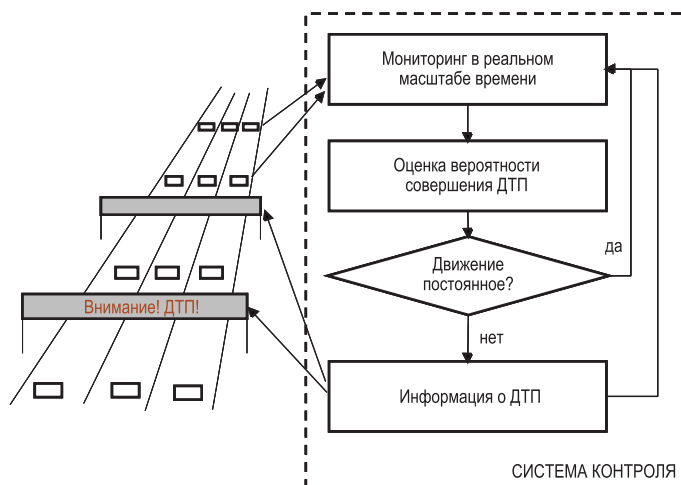


Рис. 147. Схематическое изображение функциональной архитектуры системы контроля за дорожным движением

В целом блок автоматической фиксации должен определить следующее:

- факт ДТП;
- место ДТП;
- количественные показатели (число пострадавших, снижение пропускной способности);
- необходимость удаления помехи (или продолжение движения).

На практике лишь немногие методы автоматической фиксации ДТП могут оценить его количественные параметры. В основном они ограничиваются качественной информацией («Это ДТП» или «Нет, это не ДТП»).

Для того чтобы быть по-настоящему эффективной, система распознавания должна обладать следующими качествами:

- быстроедействие: позволяет незамедлительно предпринять меры, предусмотренные в случае совершения ДТП, с целью уменьшения тяжелых последствий для пострадавших, удаления помех движению и сокращения времени нахождения в заторе;
- точность: обеспечивает достоверность переданной информации;
- работа в автоматическом режиме: позволяет обойтись без системы наблюдения, которая требует от технического персонала выполнения днем и ночью трудоемких и монотонных операций.

Эксплуатационные показатели системы распознавания зависят не только от характеристик модели, интерпретирующей то или иное явление, и качества алгоритмов, применяемых в автоматической фиксации, но и от качества и количества поступающей от системы мониторинга информации, в частности от количества участков дороги, находящихся под наблюдением, от вида и количества анализируемых переменных (к примеру, система мониторинга, способная определять скорость движения, позволяет применять более точные методы автоматического распознавания по сравнению с системами мониторинга, способными определять только занятость полос), от частоты агрегирования данных о движении, от точности и достоверности каждого измерения в отдельности. Реальная польза

от системы автоматической фиксации ДТП, естественно, зависит от системы контроля в целом и, в частности, от скорости принятия решения и последующей реализации мероприятий по регулированию/восстановлению дорожного движения.

### В6.2.3 Логика автоматической фиксации

Логика автоматической фиксации основывается на распознавании скорее результатов ДТП, чем причин, вызвавших его<sup>74</sup> (в этом случае потребовалась бы система непрерывного распознавания, оснащенная телекамерами, которые держали бы под контролем всю инфраструктуру). Наблюдаемые результаты ДТП выражаются в изменении отношений между величинами, характеризующими динамику транспортного потока ( $v$ ,  $q$ ,  $k$ ), которое может быть вызвано снижением пропускной способности инфраструктуры из-за частичной блокировки проезжей части.

В целом в результате ДТП (будь это столкновение автомобилей, поломка автомобиля или помеха, оказавшаяся на дороге) можно наблюдать частичное блокирование проезжей части, что приводит к снижению ее пропускной способности. Следовательно, до места ДТП мы видим уплотнение движения автомобилей, а после него, в связи с тем, что ТС могут снова полностью занять половину проезжей части, происходит снижение плотности (см. рис. 148).

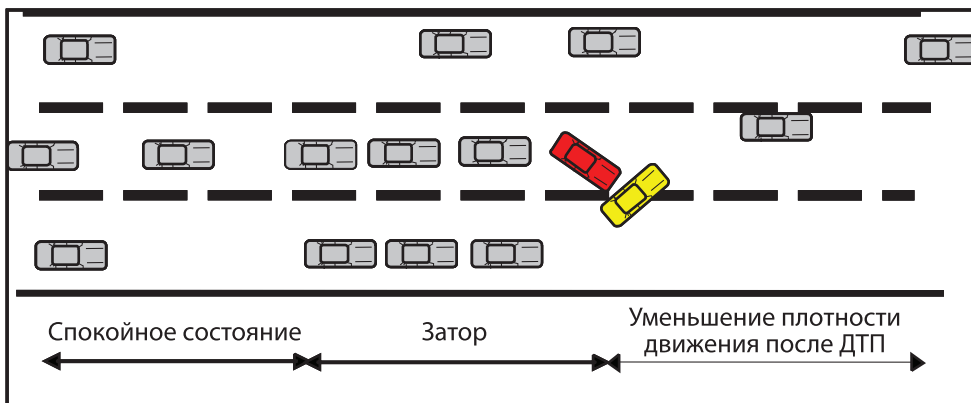


Рис. 148. Упрощенная схема динамики транспортного потока до и после места совершения ДТП

В зависимости от условий движения различаются два вида явлений: в случае, когда количество автомобилей меньше пропускной способности дороги, до места совершения ДТП затор не образуется (разве что небольшой и постоянно движущийся); в противном случае, т. е. когда поток автомобилей близок к пропускной способности, образуется растущий «хвост» (рис. 148). Рис. 149 является иллюстрацией этих условий с точки зрения «поток – плотность». В случае, когда транспортные потоки невелики (левая диаграмма), точка *A* указывает на динамику потока перед местом ДТП (до и после факта совершения) на участке спокойного движения. Точка *B* соответствует динамике движения в заторе на участке перед местом совершения ДТП, точка *D* отражает динамику движения

<sup>74</sup> Находясь в автомобиле, можно сделать предупреждение о совершившемся ДТП путем нажатия на аварийную кнопку или включением датчиков распознавания опрокидывания или срабатывания подушки безопасности.

в месте ДТП, точка  $C$  соответствует динамике потока на участке после места ДТП. Постепенное рассасывание затора после удаления помехи движению схематично показано стрелкой (от точки  $B$  к точке  $A$ ).

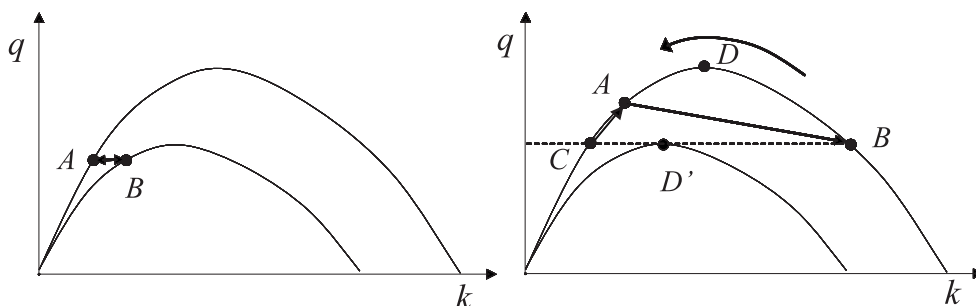


Рис. 149. Состояние движения до и после места ДТП

На рис. 150 схематично представлено ДТП с точки зрения пространства и времени. На нем показаны траектории движения ТС до и после места ДТП, совершившегося во время  $t_i$ , помехи от которого были удалены с проезжей части во время  $t_r$ , а рассасывание затора произошло во время  $t_f$ . Буквой  $A$  отмечено состояние движения на спокойном участке дороги, точкой  $B$  – затор перед местом совершения ДТП, точкой  $C$  – динамика потока после места совершения ДТП, точкой  $D$  – динамика рассасывания затора после удаления помех движению.

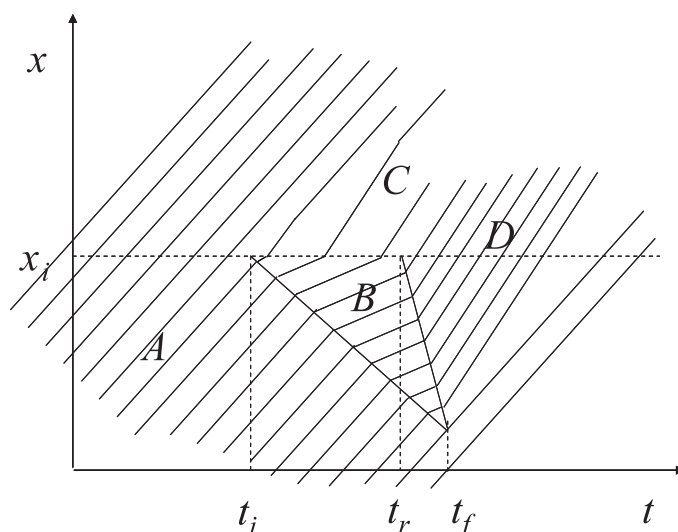


Рис. 150. Упрощенная схема траекторий движения ТС до и после места совершения ДТП

Логика автоматической фиксации ДТП, по крайней мере в простейшей форме, основывается на измерении плотности движения на двух последовательных участках дороги: внезапное снижение плотности на одном участке является признаком вероятного ДТП на участке, который предшествует ему (рис. 151).

Следует отметить, что самым явным признаком ДТП служит наличие затора, т. е. увеличение плотности движения в зоне поста фиксации перед местом совершения ДТП. Рост затора быстро распознается только в условиях плотного потока, т. е. повышения скорости волны уплотнения автомобилей от начального состояния (спокойного движения) до конечного состояния (нахождения в заторе). Уменьшение скорости после места ДТП может быть зафиксировано гораздо быстрее, поскольку волна распространяется скорее, чем растет затор<sup>75</sup>.

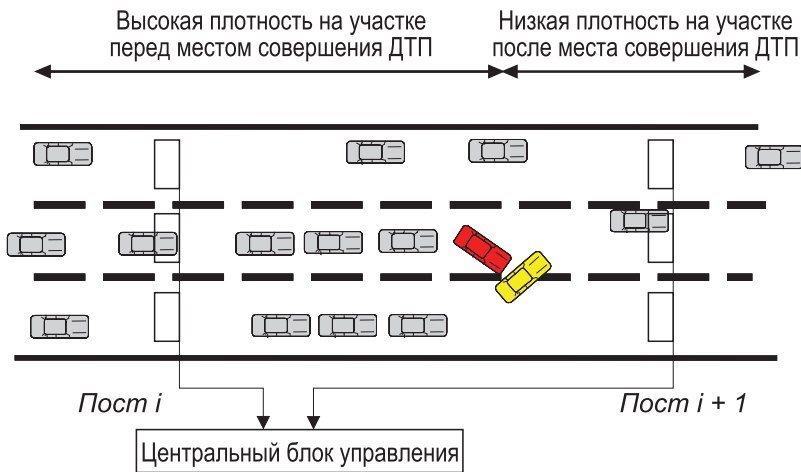


Рис. 151. Логическая и технологическая схема работы системы автоматической фиксации ДТП, основанной на использовании постов фиксации

В литературе описано множество основанных на различных способах расчета (статистических или логических) методик автоматической фиксации ДТП. Самой известной и распространенной методикой является так называемый алгоритм *Калифорния*, где применены все логические посылки, о которых рассказывалось в этом разделе. В прочих методиках применяются статистические процедуры проектирования или интерполяции данных (временные последовательности, фильтр Калмана, нейронные сети), призванные снизить влияние случайных флуктуаций и использующие в процессе реализации методы сравнения расчетных значений с так называемыми нормальными. Сравнимые значения обычно определяются с помощью динамической модели и настраиваются по результатам проверки функциональности процедуры относительно последовательно измеренных значений в условиях совершившегося ДТП. Большая часть методик основана на макроскопических моделях двух переменных (*Lin, Daganzo, 1997*). Более сложная модель трех переменных, в которой к транспортному потоку применяется теория катастроф, используется алгоритмом *Мак-Мастера*

<sup>75</sup> С точки зрения «поток – плотность» скорость скачка уплотнения, представленная переходом от стационарного состояния к следующему, зависит от наклона отрезка, соединяющего точки двух состояний. На рис. 149 отрезок *AB* соответствует распространению затора (если поток *A* плотный, значит, наклон отрезка *AB* увеличен). Наклон отрезка *AC* соответствует волне уплотнения в условиях уменьшенной плотности, которая распространяется после места совершения ДТП со скоростью, значительно большей, чем скорость затора, в связи с чем скорость скачка уплотнения может быть зафиксирована раньше.



(Persaud, Hall, 1990). Правила принятия решения могут основываться на простом булевом выражении, могут носить вероятностный или нечеткий (*fuzzy*) характер.

#### В6.2.4 Алгоритм Калифорния

Алгоритм Калифорния, созданный в 1976 г. Федеральным управлением автомобильных дорог США (FHWA), стал первым в ряду алгоритмов автоматической фиксации ДТП, который применяется практически повсеместно, особенно в США. Логика алгоритма распознавания, описанная выше, предполагает сравнение значений плотности движения, полученных от датчиков, измеренных на двух следующих друг за другом постах фиксации  $o_i(k)$  (перед местом происшествия) и  $o_{i+1}(k)$  (после места происшествия) через каждые 30 с (обычно это интервал обновления данных), и определение факта совершения ДТП на расстоянии следующих двух участках при соблюдении трех условий, а именно:

1. Плотность движения перед местом ДТП  $o_i(k)$  выше, чем после:

$$o_i(k) - o_{i+1}(k) > \theta_1.$$

2. Если да, убедиться в том, что разница в плотности, выраженная в процентах, составляет значимую величину:

$$\frac{o_i(k) - o_{i+1}(k)}{o_i(k)} > \theta_2.$$

3. Если да, убедиться в том, что плотность движения после места ДТП падает с течением времени:

$$\frac{o_{i+1}(k-2) - o_{i+1}(k)}{o_{i+1}(k-2)} > \theta_3,$$

при том, что  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  являются параметрами настройки, которые представляют собой пороговые значения для включения аварийной сигнализации.

В классическом варианте применения алгоритма Калифорния перед передачей аварийного сигнала происходит проверка соблюдения условия 2 в период измерений  $i + 1$ . В противном случае при несоблюдении условия 2 ДТП считается свершившимся фактом.

В дальнейшем после первого опыта применения алгоритм Калифорния был несколько усовершенствован и стал более надежным. В частности, Пейн (Payne) в 1976 г. ввел в него условие порогового значения максимальной плотности после места ДТП и так называемый тест на постоянство, предполагающий проверку сохранения условия изменения загруженности (в процентах) в течение двух последующих интервалов времени. В конечном счете алгоритм Пейна позволяет определить факт ДТП при соблюдении следующих условий.

1. Определение возможности подачи аварийного сигнала при одновременном выполнении следующих условий:

$$o_i(k) - o_{i+1}(k) > \theta_1, \frac{o_i(k+1) - o_{i+1}(k+1)}{o_i(k+1)} > \theta_2, o_{i+1}(k) < \theta_3.$$