

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩІЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ

КАФЕДРА ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС

з дисципліни

"АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ"

Викладач:
к.т.н., доцент
Лапутин Роман Олександрович

ГОРЛІВКА 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Литература.....	4
ЛЕКЦИЯ №1 Тема: " Роль автоматизации в управлении дорожным движением. Этапы создания АСУД.".....	5
ЛЕКЦИЯ №2 Тема: "Система дорожные условия – транспортные потоки. Объект управления в АСУД."	10
2.1 Система дорожные условия – транспортные потоки.....	10
2.2 Объект управления АСУД.....	13
2.2.1. Свойства транспортного потока.....	13
2.2.2. Состояния транспортного потока.....	15
ЛЕКЦИЯ №3 Тема: "Обобщенная схема АСУД и уровни управления.".....	17
3.1 Обобщенная схема АСУД.....	17
3.2. Уровни управления АСУД.....	18
3.3 Типы контуров автоматического управления.....	20
ЛЕКЦИЯ №4 Тема: " Общие принципы управления. Функциональные структуры АСУД.".....	22
4.1 Структура и методы управляющих воздействий.....	22
4.2 Классификация АСУД.....	23
4.3 Основные составляющие АСУД.....	24
4.4 Функциональные структуры АСУД.....	25
4.5 Предварительный выбор типа АСУД.....	32
ЛЕКЦИЯ №5 Тема: "Технические средства АСУД.".....	33
5.1 Классификация технических средств.....	33
5.2 Назначение и классификация дорожных контролеров.....	33
5.3 Назначение и классификация детекторов транспорта.....	36
5.3.1. Принципы установки детекторов транспорта.....	39
5.3.2 Правила размещения чувствительных элементов.....	41
5.3.3. Режимы работы детектора транспорта.....	41
ЛЕКЦИЯ №6 Тема: "Алгоритмы работы АСУД.".....	43
6.1 Классификация алгоритмов.....	43
6.2. Основные технологические алгоритмы.....	43
6.2.1 Алгоритм жесткого однопрограммного управления.....	44
6.2.2 Алгоритм поиска разрывов в транспортных потоках.....	45
6.2.3 Алгоритм управления по вызову.....	46
6.2.4 Прочие локальные алгоритмы.....	46
6.2.4.1 Алгоритмы группы интенсивность — плотность транспортного» потока.....	46
6.2.4.2 Алгоритм выравнивания степени насыщения фаз регулирования.....	47
6.2.4.3 Алгоритм разъезда очереди.....	48
6.3 Системные алгоритмы.....	48
6.3.1 Алгоритм жесткого координированного управления.....	48
6.3.2 Алгоритмы гибкого координированного управления.....	49

6.4 Специальные общесистемные технологические алгоритмы.....	51
6.5 Служебные алгоритмы.....	52
ЛЕКЦИЯ №7 Тема: "Типовые элементы управления движением на автомобильных дорогах."	54
7.1 Проектирование подсистемы информационного обеспечения и подсистемы информационного отображения на автомобильных дорогах.....	55
7.2 Расстановка аппаратуры сбора и отображения информации на основных элементах и в местах их стыковки.....	57
7.3. Расстановка аппаратуры сбора и отображения информации на второстепенных типовых элементах.....	58
7.4 Определение энтропии информации.....	59
ЛЕКЦИЯ №8 Тема: "Методика управления движением в критических ситуациях."	63
ЛЕКЦИЯ №9 Тема: " Внедрение и экономическая эффективность АСУД."	68
9.1. Основные этапы создания АСУД.....	68
9.2. Проектирование систем.....	68
9.3. Монтаж.....	70
9.4. Эксплуатация систем.....	71
9.5. Примеры АСУД в некоторых городах.....	72
9.6 Факторы, определяющие эффективность АСУД.....	75
9.7 Окупаемость капиталовложений.....	76

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания 16/54.
2. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления движением на автомобильных дорогах / В.П. Полищук. – К.: УМК ВО, 1990. – 55 с.
3. Системологія на транспорті. Кн. IV: Організація дорожнього руху / [Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін.]. – К.: Знання України, 2007. – 452 с.
4. Печерский М.П. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / М.П. Печерский, Б.Г. Хорович. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
5. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
6. Хиладжев Е.Б. Системы и средства автоматизированного управления дорожным движением в городах / Е.Б. Хиладжев, В.С. Соколовский. – М.: Транспорт, 1984. – 183 с.
7. Михайленко В.И. Теоретические основы контроля и управления движением на автомобильных дорогах / В.И. Михайленко. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 184 с.
8. Васильев А.П. Управление движением на автомобильных дорогах / А.П. Васильев, М.И. Фримштейн. – М.: Транспорт, 1979. – 296 с.
9. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов. – М.: Транспорт, 1985. – 92 с.
10. Иносе Х. Управление дорожным движением / Х. Иносе, Т. Тамада; пер. с англ.; под ред. М. Л. Блинкина. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
11. Пржибыл П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек; пер. с чеш.; под. ред. В.В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 540 с.

ЛЕКЦИЯ №1

Тема: " Роль автоматизации в управлении дорожным движением. Этапы создания АСУД."

Система (от др.-греч. σύστημα — целое, составленное из частей; соединение) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство и организованы для достижения одной или нескольких поставленных целей.

Под управлением принято понимать изменение состояния объекта, системы или процесса, что приводит к достижению поставленной цели.

Автоматизированная система управления или АСУ — комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия. АСУ применяются в различных отраслях промышленности, энергетике, транспорте и т. п. Термин "*автоматизированная*", в отличие от термина "*автоматическая*" подчёркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации.

Создателем первых АСУ является доктор экономических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Белоруссии, основоположник научной школы стратегического планирования Николай Иванович Ведута (1913—1998). В 1962—1967 гг. в должности директора Центрального научно-исследовательского института технического управления (ЦНИИТУ), являясь также членом коллегии Министерства приборостроения СССР, он руководил внедрением первых в стране автоматизированных систем управления производством на машиностроительных предприятиях.

Дорожное движение можно рассматривать как технологический процесс движения транспорта на заданной улично-дорожной сети в определенных условиях, поэтому исследования в области проектирования АСУ распространились и на транспорт. Первая экспериментальная АСУД была введена в районе Москвы в 1967 г., а полноценная АСУД была введена в эксплуатацию в Алма-Ате в 1975 г.

АСУД - это человеко-машинная система, что обеспечивает автоматизированный сбор и обработку информации о транспортных и пешеходных потоках, оптимизированное управление дорожным движением в условиях ограничений, что накладываются параметрами УДС.

Интенсивный рост городских автомобильных перевозок, интенсивности движения обусловил быстрое развитие методов и средств автоматизированного управления дорожным движением. В нашей стране данная тенденция особенно проявила себя в последние два десятилетия. Это связано прежде всего с тем, что, во-первых, ручные методы регулирования движения исчерпали себя, во-вторых, разработка и производство средств автоматизированного управления дорожным движением (АСУД) были поставлены на промышленную основу.

Как правило, внедрение АСУД обеспечивает быструю экономическую отдачу и положительно влияет на безопасность движения. Ежегодный

экономический эффект от внедрения этих средств возрос за последние 10 лет с 2 до 20 млн. грн. в год за счет сокращения задержек транспорта, уменьшения количества расходуемого на передвижение топлива.

Количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на перекрестках, оснащенных современными средствами управления, на 10—20% ниже, чем на нерегулируемых.

Большие концентрации транспортных средств приводят к снижению скорости движения, дефициту площадей для стоянок автотранспорта, повышению загрязнения атмосферного воздуха, увеличению количества ДТП. Это осложняет задачу ОДД и вообще проблему обеспечения функционирования больших городов.

Для устранения негативных последствий автомобилизации имеется два пути:

1. Создание крупномасштабной сети национальных дорог.
2. Использование существующей сети автомобильных дорог с совершенствованием ОДД и использованием АСУД.

Постоянное усложнение дорожно-транспортных условий требует непрерывного совершенствования методов и средств управления движением. Если проанализировать динамику развития АСУД, то можно выделить три **основных этапа развития**.

На первом этапе разрабатывались локальные средства регулирования движения, заменяющие постовых милиционеров для изолированных перекрестков. Были созданы установки для жесткого регулирования движения, гибкого управления в зависимости от параметров транспортных потоков, устройства вызывного действия, обеспечивающие безопасный переход пешеходов через улицу. Все эти приспособления существенно повысили надежность регулирования движения, позволили уменьшить количество инспекторов ГАИ - регулировщиков движения транспорта. В определенной мере они обеспечили и повышение эффективности функционирования транспортных потоков. Например, применение установок гибкого регулирования снижает задержки транспорта по сравнению с жестким на 10—20%.

На втором этапе были созданы методы и средства жесткого координированного управления транспортными потоками на отдельных магистралях или на небольших участках дорожных сетей. Были разработаны телемеханические системы координированного управления. Данные системы, обеспечивая работу светофорной сигнализации в режиме «зеленая волна», позволили основной массе транспорта проходить несколько перекрестков подряд без остановок. При внедрении подобных систем резко возрастает средняя скорость движения транспорта, уменьшается количество задержек перед перекрестками. Движение транспорта становится более упорядоченным, выравниваются в определенной степени скорости автомобилей, что способствует повышению безопасности движения.

Третий этап характерен созданием крупных АСУД, осуществляющих адаптивное управление транспортными потоками на больших городских

территориях. Данные системы, обладая развитым информационно-измерительным и управляющим вычислительным комплексом, осуществляют непрерывный контроль параметров транспорта и автоматическую оптимизацию управления транспортными потоками на всей территории. Важным преимуществом АСУД является высокая адаптируемость к условиям дорожного движения на основе накопления и автоматической обработки данных по транспортным потокам. Существенной является и возможность автоматического безостановочного пропуска по дорожной сети специальных автомобилей. Отмеченные преимущества, а также автоматический контроль работы светофорных объектов обеспечили широкое распространение данных систем в крупных городах.

Важным техническим достижением является создание и освоение серийного выпуска агрегатной системы средств управления дорожным движением (АСС УД). На базе АСС УД проектным путем komponуются АСУД различной сложности и назначения.

Широкое внедрение средств и систем автоматизированного управления дорожным движением осуществляется и в зарубежных странах. Ведущие фирмы по этому направлению — «Мацусита» (Япония), «Сименс» (ФРГ), «Плесси» (Англия), «ТРТ» (Франция), «Фискарс» (Финляндия) — обеспечивают разработку и внедрение АСУД. Следует подчеркнуть, что при общности основных, концепций построения и развития данных средств и систем отечественные разработки различаются тактико-техническими данными, конструктивным исполнением и схемной реализацией.

В современных автоматизированных системах управления дорожным движением, распространенных в большинстве европейских стран, широко используется информация от видеокамер, входящих в состав подсистем видеоконтроля. Полученная от них информация позволяет организовать оптимальное управление транспортными потоками, скоординировать работу ключевых транспортных узлов города и т. п. Преимуществом систем видеоконтроля является сочетание числовой и визуальной информации, которая радикально отличает их от других систем наблюдения. Например, возможна организация моментальной обратной связи с оператором системы, диспетчером центра управления при возникновении какой-либо внештатной ситуации или же для обычной проверки системы.

Принцип работы системы видеоконтроля широко известен. Над определенным участком трассы, транспортным узлом, магистралью, опасным участком дороги на некоторой высоте устанавливается видеокамера. Сигнал от нее поступает в модуль обработки видеоинформации. В этом модуле происходит выделение подвижных транспортных средств и определение различных интегральных оценок. Далее в центре управления могут быть получены как числовые данные, для чего достаточно канала с низкой пропускной способностью, так и непосредственно видеоизображение с контролируемого участка.

Системы видеоконтроля, ориентированные на транспорт, предоставляют данные трех типов:

1. Информация о трафике для статистической обработки: общее число обнаруженных автомобилей; скорость; ускорение транспортного потока; плотность потока; занятость полос движения; классификация автомобилей.

2. Информация о происшествиях на дороге: высокая скорость, плотность потока или занятость полос; наличие заторов или движения по встречной полосе; остановившиеся или медленно движущиеся автомобили; наличие на дороге подозрительных предметов.

3. Информация о наличии/отсутствии автомобилей: наличие приближающихся автомобилей; наличие автомобилей, остановившихся на перекрестке; число автомобилей, проехавших через зоны обнаружения; измерение длины очереди.

Датчик пробки на дороге в Германии

Последний тип информации, как свидетельствует опыт зарубежных стран, широко применяется в системах управления светофорами. Система видеоконтроля интегрирована в модуль управления светофорами, что позволяет скоординировать работу всех светофоров перекрестка в каком-либо напряженном транспортном узле. Например, на наших дорогах пешеходу предоставляется одно и то же время на переход дороги независимо от того, едет ли по ней в данный момент один автомобиль или несколько десятков.

Информационное обеспечение дорожного движения

Во многих странах мира четко налажена информация участников движения о транспортной ситуации на направлениях движения, о возможных маршрутах объезда перегруженных участков, о парковках. На пересечениях дорог указываются не только разрешенные направления движения, но и названия районов и улиц. Для передачи водителям информации используются многопозиционные дорожные знаки, световые табло со сменной информацией, специальные радио и видеоканалы. Например, после включения световых табло с предупреждением о заторах, они устранялись за 20 - 30 минут; без табло на это уходило 3 - 4 часа.

Техническая организация движения

В настоящее время уже созданы технологии, соединяющие компьютерные чипы в транспортных средствах и на автомобильных дорогах. Разработаны специальные радары и приборы радиопредупреждения, с помощью которых можно избежать столкновения на дороге. Внедряются блокирующие устройства, не позволяющие запустить двигатель автомобиля лицам, находящимся в состоянии опьянения. Спутниковые технологии, разнообразные навигационные системы и системы определения местонахождения транспортного средства, доступные пока лишь немногим, скоро, по прогнозам экспертов, станут обычным явлением, помогая водителю найти дорогу в незнакомом городе или вызвать помощь простым нажатием кнопки. Все более широкое распространение получают системы, автоматически включающие устройства для передачи сигналов в полицию при срабатывании надувных подушек безопасности, угоне транспортного средства и т.д.

В европейских государствах толчком к технической модернизации систем управления и контроля за движением автотранспорта стал опыт Франции.

Следует отметить, что техническое перевооружение систем слежения за порядком на дорогах в этой стране было лишь одним из предпринятых мер по обеспечению безопасности движения.

Вначале, в 2003 г. был принят новый закон “Об изменениях правил дорожного движения”, который предусматривал значительное ужесточение санкций за нарушения на дорогах.

И лишь затем была проведена техническая модернизация дорог: управление светофорами в городах стало производиться из единого центра; на основных трассах были установлены новые камеры, связанные с радаром, которые автоматически засекали превышение скорости, фиксировали на пленку номер автомобиля, лицо его хозяина. Эти данные передавались на центральный компьютер, который без участия человека выписывал штраф владельцу машины.

Благодаря этим нововведениям количество ДТП на французских дорогах снизилось за два года на треть.

Тем не менее, в отдельных государствах существуют свои специфические особенности технической организации движения.

Великобритания

Одна из британских компаний разработала “транспортные видеокamеры”, которые должны повысить безопасность на дорогах, прежде всего, за счет регулирования скорости движения. Новые устройства – это вмонтированные в дорожное полотно светящиеся маячки, которые при помощи видеокamеры определяют скорость проезжающих автомобилей, износ их покрышек и идентифицирует номерные знаки. Связанная с компьютером камера диаметром 13 см возвышается над асфальтом меньше, чем на 4 мм.

Когда скорость приближающегося транспортного средства измерена, устройство начинает работать подобно светофору – светодиоды подают автомобилистам световые сигналы от красного до зеленого. Использовать маячки планируется на железнодорожных переездах и пешеходных переходах.

Данные, полученные благодаря маячкам, не будут использоваться для взыскания штрафа – это система предупреждения участников движения, а не наказания.

В Великобритании же разработана новая система, способная при помощи спутников следить за соблюдением правил парковки. Если один из датчиков системы зафиксирует автомобиль, припаркованный в неположенном месте, он автоматически сообщит об этом полиции с помощью текстового сообщения.

Датчики будут работать с помощью спутниковых систем GPS или новой европейской системы Galileo, которая разрабатывается в настоящее время. Сигнал от спутников постоянно принимается сенсором, расположенным непосредственно на дороге. Если рядом паркуется машина - сигнал ослабевает, после чего датчик автоматически информирует дорожную полицию.

Цена каждого сенсора, обслуживающего только пять футов дороги (менее 2 м), составит 30 фунтов стерлингов (примерно 50 долл.). Британские власти считают, что это не так много, учитывая ожидаемые суммы штрафов за неправильную парковку.

Кроме того, в Великобритании используется лазерное устройство для сканирования места дорожно-транспортного происшествия, что позволяет за 5 мин. произвести все необходимые процедуры оформления документов, связанных с аварией и установлением виновности водителей. Раньше на эти процедуры тратилось не менее 1 часа. Это значительно повлияло на организацию движения на дорогах страны: стало меньше заторов, увеличилась их пропускная способность.

Япония

С начала 2006 г. в этой стране на автомобилях появятся “умные” номера, оснащенные встроенным микрочипом, запоминающим и передающим информацию о номере автомобиля, его размере, месте регистрации и владельце. Цель эксперимента, проводимого министерством строительства и транспорта страны, – ограничить с помощью современных технологий скопление автомобилей в часы пик на центральных магистралях японских городов.

Желающим проехать в центральную часть города в “запрещенные” часы в перспективе придется платить

специальные сборы, размер которых и будет рассчитываться с помощью встроенного в автомобильный номер микрочипа. Для введения новой системы необходимо согласие местного органа самоуправления. Желание внедрить “умные” номера уже высказали шесть крупных муниципальных образований Японии. Если эксперимент будет удачным, новая система будет рекомендована к распространению во всех населенных пунктах, где зарегистрировано более 100 тысяч автомобилей.

Помимо оптимизации транспортных потоков от новой системы ждут позитивного влияния на состояние окружающей среды. Впервые платить за право въезда в центр города в часы пик стали автомобилисты Сингапура. С помощью “умных” номеров власти Японии планируют первыми автоматизировать такие сборы.

Когда же «поумнеют» светофоры?

Представьте простейшую дорожную ситуацию: вы подъезжаете к перекрестку и останавливаетесь на «красный», а поперечная улица пуста. И вы теряете время до тех пор, пока светофор не соизволит переключиться. Разумеется, к бездушному набору разноцветных лампочек не может быть никаких претензий: как его запрограммировали, так он и светит. И все же нельзя ли сделать так, чтобы он работал хоть чуть-чуть поумнее?

Оказывается, можно! Во всяком случае, у ученых из Дрезденского технического университета это получилось и в теории, и на практике – в швейцарском Цюрихе. Причем, созданная ими система способна к самообучению и экономит не только время и нервы водителей, но и бензин. Не говоря уже об окружающей среде, нагрузка на которую становится заметно меньше.

Правда, дело в том, что такой «трехглазый умник» на отдельно взятом перекрестке будет не только не полезен, но и вреден: на соседних перекрестках быстро возникают прочные «пробки». Для нормальной работы необходимо увязать все в единую систему. Применяв методы компьютерного моделирования, экспертам удалось добиться желаемого результата: несколько светофоров большую часть дня работают в «вечнозеленом режиме».

Однако, такой транспортный рай на отдельно взятой территории пока имеет мало шансов распространиться повсеместно. Дело в том, что подавляющее число европейских улиц оснащено светофорами образца 60-70-х годов прошлого века. И комбинировать этот антиквариат с современными вычислительными машинами попросту бессмысленно. Ну а во что обойдется тотальная замена, легко себе представить. Да и растянется она на долгие-долгие годы...

УЛИЦЫ БЕЗ СВЕТОФОРОВ

Представьте себе на минуту лишённые светофоров, дорожных знаков и постовых-регулирующих улицы в наводненном людьми даунтауне. Все участники дорожного движения предоставлены сами себе: водители автомобилей, велосипедисты, пешеходы... Вы представляете себе аварии, панику и всеобщий хаос? Однако все выглядит абсолютно наоборот. Несколько европейских муниципалитетов рискнули провести эксперимент под названием «Голые улицы», который неожиданно закончился оглушительным успехом. Специалисты по планированию и проектированию городских транспортных потоков в Германии, Дании и Голландии провели эксперимент с введением неуправляемых улиц и перекрестков, и нашли их более эффективными по сравнению с традиционными моделями. Как показала практика, водители тратят меньше времени на поездки, а в часы пик на дорогах реже создаются пробки. Идея проекта следующая: вместо регулирующих светофоров и дорожных знаков, участники движения используют невербальный контакт друг с другом. Другими словами, не ограниченные ничем водители и пешеходы становятся более осторожными и внимательными, обостряются их чувства, просыпается внутренняя дисциплина. Проектировщики сравнивают это с ситуацией, когда водитель подъезжает к перекрестку со сломанным светофором, или движется по улице, которую пересекают футбольные фанаты: в эти моменты приходится предельно концентрироваться на управлении автомобилем, и именно в таких стрессовых ситуациях водители показывают свой настоящий класс.

У многих может возникнуть вопрос, а как же быть пешеходам, особенно детям? Один из разработчиков проекта, английский дорожный инженер Ben Hamilton-Baillie уверяет, что этот вопрос также удалось решить. Места возможного появления детей на проезжей части отмечены ярким цветом, который сигнализирует водителям о том, что необходимо быть особенно осторожным. И действительно, в «подопытных» городах водители заблаговременно снижают скорость перед въездом в школьную зону, как показал социальный опрос: «никто не хочет сбить ребенка». Во многих развивающихся странах нерегулируемое дорожное движение – неотъемлемая часть городской жизни. В перегруженных транспортных потоках Бали или Индонезии водители автомобилей, автобусов, мотоциклов, скутеров и прочие участники движения игнорируют знаки и светофоры, и, тем не менее, вполне безопасно передвигаются, полагаясь на негласные правила и свое чутье. Конечно, эта система работает чаще всего в местах с медленным трафиком и обилием пешеходов. Впрочем, чтобы представить себе это более явственно, не нужно заглядывать в другие страны. В качестве примера можно привести такие уголки Торонто, как Little Italy, Queen St. West и Kensington Market. Здесь водителям действительно приходится быть более внимательными и вежливыми. Безусловно, в ближайшее время в Торонто не будут проводиться никакие эксперименты из ряда «Голых улиц». Как сказал Les Kelman, главный управляющий транспорта города: «мы обходимся проверенной системой регулирования». Хотя, Kelman несколько лукавит. Новые веяния в дорожном движении Торонто все же есть, например, в системе пешеходных переходов. Здесь так же используется невербальный контакт водителя и пешехода, когда автомобилист в первую очередь обращает внимание на стоящего у перехода человека, а не на мигающие огни. По словам Kelman, в департаменте транспорта всегда интересуются опытом других стран, но прежде чем что-то применить на практике, они должны получить результаты длительного анализа. Так что, в настоящее время водителям Торонто лучше посматривать за светофорами и знаками, а не отвлекаться на глаза других участников движения. Целее будете.

ЛЕКЦИЯ №2

Тема: "Система дорожные условия – транспортные потоки. Объект управления в АСУД."

2.1 Система дорожные условия – транспортные потоки.

Основные объекты исследования в современной науке представляют собой те или иные системы. Даже в тех случаях, когда исследуются свойства независимых (отдельных, индивидуальных) материальных объектов, обнаруживается, что такие объекты являются элементами определенных систем и что познание их через призму этих систем дает наиболее полные сведения об их свойствах и закономерностях. Например, всестороннее изучение движения транспортных потоков вскрывает своеобразную взаимную обусловленность, где само существование отдельных автомобилей зависит от наличия других и взаимодействия между ними.

Автомобильный транспорт представляет собой сложную систему, состоящую из множества автомобилей, путей сообщения, ремонтных предприятий и целого ряда структурных подразделений различных министерств и ведомств, оптимальных служб, выполняющих определенные функции в происходящих на автомобильном транспорте процессах. Продукцией автомобильного транспорта, как и других его видов, являются перевозки, а основным производственным процессом - движение транспортных потоков, которое может быть реализовано только при наличии путей сообщения, от количества и размещения которых во многом зависят производительность труда на транспорте и другие показатели его работы, в частности показатели основного производственного процесса - движения. Таким образом, из общей системы автомобильного транспорта может и должна быть выделена частная система "дорожные условия - транспортные потоки" (рис. 1.1), в которой осуществляется основной производственный (перевозочный) процесс - движение транспортных потоков.

Какова бы ни была причина использования отдельных автомобилей, важно то, что на дороге все они включаются в общий поток движения. И как только автомобиль стал частицей общего потока, водитель его, как правило, руководствуется мотивами экономии времени и расстояния.

Таким образом, независимо от ведомственной принадлежности, автомобили, выезжая на дорогу, образуют единый транспортный поток, внутри которого действуют общие для всех автомобилей закономерности.

То обстоятельство, что процесс движения транспортных потоков осуществляется по собственным законам независимо от ведомственной принадлежности отдельных автомобилей или дорог и не зависит от целей и задач отдельных транспортных хозяйств и ведомств, но зависит от дорожных условий, оправдывает выделение и исследование системы дорожные условия - транспортные потоки как самостоятельной.

Процесс движения транспортного потока на дороге поддается управлению, в связи с этим значительный интерес представляет отыскание варианта оптимального управления.

При оптимизации управления системой дорожные условия - транспортные потоки можно стремиться к достижению различных целей (критериев оптимальности) и в зависимости от них рассматривать различные задачи оптимального управления, цель которого заключается в минимизации дорожно-транспортных затрат при соблюдении заданного уровня скорости, удобства и безопасности движения.

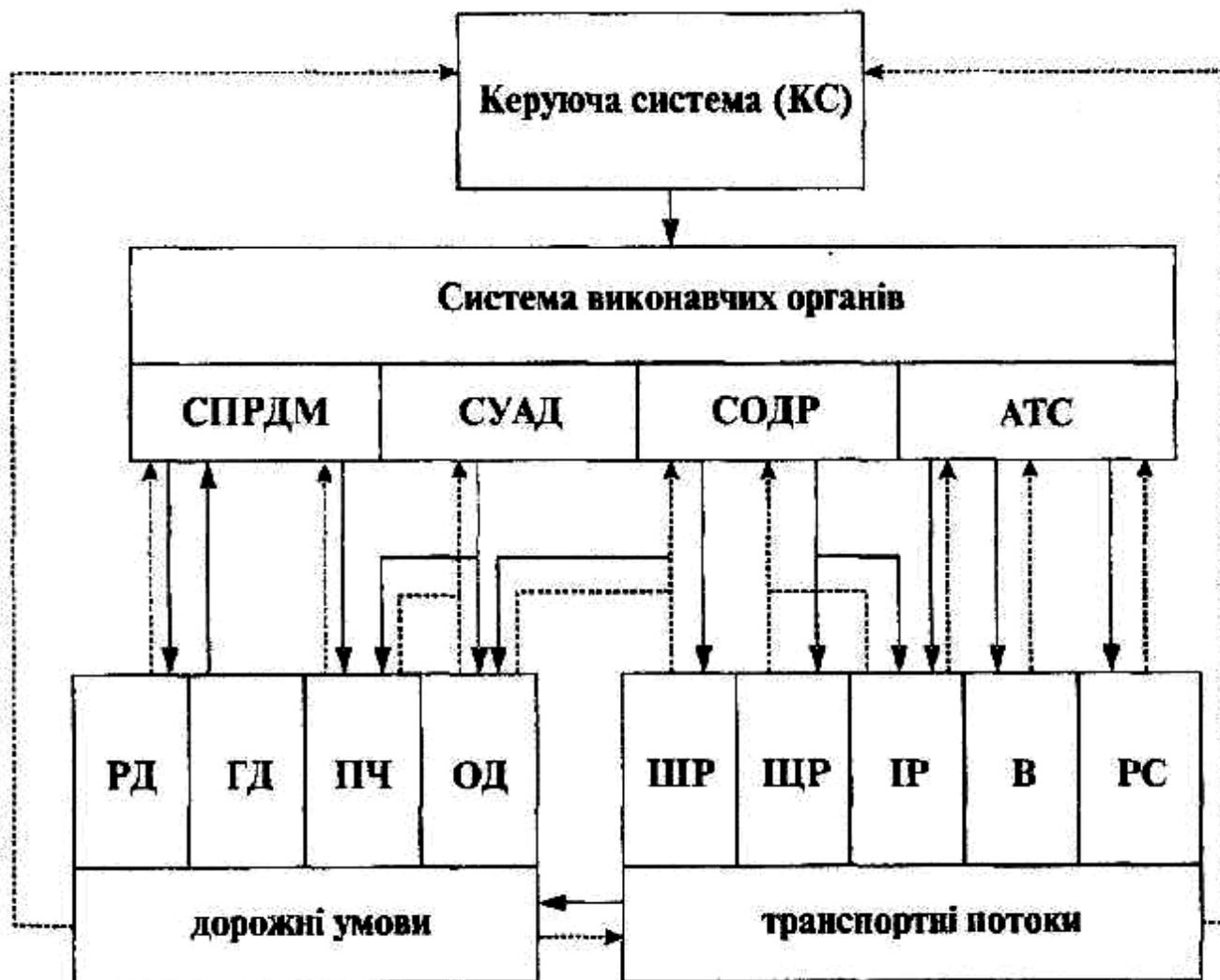


Рис. 1 - Система «Дорожні умови — транспортні потоки»:

—> - прямой зв'язок; ----> - зворотній зв'язок; СПРДМ — служба планування розвитку дорожніх мереж; СУАД — служба утримання автомобільних доріг; СОДР — служба організації дорожнього руху; АТС — автотранспортна служба; РД — розміщення доріг; ГД — геометрія доріг; ПЧ — проїзна частина; ОД — обстановка дороги; ШР — швидкість руху; ЩР — щільність руху; ІР — інтенсивність руху; В — водії; РС — рухомий склад.

Основной метод оптимизации указанной системы заключается в оценке и прогнозе ее состояния. *Научной основой оптимального управления движением транспортных потоков на автомобильной дороге является исследование основных законов движения потоков транспорта в различных, но типичных дорожных условиях на базе статистических наблюдений за интенсивностью, скоростью и плотностью потоков и математического моделирования*

транспортных потоков.

Характерная особенность системы дорожные условия - транспортные потоки - ярко выраженная обратная связь между транспортными потоками и дорожными условиями. Последние, непосредственно воздействуя на характеристики транспортных потоков (среднюю скорость и степень безопасности движения), влияют на себестоимость перевозок и производительность автомобильного транспорта.

Увеличение интенсивности и плотности движения приводит в определенных дорожных условиях к тому, что движение становится стесненным и небезопасным. Водители уже не в состоянии изменить характер движения в целом, а дорожные условия сами по себе не могут совершенствоваться, чтобы удовлетворить требования автомобильного транспорта.

Отдельные элементы системы дорожные условия - транспортные потоки (дороги и отдельные участки дорог, дорожные сооружения, транспортные потоки, движущиеся по ним), взаимодействуя, имеют весьма глубокие внутренние связи, не позволяющие расчленить систему на независимые составляющие и при определении ее характеристик изменять влияющие факторы по одному. Такая сложная система, рассматриваемая в целом, обладает новыми качествами, не свойственными отдельным ее элементам, В отличие от обычных систем автоматического регулирования полное аналитическое исследование динамики такой системы управления практически невозможно.

При оптимізації управління системою ДУ — ТП можна прагнути до досягнення різних цілей (критеріїв оптимальності), і, в залежності від цих цілей, розглядати різні завдання управління, але найбільш важливим є завдання щодо мінімізації дорожньо-транспортних витрат за умови забезпечення заданого обсягу перевезень, заданої швидкості та заданого рівня безпеки руху. Математична модель цієї задачі, тобто математична модель оптимального управління системою ДУ — ТП може бути представлена в наступному вигляді:

$$E = \min;$$

$$A_v = N;$$

$$V \geq \bar{V};$$

$$K_6 \geq \bar{K}_6,$$

де E — сумарні приведені дорожньо-транспортні витрати; A_v — пропускна здатність дороги при швидкості руху транспортного потоку V ; N — інтенсивність руху; V — середня швидкість руху транспортного потоку; \bar{V} — заданий рівень швидкості руху транспортного потоку; K_6 — коефіцієнт безпеки руху; \bar{K}_6 — задане мінімальне значення коефіцієнта безпеки руху.

Приведена система рівнянь досить повно відображає задачу оптимізації системи на окремо взятому маршруті. У випадку оптимізації системи на мережі доріг математична модель виглядає трохи складніше:

$$\sum_i \sum_j E = \min;$$

$$E_{ij} = \min;$$

$$A_{Vij} = N_{ij};$$

$$V_{ij} \geq \bar{V}_{ij};$$

$$K_{\sigma ij} \geq \bar{K}_{\sigma ij}$$

$$l_{ij} > 0, (i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, m)$$

де l_{ij} - довжина маршруту між кореспондуючими пунктами i та j .

Здійснення перевезень при можливо найменших дорожньо-транспортних витратах відповідає скороченню витрат засобів виробництва на транспорті, а критерій для регулювання й оптимізації системи «Дорожні умови — транспортні потоки» у вигляді мінімуму дорожньо-транспортних витрат відповідає загальному критерію оптимальності.

2.2 Объект управления АСУД.

Объектом управления АСУД является транспортный поток, описываемый совокупностью характеристик и параметров: интенсивностью, скоростью, составом потока, интервалами в потоке и некоторыми другими показателями.

Транспортному потоку присущи вполне определённые свойства, которые должны быть учтены при выборе управления в системе. Поэтому рассмотрим некоторые наиболее важные особенности транспортного потока.

2.2.1. Свойства транспортного потока.

Во-первых, натурные обследования движения транспортных средств в городах показывают, что характеристики транспортных потоков испытывают в течение суток значительные изменения, возникающие из-за неравномерности поступления автомобилей в транспортную сеть. В этом заключается динамический характер поведения объекта управления.

Во-вторых, ежедневное периодическое измерение одних и тех же параметров потока в фиксированные интервалы времени суток показывает статистический характер процесса движения транспортных средств. Вероятностное поведение объекта управления обусловлено тем, что транспортный поток формируется из индивидуальных участников движения, использующих различные типы транспортных средств и имеющих различные цели поездки (во времени и пространстве).

В-третьих, эти статистические закономерности движения носят устойчивый характер из-за наличия детерминированных тенденций в движении транспортных средств. Действительно, подавляющее большинство поездок носит периодический характер и часто осуществляется по постоянным маршрутам (деловые поездки, работа общественного маршрутизированного транспорта, грузовые перевозки). Коллективное поведение потока, являющееся результатом взаимодействия участников с различными целями и различными

психофизиологическими характеристиками, подчиняется закону больших чисел и делает стабильными вероятностные характеристики движения транспортных средств. Именно отсутствие хаоса в транспортной сети делает возможным функционирование АСУД, которая, в свою очередь, способствует ещё большей стабилизации процессов движения.

В-четвёртых, важнейшим свойством транспортных потоков, во многом определяющим принципы управления, является их инерционность. Под инерционностью понимается свойство объекта управления непрерывно переходить из состояния в состояние во времени и пространстве. Действительно, параметры движения транспортных единиц, измерённые в некоторый момент времени, не могут существенно измениться за малый промежуток времени из-за того, что каждая единица имеет конечную, вполне определённую скорость и может быть обнаружена в этом промежутке в пределах ограниченного участка транспортной сети. Это свойство проявляется, прежде всего, в том, что средние параметры потоков (интенсивность, скорость, плотность, интервалы) изменяются во времени и пространстве непрерывно. Наличие «пачек» в потоках также является результатом малой изменчивости структуры потока при его прохождении смежных перекрёстков, т.е. следствием инерционности в изменении интервалов между последовательными автомобилями. Инерционность объекта управления говорит о возможностях прогнозирования изменений его характеристик в небольших интервалах.

В-пятых, все перечисленные свойства проявляются как результат взаимозависимого движения транспортных средств. Эта взаимозависимость выражается главным образом в том, что подчас малые изменения условий движения на отдельных магистралях и перекрёстках (сужение проезжей части, изменение погодных условий, нарушение режима светофорной сигнализации) приводят к резкому изменению характера движения не только на данном участке, но и на отдалённых магистралях и перекрёстках города. Особенно сильно связность регулируемых транспортных узлов сказывается в режимах насыщения сети, когда транспортный затор, возникший на отдельном перекрёстке, распространяется на значительный участок сети. Связность в сети носит сложный, подчас непредсказуемый характер. Чем сильнее свойство связности, тем большие участки сети необходимо рассматривать, решая задачу управления, и тем сложнее эта задача, поскольку под объектом управления приходится понимать не отдельные перекрёстки, а все связанные между собой транспортные узлы.

Фактор взаимозависимости проявляется также и в условиях стеснённого движения транспортных средств по перегонам и через перекрёстки сети. Для того чтобы обеспечить безопасное и быстрое движение автомобилей в транспортном потоке, водители вынуждены совершать различные манёвры, обусловленные реальной дорожной ситуацией. В результате этой закономерности движения отдельных транспортных средств можно рассматривать как следствие суммарных взаимодействий в потоке. Характеристики результирующего взаимодействия являются теми исходными для системы параметрами, по которым решается вопрос о назначении того или иного управления движением.

2.2.2. Состояния транспортного потока.

Остановимся несколько подробнее на типичных случаях дорожного движения. Экспериментальные и теоретические исследования дают основания выделить три качественно различных состояния, которые мы условимся называть *свободным*, *групповым* и *вынужденным*.

При малой интенсивности потока, когда пропускная способность дороги не является фактором, ограничивающим беспрепятственное движение, скорость движения транспортных средств близка к скорости *свободного* движения. Взаимодействие между транспортными единицами в режиме свободного движения настолько мало, что им можно пренебречь. Состояние свободного транспортного потока характеризуется не только независимым движением отдельных транспортных единиц, но и тем, какие интервалы между единицами в потоке складываются при этом. Многочисленные экспериментальные работы, а также предельные теоремы массового обслуживания говорят о том, что распределение интервалов в свободном потоке близко к экспоненциальному и, следовательно, число прибытий транспортных единиц потока в некотором интервале во времени или пространстве описывается законом Пуассона [6]. Свободное состояние потока наблюдается в реальной транспортной сети на перегонах с редким движением в сечениях, удалённых более чем на 800 м от питающих перекрёстков.

Иная картина возникает, если рассматривать групповой режим движения. *Групповое* движение транспортных средств складывается при несколько больших интенсивностях движения, когда пропускная способность дороги и перекрёстка уже оказывает существенное влияние на условия движения. Для того чтобы сохранить скорость, водители быстроходных автомобилей вынуждены совершать обгоны, перестроения и другие манёвры. В режиме свободного движения обгоны в потоке осуществляются практически без взаимодействия между транспортными единицами. Групповое движение характеризуется максимальным взаимодействием единиц при движении, максимальной интенсивностью вынужденных манёвров. В результате этого весь транспортный поток разделяется на совокупность очередей, имеющих скорость тихоходных головных автомобилей. Скорости быстроходных транспортных единиц при этом падают. Теперь уже движение транспортных средств не может быть описано законом Пуассона, поскольку расстояния между последовательными автомобилями в очередях близки к расстояниям безопасности, т.е. не подчиняются экспоненциальному распределению. Характерным примером группового потока является движение транспортных средств, наблюдаемое в сечении перегона, расположенного в 20 – 30 м за питающим его перекрёстком. Пачки в потоке, возникающие после прохождения транспортных единиц через перекрёсток, по мере движения по перегону «разваливаются» сравнительно медленно, и поток в рассматриваемом сечении имеет ещё ярко выраженную групповую форму.

Когда интенсивность движения увеличивается и достигает пропускной способности дороги, условия обгонов быстроходными автомобилями тихоходных затрудняются, очереди, образованные при групповом режиме движения,

удлиняются и практически сливаются в единую очередь. При этом скорости транспортных средств в потоке выравниваются и оказываются близкими к скоростям самых тихоходных автомобилей, интервалы между транспортными единицами в потоке становятся близки к детерминированным, равным расстояниям безопасного движения. Этот режим движения будем называть *вынужденным*.

Ещё одной особенностью объекта управления является наличие в нём тенденции развития. Количественные изменения объекта управления связаны с естественным ростом автомобилизации, сооружением новых регулируемых перекрёстков, строительством развязок в разных уровнях, улучшением динамических характеристик транспортных средств, с пересмотром организации движения в регулируемом районе (введение и отмена поворотных движений, введение улиц с односторонним движением, запрещение проезда по некоторым улицам грузовому транспорту, запрещение и разрешение стоянок и др.). Эти количественные изменения приводят, как правило, к изменению структуры потоков, степени связанности отдельных перекрёстков сети, масштабов регулируемой сети, что может потребовать качественной перенастройки управляющего органа и привести к пересмотру вида алгоритмов управления для того или иного перекрёстка. Таким образом, система управления движением обязательно должна быть «гибкой» по отношению к объекту управления.

Анализ статистических данных, полученных в результате эксплуатации систем первого и второго поколений, позволил сделать следующие выводы:

- суточный характер изменения интенсивности движения по каждому направлению на перекрестках практически не зависит от дня недели, кроме выходных дней. Колебания интенсивности движения в одни и те же периоды различных дней не превышают 3 – 5%;

- изменение интенсивности движения на различных направлениях одного перекрестка имеет независимый характер и очень мало зависит от внешних условий (погоды, освещенности). В основном характер изменения интенсивности движения определяется режимом работы всего городского хозяйства и поэтому позволяет прогнозировать его в течение суток;

- интенсивность движения в течение суток изменяется от нуля до определенной величины и является независимым (локальным), детерминированным и прогнозируемым параметром;

- величина средней скорости движения зависит от погодных условий, уровня освещенности, интенсивности движения и изменяется в определенном диапазоне [8] $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$, где V_{\min} – минимальное значение скорости, зависящее от технических характеристик автомобилей (как правило, $V_{\min} > 30$ км/ч); V_{\max} – максимальное значение скорости, зависящее от ограничений движения в городе (как правило, $V_{\max} = 60$ км/ч);

скорость является параметром, общим для больших участков дорожно-транспортной сети (как правило, для подрайона управления) и ее изменения трудно поддаются прогнозированию, так как в основном они зависят от случайных обстоятельств.

ЛЕКЦИЯ №3

Тема: "Обобщенная схема АСУД и уровни управления. "

3.1 Обобщенная схема АСУД.

При автоматизации управления движением транспортного потока, как и при автоматизации любого другого процесса, вводят звено обратной связи, в данном случае между выходными параметрами потока и управляющими воздействиями системы, которые определяют режим движения в контролируемой дорожно-уличной сети.



Выходные параметры транспортного потока (интенсивность, скорость, плотность, длина очереди у перекрестка, наличие транспортных средств с правом приоритетного пропуски и т. д.) фиксируются с помощью детекторов транспорта. Полученная информация о состоянии транспортного потока обрабатывается и используется для целей управления, а также служит основой для вычисления таких характеристик потока, которые не могут быть получены непосредственным измерением, например время задержки у перекрестка, время движения по участку сети и т. д.

Информация о фактическом режиме движения транспортного потока используется для формирования управляющих воздействий, передаваемых на средства дорожной сигнализации (светофоры, многопозиционные дорожные

знаки и указатели), являющиеся исполнительными органами системы.

Показатель, по величине которого оценивается степень соответствия результатов управления поставленной цели, называют критерием эффективности или качества управления. С учетом выбранных для использования в АСУД критериев эффективности и анализа условий движения на контролируемой системой дорожно-уличной сети определяют задаваемые значения параметров транспортного потока, а также разрабатывают и вводят в систему алгоритмы управления дорожным движением. Алгоритмы представляют собой свод правил, по которым в системе осуществляется формирование управляющих воздействий, поступающих на средства дорожной сигнализации.

Таким образом цепь функциональных блоков (см. рис, 1.1) образует контур автоматического управления в АСУД. Однако в работе АСУД наряду с техническими средствами обязательно участвуют операторы или диспетчеры, которые могут непосредственно управлять дорожной сигнализацией, корректируя воздействия, формируемые в контуре автоматического управления системы. Необходимость введения диспетчерского управления в АСУД с сохранением за человеком высшего приоритета в принятии решения диктуется сложностью процесса дорожного движения, а также большой тяжестью последствий для участников движения в случае нарушения и сбоев в работе системы.

Следовательно, в АСУД имеется второй контур, по которому замыкается цепь обратной связи, называемый контуром диспетчерского управления.

Данные о действительных параметрах транспортного потока накапливаются, систематизируются и обрабатываются с учетом потребностей системы. Наличие этих данных позволяет осуществлять постоянное слежение за устойчивыми тенденциями изменения свойств транспортного потока, что создаст возможность производить соответствующую модификацию методов управления, уточнять используемые критерии эффективности, изменять диапазоны задаваемых параметров транспортного потока, совершенствовать управляющие алгоритмы. В этом находят реализацию элементы адаптивного управления дорожным движением в АСУД.

Как видно из приведенной блок-схемы, АСУД может быть отнесена к классу автоматизированных систем управления технологическим процессом, получивших широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства. При этом сущность процесса управления, реализуемого АСУД, сводится к получению транспортного потока с некоторыми заданными параметрами в условиях имеющейся городской дорожно-уличной сети.

3.2. Уровни управления АСУД.

Важнейшим принципом организации современных АСУД является наличие в них нескольких уровней управления, находящихся в иерархическом соотношении между собой. Можно выделить три уровня управления: стратегический, тактический и локальный.

На стратегическом уровне решаются наиболее важные и принципиальные

задачи системного управления, к которым относятся:

- разбивка сети на отдельные районы для назначения в пределах каждого из них общей программы, координирующей работу светофорной сигнализации перекрестков в этом районе;
- формирование или выбор в зависимости от условий движения координирующей программы и доведение ее до перекрестков соответствующего района;
- контроль и непосредственное управление перекрестками на границах выделенных районов с целью обеспечения межрайонной координации средств дорожной сигнализации;
- контроль возникновения предзаторовых и заторовых ситуаций в сети и перераспределение транспортных потоков с целью предупреждения или ликвидации заторов;
- введение различных схем организации движения в сети с помощью многопозиционных дорожных знаков, а также управление реверсивными полосами движения.

Поскольку формирование управляющих воздействий на стратегическом уровне требует определения основных тенденций изменения параметров транспортных потоков, а реализация этих воздействий связана с внесением значительных возмущений в процесс дорожного движения, то данный уровень управления является наиболее инерционным и его временной шаг составляет десятки минут.

На тактическом уровне управление осуществляется в рамках ограничений, обусловленных решениями, принятыми на стратегическом уровне. Сущность тактических задач сводится к корректировкам, вносимым в стратегические программы, с учетом местных особенностей движения в пределах группы перекрестков, объединенных в одной магистрали или одном районе дорожно-уличной сети.

К таким задачам могут относиться:

- изменение сдвига фаз на перекрестках магистрали при сохранении длительности светофорного цикла, заданного программой сетевой координации;
- управление состоянием многопозиционных дорожных знаков, действие которых локализуется в пределах данной магистрали, и т. п.

Тактический уровень управления обладает меньшей инерционностью. Временной шаг выдачи управляющих воздействий здесь соизмерим с величиной светофорного цикла и составляет минуты.

На локальном уровне управление осуществляется в пределах каждого конкретного перекрестка сети. Этот вид управления реализуется в рамках программ, задаваемых на стратегическом и тактическом уровнях, и имеет своей задачей максимально приспособить режим работы средств дорожной сигнализации перекрестка к фактическим условиям движения.

Указанная задача решается нахождением оптимального распределения длительности фаз с учетом обеспечения требований координации, пропуском ненагруженной светофорной фазы при многофазном регулировании, реализацией вызова фаз для пешеходов, исключением неиспользуемой части текущей зеленой

фазы и т. п.

Локальный уровень является наиболее оперативным по своему быстрдействию и имеет секундный шаг формирования управляющих воздействий.

Построение управления в АСУД в соответствии с рассмотренным иерархическим рядом взаимно подчиненных уровней обеспечивает, с одной стороны, единый системный подход ко всем процессам движения, протекающим в управляемой дорожной сети, а с другой стороны, дает возможность в максимальной степени учесть все факторы, определяющие эффективность функционирования системы и значительно упростить требования, предъявляемые к мощности ее управляющего вычислительного комплекса.

Необходимо отметить, что степень связи уровней управления между собой в реальном процессе работы АСУД не является раз и навсегда заданной и неизменной величиной. Ограничения, налагаемые верхними уровнями управления на нижестоящие, являются функцией условий движения в управляемой дорожно-уличной сети и в первую очередь функцией интенсивности транспортных потоков. Действительно, например, при мало интенсивном движении (в межпиковый период днем или в ночное время) многие перекрестки в системе могут рассматриваться как взаимонезависимые. При этом ограничения, вводимые на режимы их работы по стратегическому и тактическому уровням управления, могут быть полностью сняты и данные перекрестки будут работать в локальном режиме с использованием наиболее подходящего для сложившихся условий алгоритма изолированного регулирования.

Аналогичная ситуация может иметь место и на тактическом уровне управления. Например, для выездной магистрали в часы малоинтенсивного движения можно пренебречь ее связью с остальной частью дорожной сети и организовать на ней координированное управление светофорной сигнализацией, сняв ограничения, задаваемые на стратегическом уровне управления.

3.3 Типы контуров автоматического управления.

При практическом проектировании АСУД реализуется несколько контуров автоматического управления.

Контур локального жесткого управления, являющийся самым низшим, в котором управление движением осуществляется в зоне одного перекрестка по жесткой, заранее заданной программе. Программа рассчитывается по статистическим данным о движении. В некоторых случаях может быть несколько программ, включаемых в различное время суток.

Контур локального гибкого управления, в котором управление движением осуществляется также в пределах одного перекрестка, но длительность сигналов светофоров определяется по измеряемым параметрам транспортного потока.

Контур жесткого координированного управления, в котором осуществляется синхронизация светофорных сигналов на магистрали или в небольшом районе по жесткой, заранее заданной программе координации

«зеленая волна». Может быть рассчитано несколько программ координации для различного времени суток. Выбор их осуществляется или автоматически с помощью реле времени, или диспетчером систем. Рассчитываемая по статистическим данным о движении транспорта (интенсивности и скорости) программа координации ориентирована на оптимизацию показателей качества функционирования транспортных потоков - на снижение задержек транспорта, уменьшение количества остановок автомобилей и т. д. — по сравнению с не координированным управлением.

Контур гибкого координированного управления является наиболее совершенным. В процессе управления осуществляются выбор и коррекция программ координации по реальным параметрам транспортных потоков, что обеспечивает наилучшее приближение режимов функционирования исполнительных органов к реальным транспортным условиям.

Контуры ручного и диспетчерского управления реализуются в непредвиденных ситуациях, незапрограммированных в контурах автоматического управления. Ручное управление применяется в зоне перекрестка постовым со специальных выносных пультов. Диспетчерское управление осуществляет дистанционное управление исполнительными органами в зоне одного перекрестка или одновременно на нескольких перекрестках. Диспетчерское управление движением на нескольких перекрестках выполняется, например, с целью безостановочного пропуска специальных автомобилей в так называемом режиме «зеленая улица». Информация о месте нахождения специального автомобиля и направления его движения поступает диспетчеру по радию.

В последнее время с некоторых АСУ реализуется **контур автоматического управления движением в режиме «зеленая улица»**. Информация о месте нахождения и направлении движения специального автомобиля поступает от специальных детекторов. На основании данной информации автоматически определяется время включения светофорных сигналов, разрешающих движение.

Для образования АСУД не обязательно наличие всех отмеченных комплексов и контуров управления. Компоновка АСУД зависит, прежде всего, от вида объекта управления, а также от наличия в системе контуров управления.

ЛЕКЦИЯ №4

Тема: " Общие принципы управления. Функциональные структуры АСУД."

4.1 Структура и методы управляющих воздействий.

На каждый транспортный поток, двигающийся в регулируемом направлении через перекресток, воздействует 3 сигнала светофора: красный, желтый, зеленый. Эти сигналы и являются основными управляющими воздействиями.

При внешней простоте эти управляющие воздействия имеют достаточно сложную структуру.

Управляющие воздействия можно представить в виде многомерного вектора, компонентами которого являются:

- длительность основных тактов (комбинация одновременно горения светофорных сигналов);
- длительность промежуточных тактов (переходных интервалов) во время которых происходит открытие и подготовка к открытию направлений;
- длительность фаз управления;
- длительность цикла (интервал времени, в течении которого происходит смена всех разрешенных тактов);
- последовательность фаз в цикле, очередности открытия движений на перекрестке;
- временные сдвиги между включениями фаз на соседних перекрестках, которые влияют на возможность безостановочного прохождения по перекресткам сети.

Указанный многомерный вектор называется планом управления.

Различают следующие методы управления по соответствующим классификационным признакам:

1. Локальное управление, которое заключается в управлении в зоне одного перекрестка.
2. Системное, обеспечивающее оптимизацию функционирования транспортного потока в зоне, охватывающей множество связанных или координированных перекрестков.

Кроме отмеченного выделяют программное и адаптивное:

1. Программное управление основанное на предположении статистически устойчивых транспортных потоках. Оно заключается в предварительном расчете плана управления по собранным заранее данным режиме движения в системе.
2. Адаптивное заключается в оперативном расчете или коррекции режима управления в реальном масштабе времени в соответствии с результатами измерения и анализа текущих значений параметров транспортного потока.

Чаще всего используют смешанные методы управления: программно-

адаптивные.

4.2 Классификация АСУД.

В соответствии с «Руководством по проектированию и внедрению автоматизированных систем управления дорожным движением на базе АСС УД» (АСС УД — агрегатная система средств управления дорожным движением) все типы используемых АСУД делятся по следующим признакам и отражают область применения систем, а также сложность их функционирования.

Первый признак классификации - по области применения, — различает системы трех уровней.

АСУД первого уровня (АСУД 1) управляют движением на отдельных перекрестках. В них могут быть задействованы контуры локального, жесткого и гибкого управлений, а также контур ручного управления.

АСУД второго уровня (АСУД 2) управляют движением на участке дорожной сети (магистральных и в небольших районах). Кроме контуров АСУД 1, в АСУД 2 действуют контур жесткого координированного управления, а также может быть реализован контур диспетчерского управления.

АСУД третьего уровня (АСУД 3) управляют движением в крупных городских районах со сложными дорожно-транспортными условиями. Как правило, в них реализованы все упомянутые выше контуры управления. Часть контуров может работать совместно, например контуры гибкого координированного управления и локального гибкого управления. Часть контуров может являться резервными - контуры жесткого координированного и локального управления.

Второй признак классификации — по сложности функционирования — отражает наличие в системах основных контуров управления.

По данному признаку различают следующие типы системы.

1. В системах первого уровня (АСУД 1) - с локальным жестким однопрограммным управлением (АСУД 1-1); с локальным гибким управлением (АСУД 1-2); с локальным многопрограммным управлением (АСУД 1-3).

2. В системах второго уровня (АСУД 2) - с жестким координированным управлением (АСУД 2-1) и с контуром диспетчерского управления (АСУД 2-2).

3. В системах третьего уровня классификация по контурам управления обычно не используется, так как включение их в систему осуществляется при наличии основного контура гибкого координированного управления.

Отмеченные выше типы систем реализуются с помощью набора средств автоматизации, компонуемых в зависимости от области применения АСУД. В АСУД используются средства, разработанные специально для данного типа систем, и средства общепромышленного применения.

Специфические условия эксплуатации систем, а также особенности методов управления обусловили значительную массу средств, разрабатываемых специально для систем,

4.3 Основные составляющие АСУД.

Все средства автоматизации для АСУД можно разделить на два крупных комплекса:

- 1) комплекс технических средств;
- 2) программные средства.

Комплекс технических средств, в свою очередь, включает в свой состав следующее оборудование:

1) периферийное, устанавливаемое на дорожной сети, в том числе: детекторы транспорта (ДТ), обеспечивающие определение первичной информации о характеристиках транспортных потоков (интенсивности движения, скорости, плотности потоков и т. д.), обеспечивающие обнаружение в контролируемой зоне специального автомобиля, оснащенного передвижным комплектом аппаратуры приоритетного пропуски; дорожные контроллеры (ДК), предназначенные для переключения светофорной сигнализации, управляемых знаков и указателей скорости; устройства (блоки) обмена информацией (БОИ) между ДК и устройствами управляющих пунктов (УП). В свою очередь, в последних устройствах различаются центральные (БОИЦ) и периферийные комплекты (БОИП), вспомогательное и оконечное оборудование, включающее управляемые знаки (УЗН), указатели скорости (УСК), устройства для вмешательства человека в процесс управления — табло вызова зеленого сигнала пешеходом (ТВП), выносной пульт управления светофорной сигнализацией на перекрестке для инспектора ГАИ (ВПУ);

2) устройства управляющих пунктов, предназначенные для организации автоматического и диспетчерского переключения светофорной сигнализации, в том числе: пульта диспетчерского контроля и управления (ПКУ), координаторы (КР), обеспечивающие диспетчерское и жесткое координированное управление, управляющие вычислительные комплексы (УВК), являющиеся основным элементом в контуре гибкого координированного управления, мнемосхемы (МнСх), отображающие процесс функционирования систем;

3) контрольно-диагностическая аппаратура (КДА), необходимая для проверки правильности функционирования устройств системы и поиска неисправности при их отказах.

Отметим, что в настоящее время только управляющие вычислительные комплексы являются изделиями общепромышленного применения, используемыми в АСУД.

Программные средства (программное обеспечение) — это комплекс программ, необходимый для функционирования управляющего вычислительного комплекса (УВК) в составе АСУД. В нем также различают типовые программные средства, поставляемые вместе с УВК и обеспечивающие необходимые режимы его работы в составе АСУ технологическими процессами (так называемые операционные системы), и специальные программные средства, реализующие алгоритмы переработки информации и принятие решения по управлению дорожным движением.

Таким образом, даже краткое перечисление средств автоматизации, используемых в АСУД, отражает развитость их номенклатуры и разнообразие.

4.4 Функциональные структуры АСУД.

Структуры АСУД рассмотренных ниже типов приведены на рисунках 3.1-3.8. Практически каждая структура высшего уровня включает в себя целиком структуры низшего уровня, что облегчает развитие систем при усложнении объекта управления. Однако возможность развития реализована только в агрегатной системе средств управления дорожным движением (АСС УД).

Системы первого уровня (смотри рисунок 1.1) выполняются на базе дорожных контроллеров УК1, УК2 (АСУД 1-1), счетно-решающего устройства СПРУТ-1М, универсального вызывного устройства УВУ-2М, пешеходного вызывного устройства ПВУ-2М (АСУД 1-2). Из новых систем АСС УД освоены АСУД 1-1 на базе дорожного контроллера локального (ДКЛ), АСУД 1-2 на базе дорожного контроллера ДКМ 4-4.

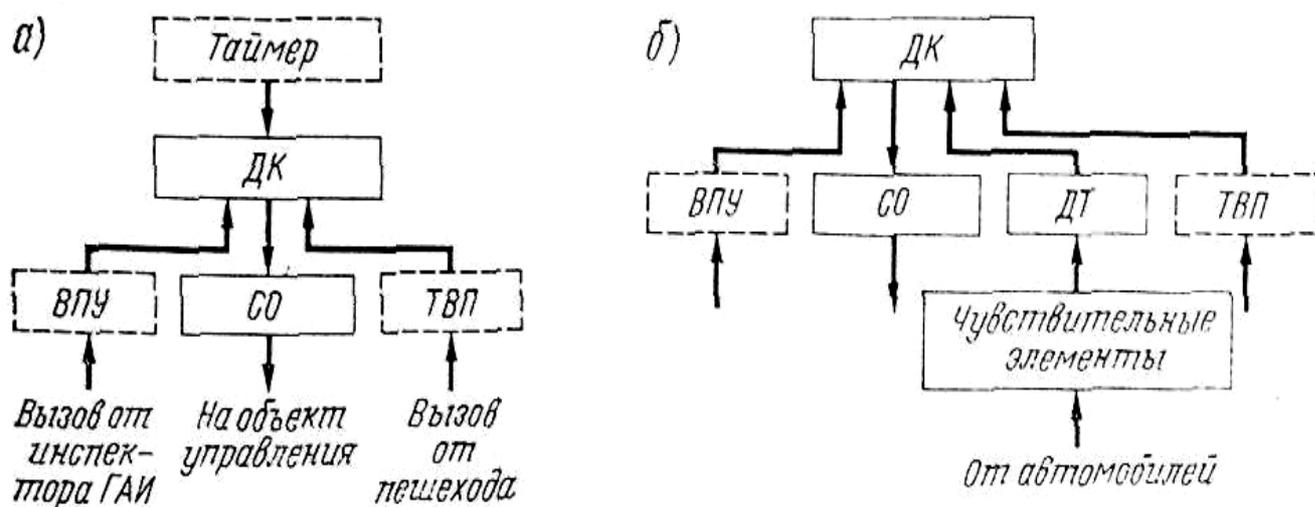


Рисунок 4.1- Структурные схемы АСУД: а — АСУД1-1; б — АСУД1-2

Системы, выполненные на базе старых контроллеров, характерны тем, что в них реализовано небольшое количество фаз переключения светофорной сигнализации (до трех), и смена фаз осуществляется путем формирования заранее заданных тактов работы светофоров. Количество контролируемых детекторами транспорта направлений движения не превышает четыре. Системы на базе АСС УД отличаются возможностью многофазного регулирования, гибким формированием промежуточных тактов при смене фаз.

Системы второго уровня с точки зрения построения структуры делятся на две группы — бесцентровые и с управляющим пунктом. Бесцентровые системы реализуют только контур жесткого программного координированного управления со сменой программ координации во времени суток, т. е. представляют собой систему АСУД 2-1.

Существуют два варианта их реализации.

По первому варианту синхронизация дорожных контроллеров в соответствии с действующей программой координации осуществляется координатором, функционирующим в необслуживаемом режиме. Подобным образом реализованы телемеханические системы координированного управления ТСКУ-4 (смотри рисунок 3.2).

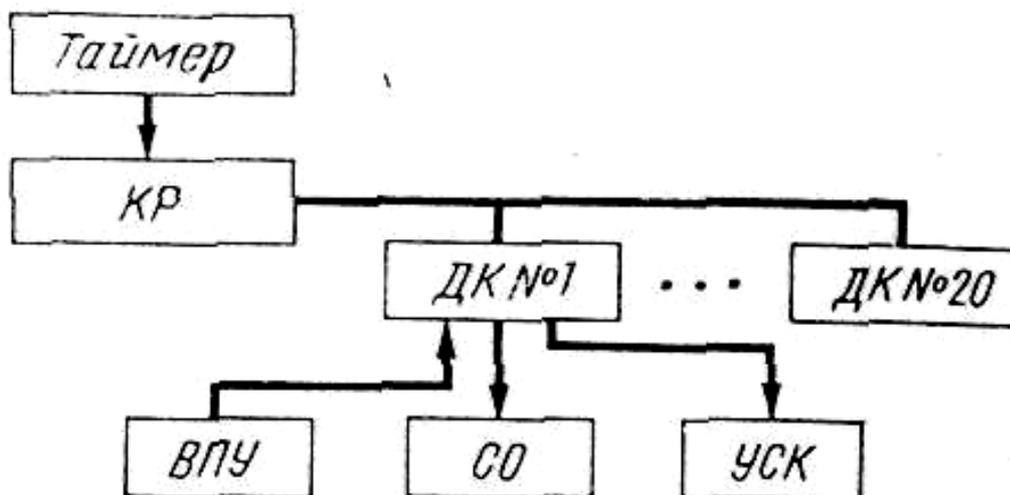


Рисунок 4.2 – Структурная схема АСУД 2-1 на базе ТСКУ 4

По второму варианту реализуется взаимная синхронизация дорожных контроллеров по действующей программе координации. Второй вариант обеспечивает большую надежность функционирования системы, так как выход одного из ее элементов не приводит к потере координации во всем районе. По данному варианту построены АСУД2-1 на базе дорожных контроллеров УК 2, АСУД2-1 на базе дорожных контроллеров АСС УД (смотри рисунок 3.3).

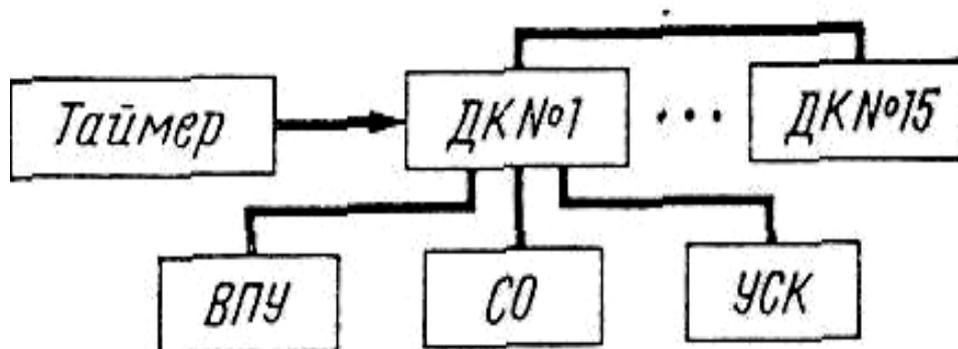


Рисунок 4.3 – Структурная схема АСУД 2-1 на базе ДК УК 2 или ДК АСС УД

Системы с управляющим пунктом дополнительно реализуют контур диспетчерского управления, т. е. относятся к типу АСУД 2-2. В нашей стране применяются в настоящее время три типа систем второго уровня:

1. Телемеханическая система координированного управления ТСКУ-3М с диспетчерским пунктом (ДП) (смотри рисунок 3.4). Она обеспечивает жесткое координированное управление по трем программам координации со сменой их во времени суток на магистралях или в небольших районах, включающих в себя до 20 перекрестков. Дополнительно, с помощью указателей скорости, система позволяет информировать водителей о рекомендуемой скорости при включении «зеленой волны». Диспетчер с пульта управления может вручную произвести смену программ координации, включить режимы «зеленая улица» на магистраль, «желтое мигание», отключить светофоры.

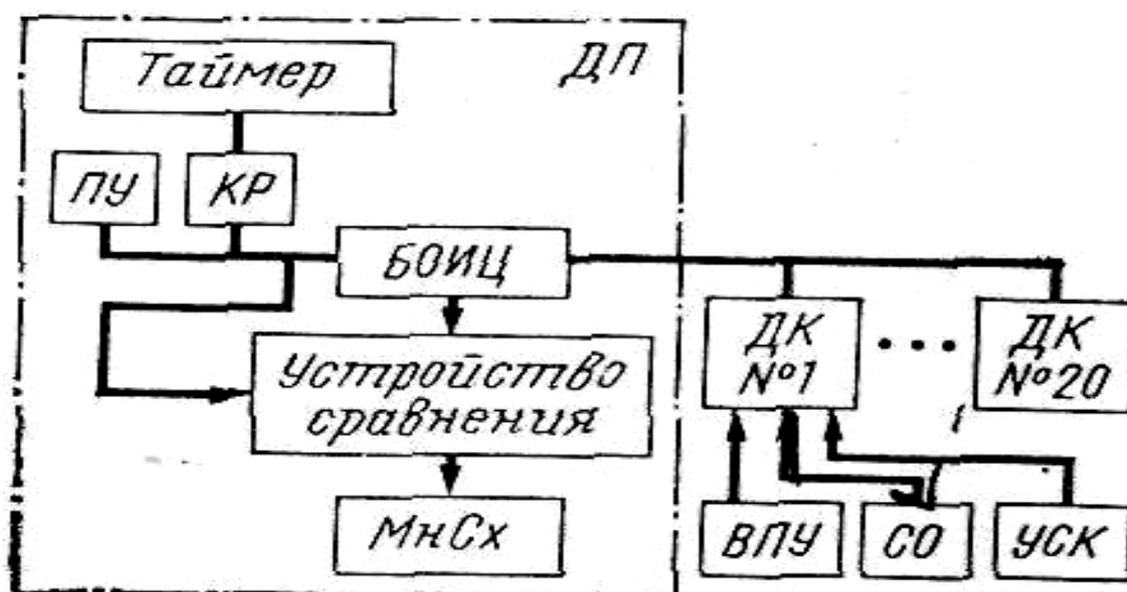


Рисунок 4.4 – Структурная схема ТСКУ-3М

2. Автоматизированная система координированного управления на группе магистралей (АСКУ). АСКУ также обеспечивает жесткое координированное управление, но на нескольких магистралях, причем на каждой из них может действовать своя, автономная, одна из пяти программ координации. Выбор программ координации может производиться диспетчером по времени суток или в соответствии с показаниями детекторов транспорта, определяющих транспортную загрузку в характерных сечениях магистралей. Такая система внедрена в г. Баку на 75 перекрестках и в дальнейшем не тиражировалась.

В названных выше системах связь между ДК и УП в АСУД 2-2, а также между ДК в АСУД2-1 осуществляется по магистральному каналу — некоммутируемой телефонной линии длиной до 15 км, что создает в ряде случаев дополнительные удобства при строительстве системы.

3. АСУД2-2 на базе АСС УД (смотри рисунок 3.5) является дальнейшим развитием систем второго уровня и в то же время переходной ступенью к

системам третьего уровня. Данные АСУД осуществляют координированное управление в районе, включающем до 90 перекрестков, по семи планам координации со сменой их вручную или по времени суток.

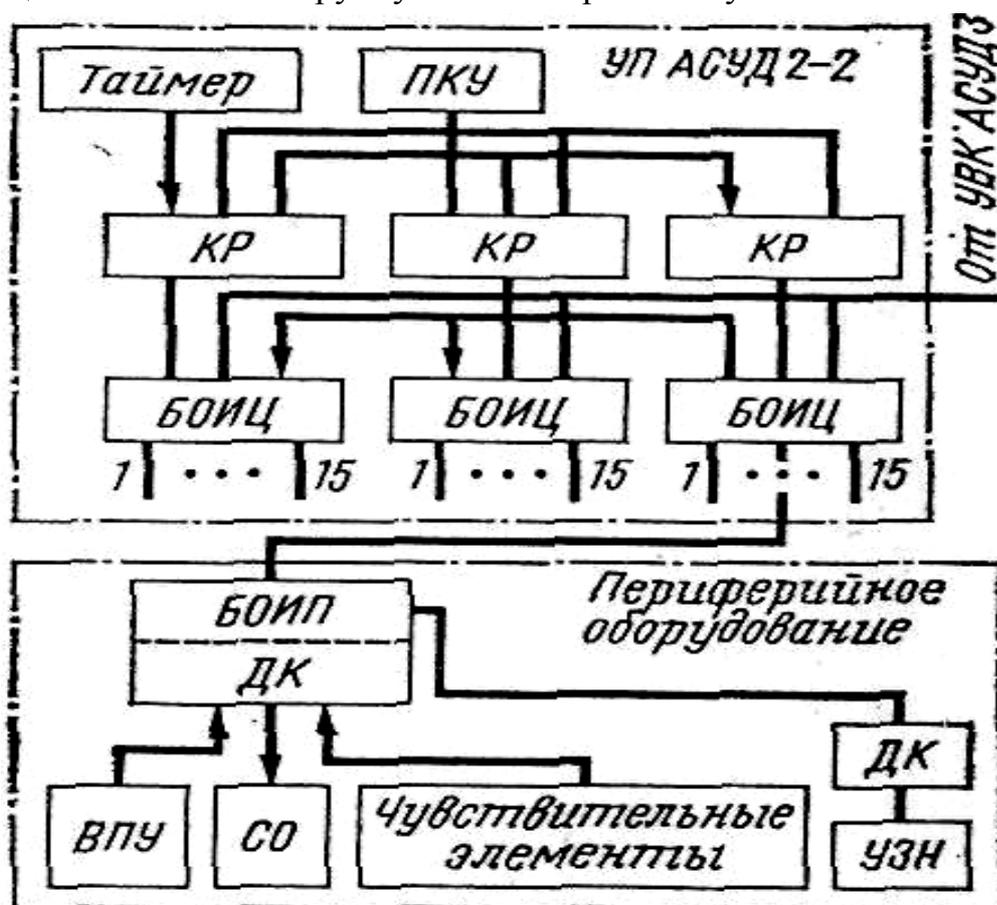


Рисунок 4.5 – Структурная схема АСУД 2-2 на базе АСС УД

Диспетчер имеет возможность осуществлять управление движением отдельно на любом перекрестке, включать режим «зеленая улица» на восьми маршрутах, причем на каждом из маршрутов «зеленая улица» включается участками. В системе на периферийное оборудование АСУД 2-2 и аппаратуру приоритетного пропуска имеется возможность диспетчерского управления **восемью** позиционными дорожными знаками.

Кроме информации об исправности технических средств системы, до диспетчера доводятся сведения о перегорании красных ламп светофоров или конфликтных ситуациях в работе в светофорной сигнализации. Характерная особенность АСУД2-2 на базе АСС УД — возможность одновременного функционирования двух контуров управления: основного — жесткого координированного и вспомогательного (корректирующего) — локального гибкого на каждом перекрестке.

Связь между управляющим пунктом и дорожными контроллерами осуществляется по радиальным каналам связи — телефонным линиям длиной до 25 км. К каждой телефонной линии могут быть подключены до двух ДК, или одного ДК и двух УЗН, или четырех УЗН.

АСУД2-2 на базе АСС УД построена по модульному принципу. Каждый

координатор осуществляет управление по 15 каналам связи (до 30 ДК). Три координатора подключены к одному пульту. При необходимости координаторы синхронизируются между собой.

Системы третьего уровня структурно отличаются от АСУД 1 и АСУД 2 наличием в контуре гибкого координированного управления управляющего вычислительного комплекса (УВК) (смотри рисунок 3.6).

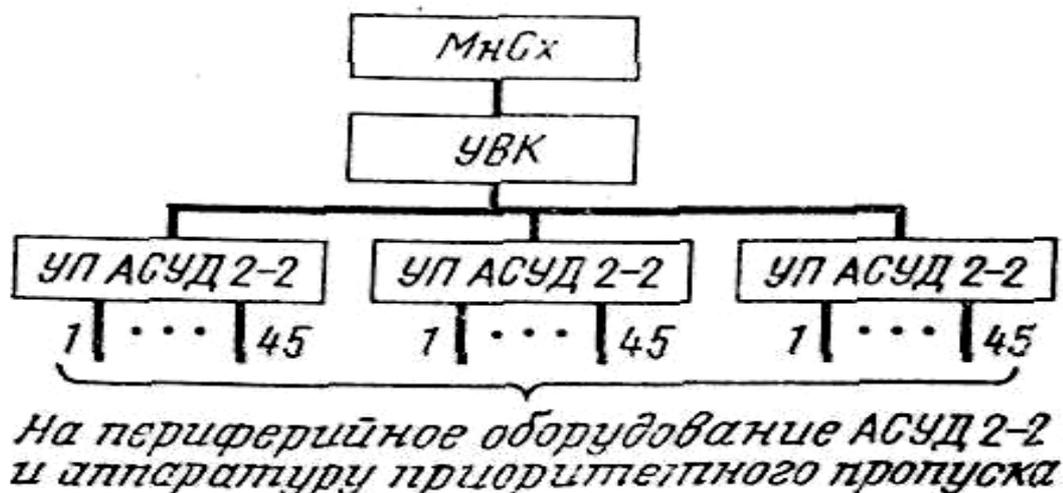


Рисунок 4.6 – Структурная схема АСУД 3

Применение УВК позволяет отказаться от ряда специализированных устройств управляющего пункта (координатора, пульта управления), реализовав их функции программным обеспечением и типовыми устройствами связи с оператором. Однако такая структура обладает крупным недостатком: отсутствие резерва контуров гибкого координированного и диспетчерского управления приводит к крупным потерям в эффективности управления при отказах УВК. Поэтому общепринятой в АСУДЗ является структура, где пульт диспетчерского управления и координатор образуют независимые контуры управления, что позволяет при отказах УВК сохранять определенный уровень эффективности функционирования системы.

Таким образом, типовая структура АСУДЗ является естественным развитием АСУД 2-2 путем параллельного включения УВК в контур управления. Особенность структуры АСУД 3 — широкое использование мнемосхем в контуре диспетчерского управления. Мнемосхема подключается к УВК и представляет собой схему района управления с установленными индикаторами режимов функционирования светофорной сигнализации на перекрестках и загрузок транспортом улиц и магистралей. Другая особенность АСУД 3 — возможность введения в нее контура автоматического включения режима «зеленая улица». Эта возможность реализуется включением в структуру аппаратуры приоритетного пропуска, состоящей из двух частей — передвижного (ПКА) и стационарного (СКА) комплектов. ПКА устанавливается на специальном автомобиле и при пересечении им контролируемого сечения улицы передает сигнал по индуктивному каналу связи на СКА. Далее информация поступает, как и от

обычного ДТ, через устройства обмена информацией в УВК, который автоматически включает «зеленую улицу» на участке обнаружения специального автомобиля. Особенности структуры АСУД 3, рассмотренные выше, характерны для всех типов систем, разработанных в нашей стране. В настоящее время имеются три модификации АСУД 3— системы ГОРОД, ГОРОД-М, ГОРОД-М1.

Система ГОРОД включает в свой состав ЭВМ «НАИРИ-2» и осуществляет управление в районе 75 перекрестками. Система ГОРОД-М реализована на базе УВК М-6000 и может управлять движением в районе, в котором 100—120 перекрестков. Система ГОРОД-М1 является развитием АСУД2-2 на базе АСС УД и образуется включением в контур управления УВК СМ-2М. Район управления может охватывать до 150—200 перекрестков. Отличаются системы и координаторами. В системе ГОРОД координатор рассчитан на одну программу координации, в системе ГОРОД-М - на три, в системе ГОРОД-М1 — на семь. Включение ПКА и СКА возможно только в систему ГОРОД-М1. В этих системах характерно и различие применяемых средств. Системы ГОРОД и ГОРОД-М отличаются управляющими пунктами - пультами управления, устройствами обмена информацией, координаторами. Общим у них является периферийное оборудование - дорожные контроллеры типа БКТ6, БКТ7 и детекторы транспорта ДТИМ. Система ГОРОД-М1 построена полностью на средствах АСС УД. В связи с тем, что в ряде городов внедрена система ГОРОД-М, а дальнейшее расширение возможно только средствами АСС УД, в последнее время разработана сопряженная система, в которой возможно использование средств ГОРОД-М и ГОРОД-М1.

В системах, реализованных на базе АСС УД, может изменяться уровень управления путем доукомплектования их средствами (блоками и устройствами). Кроме того, в городе возникает необходимость объединения систем различных уровней с целью управления движением по единой программе координации во всем городе.

Нужно различать следующие варианты объединения систем:

1) объединение систем, выполненных на едином комплексе средств АСС УД. При этом возможны различные компоновки. На рисунке 3.7 представлены примеры объединения АСУД 3 с АСУД 2-1 и АСУД 2-2 в единую районированную систему. Головной в этом случае является АСУД 3, задача которой - выбор в каждой из систем программ координации, сопряженных на границах, и синхронизация программ в процессе управления;

2) объединение систем, реализованных на базе АСС УД, со старыми системами, уже действующими на объектах. В этом случае возможны следующие компоновки:

- оборудование АСС УД — пульт контроля и управления, координатор, дорожные контроллеры, детекторы транспорта с УВК системы ГОРОД-М (так называемая сопряженная система);

- ГОРОД-М1 с ТСКУЗМ (рисунок 3.8); УВК ГОРОД-М1 обеспечивает выбор в ТСКУЗМ программы координации и синхронизацию ее с программой, действующей в районе, охваченном системой ГОРОД-М 1;

3) объединение двух систем ТСКУЗМ в единую путем объединения управляющих пунктов и синхронизации ее в процессе функционирования.

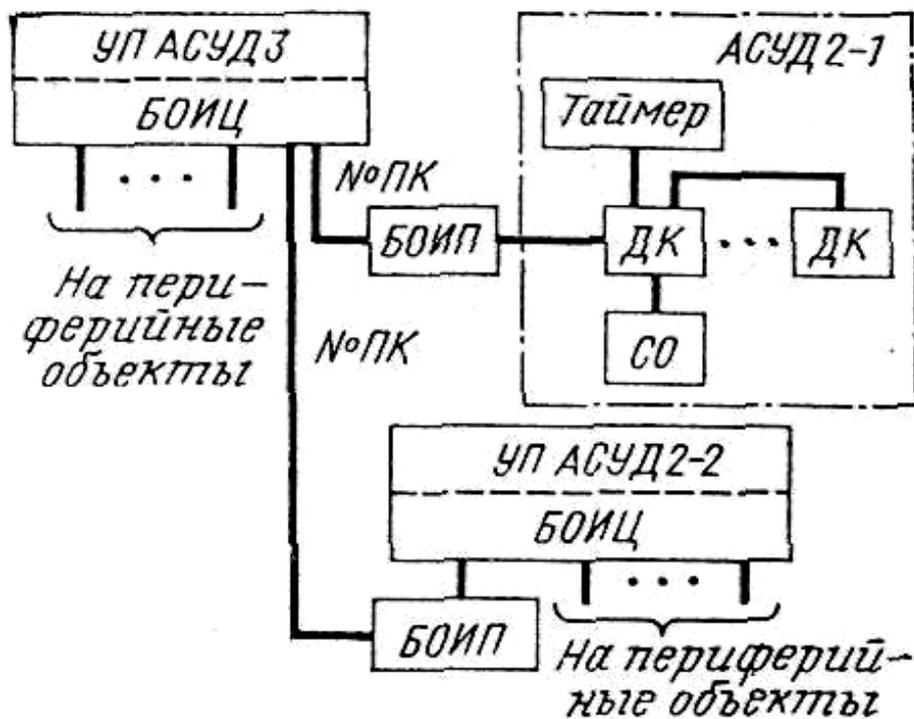


Рисунок 4.7 – Схема объединения АСУД различного уровня в системе АССУД

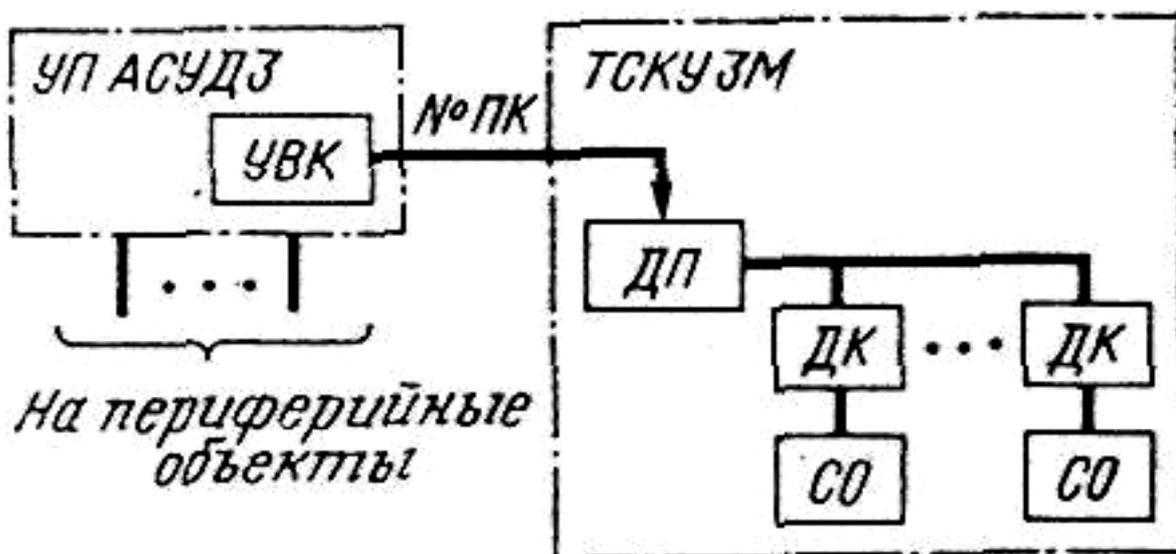


Рисунок 4.8 – Схема объединения систем ГОРОД – М1 с ТСКУЗМ

4.5 Предварительный выбор типа АСУД.

Для предварительного выбора типа системы целесообразно воспользоваться зависимостью, устанавливающей связь между количеством населения X_1 (млн. чел.), количеством зарегистрированных транспортных средств X_2 (тыс. приведенных единиц), суточной интенсивностью на основных въездах в город X_3 (тыс. приведенных единиц), структурой дорожной сети города и типом АСУД. Зависимость была получена при многофакторном анализе статистического материала по 50 городам стран СНГ.

$$Z = [0,45 + 0,35 \arctg 80(X_3 - 0,04)] \times \left[12 + 43X_1^{1,3} \cdot e^{(6,5 \cdot 10^{-3} X_2 + \rho X_3)} \cdot (1 - 0,11X_1^2)^2 \right] + \frac{1}{10^3 X_1}, \quad (1)$$

где ρ - коэффициент, учитывающий структуру городской сети; для прямоугольной структуры городской сети рекомендуется принять $\rho=0,015$, для линейной - $\rho=0,01$, для радиальной - $\rho=0,005$, для свободной - $\rho=0,0025$.

Если в результате проведенного расчета значение $Z \leq 2$ то необходимо принять тип АСУД 1, если $2 < Z \leq 3.5$ то - АСУД 2-1, если $3,5 < Z \leq 6.5$ то - АСУД 2-2, если $Z > 6.5$ то необходимо выбрать тип АСУД 3.

Для более объективного выбора необходимо принимать X_1, X_2, X_3 на год предполагаемого внедрения АСУД, т. е. прогнозировать их значение с учетом ежегодного прироста:

$$X_1(t) = X_1(0) \cdot (1 + \alpha)^t;$$

$$X_2(t) = X_2(0) \cdot (1 + \beta)^t;$$

$$X_3(t) = X_3(0) \cdot (1 + \gamma)^t,$$

где α - доля ежегодного прироста количества населения;

β - доля ежегодного прироста количества транспортных средств;

γ - доля ежегодного прироста интенсивности на основных въездах в город.

Желательно значения α, β, γ оценивать для каждого города индивидуально с целью получения более точного прогноза по сравнению с использованием средних по стране: $\alpha = 0,03$; $\beta = 0,06$; $\gamma = 0,015$.

Выбор типа системы по соотношению (1) следует считать предварительным. Окончательное определение типа производится на основе расчетов ожидаемого экономического эффекта.

ЛЕКЦИЯ №5

Тема: "Технические средства АСУД."

5.1 Классификация технических средств. (см. лекцию 4)

Комплекс технических средств для построения АСУД имеет значительное многообразие по функциональным возможностям и по назначению. В классификацию технических средств по функциональным возможностям входят следующие группы [5]:

- периферийные технические средства (дорожные контроллеры, детекторы транспорта, контроллер зонального центра);
- устройства центрального управляющего пункта (контроллер районного центра, дисплейный пульт оперативного управления, табло коллективного пользования);
- контрольно-проверочная аппаратура (имитатор центра, инженерный пульт).

5.2 Назначение и классификация дорожных контролеров.

Дорожные контроллеры предназначены для переключения сигналов светофоров и символов управляемых дорожных знаков, а также для сигнализации о выполнении команд, поступающих из центра управления, о исправности самого контроллера, а также могут выступать в роли командного устройства для группы других контроллеров при объединении нескольких перекрестков в единую систему управления.

Контроллеры делятся на локальные и системные. Локальные контроллеры управляют светофорной сигнализацией только с учетом условий движения на данном перекрестке. Обмен информацией с контроллерами других перекрестков и управляющим пунктом не предусмотрен.

К локальным относятся следующие типы ДК.

1. Контроллеры жесткого управления с фиксированными длительностями фаз или разрешающих сигналов по отдельным направлениям перекрестка. Светофорные сигналы переключаются по одной или нескольким заранее заданным временным программам. Такие контроллеры предназначены для управления дорожным движением на перекрестках с мало изменяющейся в течение дня интенсивностью движения.

2. Вызывные устройства, которые обеспечивают переключение светофорных сигналов по вызову пешеходами или транспортными средствами, прибывающими с прилегающих к магистрали улиц. Эти контроллеры предназначены для управления эпизодическим движением пешеходов или транспортных средств по пересекающим магистраль направлениям. Длительности разрешающих сигналов для пешеходов и указанных транспортных средств, как и в предыдущем случае, фиксированы. В последнее время вызывные устройства отдельно не выпускают. Вызов фазы по запросу пешеходов

обеспечивают контроллеры всех типов.

3. Контроллеры адаптивного управления, обеспечивающие непостоянную длительность фаз (разрешающих сигналов).

Они предназначены для управления движением на перекрестках, где интенсивность движения часто изменяется в течение суток. Длительность сигналов так же, как и всего цикла регулирования, меняется в заранее заданных пределах от минимального до максимального значения.

Системные контроллеры переключают сигналы светофоров по командам управляющего пункта или какого-либо контроллера, включенного в систему и выполняющего роль координатора.

К ним относятся следующие типы.

1. Программные контроллеры жесткого управления.

Они управляют движением по одной из нескольких заранее заданных временных программ, заложенных в контроллерах. Все входящие в систему дорожные контроллеры подключены к магистральному каналу связи. Программа и момент ее включения выбираются по команде одного из контроллеров или управляющего пункта.

2. Контроллеры непосредственного подчинения жесткого и адаптивного управления.

Каждый из них имеет отдельный канал связи с УП. Момент включения и длительность сигналов зависят от команд, поступающих из УП по указанным каналам связи. В свою очередь каждый контроллер по этим же каналам информирует УП о режиме функционирования и исправности своего оборудования. Контроллеры адаптивного управления имеют возможность коррекции управляющих воздействий УП. Каждый такой контроллер имеет только одну заложенную в него программу, выполняющую роль резервной. Она реализуется при нарушении связи с УП, когда контроллер временно переходит на локальный режим управления.

3. Контроллеры для переключения символов управляемых дорожных знаков (УЗП) и указателей рекомендуемой скорости (УСК).

Такие контроллеры, как правило, применяют в рамках АСУД, поэтому относятся к классу системных.

Помимо этой классификации, все ДК, находящиеся в эксплуатации, можно разделить на две группы: контроллеры, обеспечивающие только пофазное управление (длительности разрешающих сигналов для всех направлений данной фазы одинаковы); контроллеры, имеющие возможность обеспечивать, помимо пофазного, управление по отдельным направлениям перекрестка. Последние получают наибольшее распространение, так как увеличивают гибкость, а следовательно, и эффективность управления,

По конструктивному признаку ДК могут быть выполнены на базе электромеханических, электронно-релейных или полностью электронных схем. Последние изготавливают на дискретных элементах (потенциально-импульсные схемы) или на интегральных микросхемах.

При неисправности аппаратуры центра или канала связи БСТМ переводит контроллер на локальный (аварийный) режим работы. При этом вводится в действие РПУ, осуществляющее переключение светофорной сигнализации по жесткой временной программе. Здесь возможен также и переход на автономный режим с применением гибких алгоритмов, реализуемых блоком БГА. Контроллер может работать в режиме желтой мигающей сигнализации при введении в действие блока БЖМ, а также в режиме ручного управления, осуществляемого с пульта ПРУ.

Для повышения уровня безопасности движения на перекрестках в контроллере имеется блок контроля исправности ламп красных светофорных сигналов (БККС). При выявлении перегоревшей красной лампы БККС переводит контроллер на режим желтого мигающего сигнала. От контроллера в центр через БСТМ передается обратная контрольная информация, обеспечивающая полную расшифровку всех фактических режимов работы контроллера и выявление соответствий этих режимов отдаваемым из центра командам.

5.3 Назначение и классификация детекторов транспорта.

К периферийному оборудованию относятся детекторы транспорта, представляющие собой источник информации о параметрах транспортных потоков на дорожной сети, управляемой системой.

Любой детектор включает в себя чувствительный элемент (ЧЭ), усилитель-преобразователь и выходное устройство (ВУ) (см рисунок 5.2).

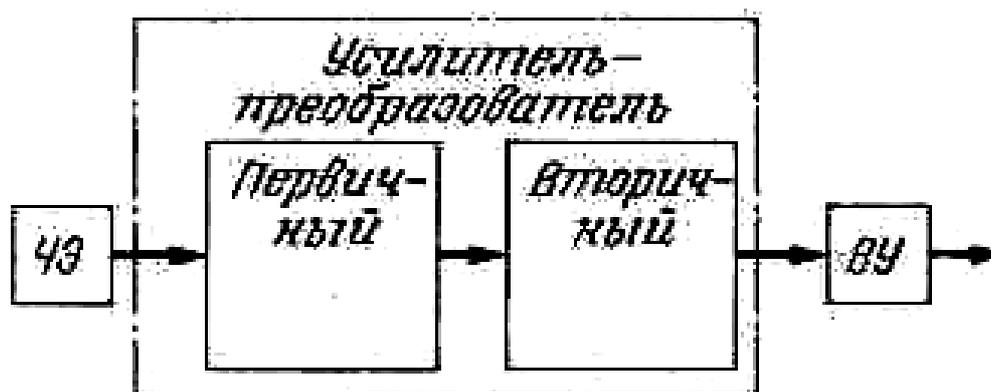


Рис. 5.2 Общая структурная схема ДТ.

Чувствительный элемент непосредственно воспринимает факт прохождения или присутствия транспортного средства в контролируемой детектором зоне в виде изменения какой-либо физической характеристики и вырабатывает первичный сигнал.

Усилитель-преобразователь усиливает, обрабатывает и преобразовывает первичные сигналы к виду, удобному для регистрации измеряемого параметра

транспортного потока. Он может состоять из двух узлов: первичного и вторичного преобразователей. Первичный преобразователь усиливает и преобразует первичный сигнал к виду, удобному для дальнейшей обработки. Вторичный преобразователь обрабатывает сигналы для определения измеряемых параметров потока, представления их в той или иной физической форме. В отдельных детекторах вторичный преобразователь может отсутствовать или совмещаться с первичным в едином функциональном узле.

Выходное устройство предназначено для хранения и передачи по специально выделенным каналам связи в УП или контроллер сформированной детектором транспорта информации.

Детекторы транспорта можно классифицировать *по назначению, принципу действия чувствительного элемента и специализации* (измеряемому ими параметру)

По назначению детекторы делятся на проходные и присутствия.

Проходные детекторы выдают нормированные по длительности сигналы при появлении транспортного средства в контролируемой детектором зоне. Параметры сигнала не зависят от времени нахождения в этой зоне транспортного средства. Таким образом, этот тип детекторов фиксирует только факт появления автомобиля, что необходимо для реализации алгоритма поиска разрыва в потоке. В силу этого проходные детекторы нашли наибольшее распространение.

Детекторы присутствия выдают сигналы в течение всего времени нахождения транспортного средства в зоне, контролируемой детектором. Эти типы детекторов по сравнению с проходными применяются реже, так как они предназначены в основном для обнаружения предзаторовых и заторовых состояний потока, определения длины очередей, транспортных задержек.

По принципу действия чувствительные элементы детекторов транспорта можно разделить на три группы: контактного типа, излучения, измерения параметров электромагнитных систем.

Чувствительные элементы контактного типа бывают электромеханические, пневмо- и пьезоэлектрические. Их объединяет то, что сигнал о появлении автомобиля возникает от непосредственного его соприкосновения с ЧЭ (в электромеханическом — с электрическим контактором, в пневматическом — со шлангом, в пьезоэлектрическом — с пьезоэлементом).

Электромеханический ЧЭ состоит из двух стальных полос, завулканизированных герметически резиной. Его устанавливают перпендикулярно к направлению движения транспортных средств на уровне дорожного покрытия. При наезде колес автомобиля на ЧЭ контакты замыкаются и формируется электрический импульс.

Пневмоэлектрический ЧЭ представляет собой резиновую трубку, заключенную в стальной лоток. Лоток состоит из секций, эластично соединенных между собой, что позволяет устанавливать ЧЭ поперек проезжей части в соответствии с профилем дороги. Один конец резиновой трубки заглушен, а другой связан с пневмореле. При наезде автомобиля на трубку давление воздуха в ней повышается, действуя на мембрану пневмореле и замыкая его электрические контакты. Стальной лоток устанавливают в бетонном основании таким образом,

чтобы усилия от колес автомобиля воспринимались лотком и окружающим его бетоном. Это гарантирует определенный зазор между стенками трубки в момент сжатия, что позволяет в случае остановки автомобиля на трубке детектора не перекрывать ее полностью и таким образом регистрировать другие проходящие автомобили.

Пьезоэлектрический ЧЭ представляет собой полимерную пленку, обладающую способностью поляризовать на поверхности электрический заряд при механической деформации. Для предохранения от механических повреждений пленку оборачивают резиновой лентой, а ленту, в свою очередь, латунной сеткой, являющейся одновременно электростатическим экраном. Чувствительный элемент крепят на поверхности дорожного покрытия металлическими скобами.

Чувствительные элементы контактного типа сравнительно просты по конструкции и монтажу. Однако им присущ общий недостаток—счет числа осей, а не числа автомобилей. Для устранения этого недостатка в схеме детектора необходимо применять специальный временной селектор. Кроме этого, их работоспособность зависит от климатических условий (обледенение дорожного покрытия, снежные заносы и т. п.). Поэтому такие детекторы транспорта не получили широкого распространения.

К ЧЭ излучения можно отнести фотоэлектрические, радарные, ультразвуковые.

Фотоэлектрический ЧЭ включает в себя источник светового луча и приемник с фотоэлементом. При прерывании луча транспортным средством изменяется освещенность фотоэлемента, что вызывает изменение его электрических параметров. Луч света должен быть направлен поперек проезжей части. Поэтому излучатель и фотоприемник располагают по разные стороны дороги напротив друг друга. Они могут размещаться и в одном корпусе. В этом случае луч света отражается от установленного на противоположной стороне дороги зеркала. В качестве источников излучения могут применяться лампы накаливания, источники инфракрасного излучения и т. п.

Недостатком фотоэлектрических ЧЭ является погрешность измерений, возникающая при многорядном интенсивном движении автомобилей, а также на их работу оказывают большое влияние пыль, грязь, дождь, снег. Вместе с тем благодаря сравнительно простой установке чувствительных элементов фотоэлектрические детекторы нашли применение для научно-исследовательских целей при кратковременных обследованиях дорожного движения.

Радарный ЧЭ представляет собой направленную антенну, устанавливаемую сбоку от проезжей части или над ней. Излучение направляется вдоль дороги и, отражаясь от движущегося автомобиля, принимается антенной. Радарный детектор не только фиксирует факт проезда автомобилем контролируемой зоны, но и его скорость по разности частот колебаний излученной и отраженной радиоволн (эффект Доплера).

Ультразвуковой ЧЭ представляет собой приемоизлучатель импульсного направленного луча. Он выполнен в виде параболического рефлектора с помещенным внутри пьезоэлектрическим преобразователем, генерирующим

ультразвуковые импульсы. Приемоизлучатель устанавливают над проезжей частью на высоте 7—10 м. В работе этого детектора используется принцип отражения ультразвуковых импульсов от поверхности проходящего автомобиля. Автомобиль регистрируется при обнаружении разницы в интервалах времени от момента посылки до приема импульсов, отраженных от автомобиля или дорожного покрытия. Недостатками ультразвуковых ЧЭ являются его чувствительность к акустическим и механическим помехам и необходимость жесткого фиксирования в пространстве для того, чтобы приемоизлучатель противостоял действию ветровой нагрузки.

К ЧЭ измерения параметров электромагнитных систем можно отнести магнитные и индуктивные ЧЭ.

Магнитный ЧЭ состоит из катушки с магнитным сердечником. Катушку помещают в трубу для защиты от повреждений и закладывают под дорожное покрытие на глубину 15—30 см. Автомобиль регистрируется благодаря искажению магнитного поля в момент его прохождения над ЧЭ. Недостатками этого детектора являются низкая помехоустойчивость и чувствительность. Транспортные средства, движущиеся с малыми скоростями (менее 10 км/ч), он не регистрирует.

Индуктивный ЧЭ представляет собой рамку, состоящую из одного-двух витков изолированного и защищенного от механических воздействий провода. Рамку закладывают под дорожное покрытие на глубину 5—8 см. При прохождении над рамкой автомобиля, обладающего металлической массой, ее индуктивность изменяется и автомобиль регистрируется.

Специализация детектора зависит от параметра транспортного потока, для определения которого он предназначен (интенсивность, плотность, состав, скорость и т. д.). Принципы построения детекторов основаны на методах прямого и косвенного определения этих параметров.

Прямыми методами определяют момент прохождения автомобилем контролируемой зоны и время присутствия автомобиля в этой зоне. Остальные параметры определяют косвенно через эти показатели.

5.3.1. Принципы установки детекторов транспорта.

Детекторы интенсивности. На основании статистики по изменению интенсивности транспортных потоков в течение суток производится выбор мест размещения детекторов интенсивности.

Детекторы интенсивности следует устанавливать при соблюдении следующих условий:

- на входных перекрестках магистралей;
- на перекрестках, удаленных от других (смежных) на расстояние не более 800 м, что позволяет корректировать планы координации, уменьшая задержки ТС на перекрестках;
- на перекрестках со значительными изменениями интенсивности движения в течение суток, когда требуется перераспределение длительности фаз, при интенсивности более 300 авт./ч на полосу;

- на перекрестках с интенсивностью более 1500 авт./ч в сечении дороги, требующих введения вызывных фаз по второстепенным направлениям, когда пересекающая магистраль имеет интенсивность менее 120 авт./ч на полосу.

В случае, когда пересекающая магистраль имеет малую интенсивность движения транспортных потоков, не совмещена с пешеходным движением, требующим ежециклично фазу, детектор не устанавливается (интенсивность пешеходов – более 500 – 600 чел./ч).

Основным требованием для вышеперечисленных условий является:

$$t_{\min i} < t_i, \quad (2.1)$$

где $t_{\min i}$ – минимальная длительность i -й фазы; t_i – фактическая длительность i -й фазы (по расчету).

Причем для перекрестков с 2-фазной организацией движения данное условие должно выполняться для обеих фаз, а для перекрестков с организацией движения, имеющей более двух фаз, данное условие должно выполняться не менее чем для двух фаз.

Если ни одно из условий не выполняется, то размещение детекторов экономически нецелесообразно.

Детекторы скорости. Детекторы скорости устанавливаются на перегонах перед перекрестками, на которых:

- скорость не зависит от маневров ТС;
- отсутствуют помехи (остановки общественного транспорта, остановки на обочине);
- длина от места установки чувствительного элемента (ЧЭ) до перекрестка не менее 200 м.

Один детектор устанавливается на магистрали из 10 – 12 перекрестков. Чувствительные элементы устанавливаются на левую или среднюю полосу в прямом и обратном направлениях на перегоне длительностью не более 400 м.

Детекторы состава потока. Детекторы состава потока применяются для сбора статистических данных по составу потока в районе управления.

С помощью этих данных определяются интенсивности движения в приведенных единицах, корректируются планы координации. Детекторы состава потока устанавливаются на наиболее загруженных перегонах, отличающихся значительными изменениями состава потока. Точки их установки (если в системе предусмотрен сбор статистических данных по составу потока) определяются по результатам предварительного обследования.

Заторовые детекторы. Заторовые детекторы устанавливаются перед перекрестками, на которых возможно возникновение очереди ТС, которая не разгружается за цикл и распространяется до соседнего перекрестка, перекрывая на нем движение в поперечном направлении. Необходимость установки детекторов определяется на основании анализа вероятности возникновения затора.

ЧЭ следует устанавливать на левую полосу, во избежание непредвиденных ситуаций. Расстояние L от стоп-линии до места размещения ЧЭ следует

рассчитывать по формуле

$$L = l \cdot g / t, \quad (2.2)$$

где g – длительность зеленого сигнала на перекрестке, с; l – средний динамический габарит ТС, м; t – среднее время разгрузки для одной полосы движения, принимается равным 2,5 с.

5.3.2 Правила размещения чувствительных элементов.

Размещение по типу чувствительных элементов. Наиболее широкое распространение на практике получили пассивные инфракрасные чувствительные элементы (ИК ЧЭ).

Установка ИК ЧЭ не требует вскрытия дорожного полотна, они устанавливаются фиксированно над поверхностью дороги.

Размещение по полосам. При размещении ЧЭ необходимо учитывать следующие правила:

- ЧЭ для измерения интенсивности располагаются только на одной полосе;
- если направление движения имеет две полосы, то ЧЭ следует располагать на левой полосе;
- если направление движения имеет три полосы, то ЧЭ следует располагать на средней полосе;
- ЧЭ можно располагать на нескольких полосах с учетом направлений, более чем по одному в фазе, если в этом есть необходимость;
- в каждой фазе следует устанавливать только один ЧЭ на направлении, где в течение суток наблюдается наибольшая интенсивность;
- если наибольшая интенсивность в различные периоды суток наблюдается на различных направлениях, то следует ставить ЧЭ на каждом из этих направлений.

Расстояния от места укладки ЧЭ до стоп-линии для различных ситуаций приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

t_{\min} , с	Интенсивность, авт./ч на полосу		
	до 120	120 - 300	более 300
До 8	20	30	40
8 - 15	30	40	50
Более 15	40	50	60

5.3.3. Режимы работы детектора транспорта.

Детекторы транспорта в системах, реализующих алгоритм поиска разрывов. Для реализации алгоритма поиска разрывов с постоянными уставками управления используются проходные детекторы, размещаемые на каждом входном направлении.

Выбор величины временного разрыва $T_{эк}$ обусловлен некоторыми особенностями. Ее значение ограничивается снизу максимально возможным интервалом ТС в потоке насыщения. Примечательно, что слишком малый временной разрыв может привести к преждевременному выключению зеленого сигнала. Нижний предел обычно принимается равным 3 с. На выбор верхнего предела влияют несколько факторов:

- слишком большое значение заставляет устанавливать ЧЭ далеко от стоп-линии, поэтому рекомендуется выбрать интервал из табл. 2.3;
- при большой скорости подхода к перекрестку применение алгоритма поиска разрывов с постоянными уставками неэффективно (алгоритм эффективен при скорости до 48 км/ч).

Таблица 2.3

% лег. ТС	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
$T_{эк}$, с	6	5,5	5	4,5	4

Детекторы транспорта в системах, реализующих алгоритм управления движением по запросу. Алгоритм предусматривает включение зеленой фазы при наличии запроса и применяется для пропуска отдельных ТС через загруженную магистраль. В детекторах вызывного действия ЧЭ устанавливается только на второстепенных дорогах. При интенсивном движении по главной магистрали остановка ТС на второстепенном направлении во внимание не принимается.

При выборе расстояния от ЧЭ до стоп-линии перекрестка необходимо учитывать следующее: при $t_{min}=8$ с расстояние от ЧЭ до стоп-линии – не менее 20 м. Причем с увеличением t_{min} соответственно увеличивается и расстояние от стоп-линии до ЧЭ, так как водители, подъезжающие по второстепенному направлению на зеленый сигнал, не останавливаются, если желтый сигнал застал их перед стоп-линией.

ЛЕКЦИЯ №6

Тема: "Алгоритмы работы АСУД."

6.1 Классификация алгоритмов.

Набор взаимно увязанных алгоритмов управления движением образует алгоритмическое обеспечение системы, составляющее часть математического обеспечения АСУД, поскольку каждый из алгоритмов управления является основой соответствующей технологической программы.

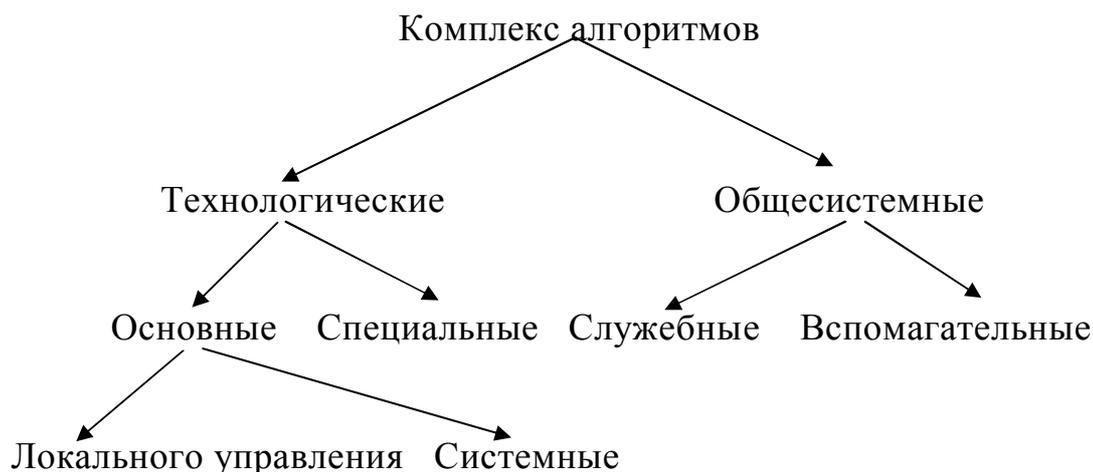
Используются два способа технической реализации алгоритмов: с помощью специальных управляющих устройств—контроллеров (см. гл. 2) и с помощью программ работы управляющей вычислительной машины.

Весь комплекс алгоритмов функционирования можно разделить на следующие группы:

1) основные технологические, обеспечивающие обработку информации о транспортных потоках и принятие решений по управлению дорожным движением в контурах локального и координированного управления;

2) специальные технологические, реализующие управление в контурах диспетчерского, ручного, автоматического управления светофорной сигнализацией в режиме «зеленая улица», а также в условиях заторов;

3) служебные и вспомогательные, необходимые для взаимодействия технических и программных средств АСУД в процессе ее функционирования.



6.2. Основные технологические алгоритмы

В состав данной группы входят алгоритмы локального и системного управлений. Алгоритмы локального управления реализуются на нижних

уровнях системы и предназначены для управления движением в зоне перекрестка. Алгоритмы системного управления обеспечивают координированное управление движением на группе перекрестков.

В настоящее время распространены следующие локальные алгоритмы:

- жесткопрограммное переключение фаз;
- управление по поиску разрывов в транспортном потоке — местное гибкое регулирование (МГР);
- управление по вызову.

6.2.1 Алгоритм жесткого однопрограммного управления.

При жестко программном переключении длительность основных и промежуточных тактов фиксирована.

Данный алгоритм является наиболее распространенным в практике управления дорожным движением, и до сих пор большинство перекрестков оборудованы техническими средствами, использующими этот алгоритм. Прежде чем пояснить сущность данного алгоритма, введем ряд определений, которые будут использованы также и в дальнейшем изложении.

Тактом регулирования назовем такое состояние светофорной сигнализации, при котором определенным направлениям движения предоставлено право проезда через перекресток, а конфликтующим с ними направлениям проезд через перекресток запрещен.

*Различают основные и промежуточные такты. Во время основного такта на направлениях, пропускаемых через перекресток, включены зеленые сигналы светофоров, а на «запрещенных» — красные, В промежуточном такте заканчивается движение, разрешенное в основном, для чего на светофорах зеленые сигналы сменяются желтыми. Совокупность основного и промежуточного тактов называется фазой регулирования. Самая короткая последовательность фаз образует светофорный цикл регулирования (в дальнейшем — цикл, фаза). Назовем величины (цикл, фаза, такт) **управляющими уставками алгоритмов.***

Сущность алгоритма жесткого однопрограммного управления заключается в назначении постоянных величин управляющих уставок (длительности цикла, фазы, такта) для регулируемого перекрестка при всех условиях его работы. Как правило, управляющие уставки выбирают для самых тяжелых условий движения—часа пик (вопросы оптимизации величин уставок и их расчета приведены в параграфе 1.6 данной книги).

Недостатки данного алгоритма очевидны:

- не обеспечивает возможности изменения режимов регулирования при относительно медленном изменении интенсивности движения;
- величины управляющих уставок приводят к неоправданным задержкам транспорта.

6.2.2 Алгоритм поиска разрывов в транспортных потоках.

Разрывом в транспортном потоке будем называть появление временного интервала определенной длительности между моментами проезда любым из автомобилей в потоке заданного сечения дороги и моментом проезда этого же сечения следующим за ним автомобилем.

Рассмотрим сущность алгоритма поиска разрывов. На расстоянии 20—50 м от стоп-линии расположим детекторы транспорта в сечениях $A—A$ и $B—B$ (рис. 1.9, а).

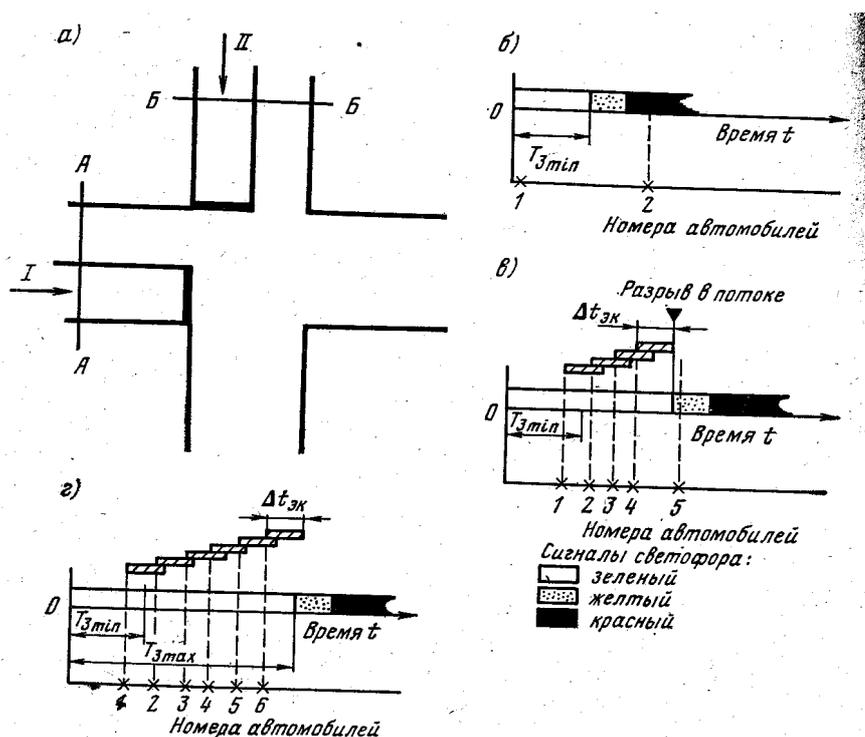


Рис. 1.9. Пример реализации алгоритма поиска разрывов в транспортных потоках:

а — план перекрестка; б — смена фаз после истечения $T_{3\min}$; в — смена фаз при появлении разрыва в потоке $\Delta t > \Delta t_{\text{эк}}$ (в интервале между $T_{3\min}$ и $T_{3\max}$); г — смена фаз после истечения $T_{3\max}$;

1, 2, 3, 4, ... — номера прибытия автомобилей в сечении дороги, оборудованном детекторами

Предположим, что в определенный момент времени на направлении I включен основной такт — зеленый сигнал светофора, длительность которого по условиям безопасности движения не может быть меньше, чем величина $T_{3\min}$ (обычно принимаемая не меньшей 7 с) (рис. 1.9, б). Каждый автомобиль, подъезжающий к перекрестку в момент пересечения линии $A—A$, продлевает себе длительность основного такта на интервал времени $\Delta t_{\text{эк}}$ (экипажный интервал), равный среднему времени проезда автомобиля от сечения $A—A$ до стоп-линии (рис. 1.9, в). Если в момент окончания очередного интервала $\Delta t_{\text{эк}}$ в сечении $A—A$ нет следующего автомобиля, то в потоке появится разрыв, по длительности превышающий величину экипажного интервала. В этот момент для данного направления следует выключить зеленый сигнал. Таким образом, сущность метода поиска разрывов заключается в определении момента времени, когда

между стоп-линией и сечением $A—A$ не окажется ни одного автомобиля. Именно в этот момент для данного направления движения выключается зеленый сигнал.

Алгоритм предполагает также, что если автомобили непрерывно пересекают сечение $A—A$ с интервалами, меньшими $\Delta t_{\text{эк}}$, то для пропуска потока в конфликтующем направлении через перекресток необходимо ограничить длительность основного такта определенной максимальной величиной $T_{3 \text{ max}}$ (рис. 1.9, з).

Очевидно, что длительность любого основного такта t_{oi} лежит в следующих пределах:

$$T_{3 \text{ min}} \leq t_{oi} \leq T_{3 \text{ max}}$$

Популярна в реализации модификация МГР с пропуском фаз. В этом случае фаза включается только при наличии автомобиля на закрытом направлении. В противном случае фаза в цикле не участвует. Данная модификация эффективна, но требует реализации всех возможных основных и промежуточных тактов.

6.2.3 Алгоритм управления по вызову.

При управлении по вызову длительность зеленого сигнала по основной улице неограничена. Выключение его происходит при поступлении заявки от пешехода (нажата кнопка на ТВП) или от автомобиля (поступил сигнал от ДТ) и при выполнении любого из следующих условий:

- окончилось $t_{3 \text{ min}}$ на основной улице и в потоке по основной магистрали появился разрыв больше $t_{\text{эк}}$;
- окончилось $t_{3 \text{ max}}$, отсчитываемое с момента поступления заявки;
- в программе координации, действующей на перекрестке, начался временной интервал, предусмотренный для пропуска пешеходов или автомобилей по заявке.

6.2.4 Прочие локальные алгоритмы.

6.2.4.1 Алгоритмы группы «интенсивность — плотность транспортного потока».

Этот набор алгоритмов локального управления получил достаточно широкое распространение за рубежом, особенно в США.

При использовании алгоритмов этой группы длительности основных тактов изменяются не только в функции от разрывов в транспортных потоках, но и по более сложным зависимостям, требующим запоминания и использования информации об интенсивности движения, длине очереди и времени задержки автомобилей. Сущность одного из характерных алгоритмов этой группы сводится к следующему:

1. Минимальная длительность фазы $T_{3 \text{ min}}$ не является постоянной, а

является функцией от n_k - значения длины очереди на направлении, на котором включается зеленый сигнал в момент выключения красного сигнала.

Каждый автомобиль в очереди сверх первых десяти добавляет к величине $T_{3 \min}$ одну секунду.

2. Величина экипажного интервала может быть уменьшена в зависимости от длительности задержки или числа автомобилей на конфликтующем направлении.

3. Величина экипажного интервала уменьшается в зависимости от плотности потока в разрешенном направлении, измеряемой в функции от числа проездов автомобилями заданного сечения дороги за каждые 10 с основного такта.

4. Появление группы автомобилей у красного сигнала светофоров (определяется по числу проездов заданного сечения дороги за каждые 10 с) уменьшает время ожидания в зависимости от размеров группы. Кроме того, в «память» алгоритма принудительно вводится «ложное» количество автомобилей, ожидающих у красного сигнала основного направления, что приводит к сокращению времени ожидания.

5. Максимальная длительность фазы определяется в соответствии со значением длины очереди в конфликтующем направлении.

Указанные выше функциональные зависимости подбираются эмпирически.

6.2.4.2 Алгоритм выравнивания степени насыщения фаз регулирования.

Данный алгоритм предполагает такое изменение их длительности внутри заданной величины цикла, при которой значения x_i степени насыщения всех фаз регулирования становятся приблизительно одинаковыми.

Степень насыщения фазы регулирования в теории транспортных потоков определяется следующим образом:

$$x_i = \frac{q_i C}{S_i g_i},$$

где C —длительность цикла регулирования;

i —номер фазы;

q_i —интенсивность движения в разрешенном направлении данной фазы;

S_i — величина потока насыщения в данной фазе;

g_i —эффективная длительность фазы, т. е. часть фазы, в течение которой происходит пересечение стоп-линий.

Под потоком насыщения понимают гипотетическую величину, определяющую максимальную пропускную способность фазы и представляющую собой интенсивность движения в сечении стоп-линий при разъезде бесконечно длинной очереди.

6.2.4.3 Алгоритм разъезда очереди

Данный алгоритм по своей природе является эмпирическим и близким к алгоритму работы опытного регулировщика.

Длительность фазы определяется как время, необходимое для разъезда очереди, ожидавшей права проезда через перекресток у красных сигналов светофоров.

Очередь определяется как максимальное количество ожидающих автомобилей в любой из полос движения, обслуживаемой данной фазой.

6.3 Системные алгоритмы.

Основу стратегии и тактики управления дорожным движением составляет известный и широко применяемый на практике принцип координированного управления, которые реализуются в контурах жесткого и гибкого координированного управления.

6.3.1 Алгоритм жесткого координированного управления

Данный алгоритм включает в себя следующие операции:

- 1) сравнение текущего времени с заданным; выбор из памяти программы координации, соответствующей времени суток;
- 2) формирование управляющих воздействий на светофорную сигнализацию в соответствии с выбранной программой координации (каждые 15-20 минут).

Изменение интенсивности движения на городских магистралях имеет характер нестационарного случайного процесса (см. параграф 1.2), в котором можно выделить неслучайную составляющую— изменение среднего значения. Этот процесс имеет обычно ярко выраженный пикообразный характер с утренним и вечерним часами пик. Задача координированного управления в этом случае при выбранных границах района и маршрутах координации состоит в нахождении «квазистационарных» участков на кривой изменения интенсивности движения и подготовке программы координации для этих участков. Практика показала, что продолжительность такого состояния обычно бывает 15—20 мин. Таким образом имеется возможность каждые 15—20 мин использовать соответствующую данным условиям движения программу.

При смене программ координации могут возникать следующие опасные ситуации в работе светофорной сигнализации:

- 1) длительность зеленого сигнала меньше $t_{3\text{мин}}$;
- 2) длительность зеленого сигнала больше $t_{3\text{мах}}$;
- 3) нарушение предусмотренного порядка чередования фаз, что в дорожных контроллерах, ограниченных по количеству реализуемых

промежуточных тактов, может привести к запрещенной последовательности сигналов: зеленый—желтый—зеленый или красный—желтый—красный.

Первая ситуация обычно блокируется в дорожном контроллере, где запрещены любые переключения до истечения $t_{\text{змин}}$.

Для исключения второй и третьей ситуаций В-АСУД2 необходимо точно рассчитывать моменты смены программы координации с учетом номера и времени действующей на перекрестке фазы. В АСУД3 эта необходимость исчезает, так как при смене программы координации включается так называемый алгоритм переходного периода, обеспечивающий плавную подстройку новой программы к действовавшему ранее режиму работы светофорной сигнализации.

6.3.2 Алгоритмы гибкого координированного управления.

Данные алгоритмы управления включают в себя следующие операции:

- 1) измерение параметров транспортного потока (интенсивности движения и скорости) в характерных сечениях дорожной сети;
- 2) накопление и усреднение информации по измеренным параметрам в течение интервала усреднения;

Сущность: Интенсивность движения определяется детекторами транспорта установлением факта прохождения автомобиля через контролируемое сечение улицы. В результате ежесекундного опроса информация поступает в УВК, где накапливается по каждому контролируемому сечению отдельно. После окончания цикла усреднения для сечений улиц, где движение контролируется индуктивными рамками, перекрывающими две или три полосы движения, осуществляется коррекция накопленной информации. Коррекция учитывает тот факт, что два (или три) автомобиля, появившиеся в контролируемом сечении в одну секунду, будут учтены как один. Поэтому накопленная информация занижена по сравнению с реальной интенсивностью.

Поэтому накопленные параметры увеличивают путем введения коэффициентов коррекции, которые зависят от структуры транспортного потока, его интенсивности, расстояния контролируемого сечения от предыдущего перекрестка и могут колебаться в пределах 1,1 — 1,3 для двухполосного и 1,5—1,8 для трехполосного движения.

Скорость движения определяется временем прохождения t_6 автомобилем базового расстояния l_6 , определенного двумя контролируемыми сечениями дороги. Измеренная величина t_6 в результате циклического опроса поступает в УВК, где осуществляется подсчет средней временной скорости за интервал усреднения:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n l_6 / t_6}{\mu}$$

где μ - число зафиксированных автомобилей за интервал усреднения;

Интервал усреднения интенсивности и скорости движения определяется динамикой изменения транспортных потоков. В часы пик интервал усреднения целесообразно уменьшать до 10—20 мин. В межпиковые часы величина его может быть увеличена до 40—60 мин.

3) прогнозирование транспортной ситуации на следующий период усреднения;

Эта операция позволяет выбирать программу на следующий период исходя из оценки текущих параметров движения.

Основной смысл операции – выдать предполагаемое текущее значение на следующий интервал удлинения и получить обобщенную картограмму реальной транспортной ситуации.

4) получение обобщенной картограммы реальной или спрогнозированной транспортной ситуации;

5) выбор контрольной картограммы транспортной ситуации, наиболее близкой реальной или спрогнозированной из имеющихся (15-20) в памяти машины;

Это производится из множества (15—20) картограмм, хранящихся в памяти УВК, по критерию близости. Выбирается картограмма j для которой значение:

$$R_j = \sum_{i=1}^m (x_{ijk} - x_{ijp})^2 * a_i$$

где x_{ijk} , x_{ijp} — соответственно контрольные (в j -и картограмме) и текущие значения параметров в i -м сечении;

a_i — коэффициент важности сечения;

m — общее количество контролируемых сечений.

6) выбор базовой программы координации, рассчитанной заранее для контрольной картограммы;

Так как для каждой контрольной картограммы заранее рассчитана базовая программа координации, то выбор ее не представляет особой трудности. В базовой программе координации содержатся значения цикла, временных сдвигов и длительности основных тактов.

7) общая коррекция базовой программы координации;

Смысл общей коррекции заключается в подстройке базовой программы координации под реальную транспортную ситуацию, которая отличается от контрольной интенсивностью и скоростью движения транспорта.

Таким образом, Пропорциональным увеличением всех параметров базовой программы координации — цикла временных сдвигов, основных тактов — можно без изменения основных геометрических свойств программы координации обеспечить ее соответствие реальной транспортной ситуации (сжать или растянуть базовую программу координации).

8) формирование управляющих воздействий на дорожные контроллеры;

9) местная коррекция программ координации.

Местная гибкая коррекция осуществляется дорожными контроллерами по

алгоритму поиска разрывов в транспортном потоке. Введение данной операции обеспечивает гарантированный пропуск основной группы автомобилей и в то же время позволяет пропускать через перекресток автомобили, отставшие или появившиеся на перегоне после поворота.

6.4 Специальные общесистемные технологические алгоритмы.

В состав данной группы входят следующие алгоритмы:

- 1) ручного управления светофорной сигнализацией;*
- 2) диспетчерского управления светофорной сигнализацией на отдельном перекрестке;*
- 3) включения «зеленых улиц»;*
- 4) изменения направления транспортных потоков при заторах с помощью управляемых дорожных знаков;*
- 5) информирования водителей о рекомендуемой скорости движения автомобилей.*

Ручное управление светофорной сигнализацией на перекрестке. Оно применяется в экстренных ситуациях при проезде специальных автомобилей, при заторах, ликвидации последствий ДТП и т.д. Существуют два варианта ручного управления.

Первый, применяемый преимущественно в зарубежных дорожных контроллерах, заключается в остановке цикла в точке, соответствующей необходимой комбинации светофорных сигналов.

Второй, более гибкий, используется в отечественной технике и заключается в вызове инспектором ГАИ необходимой фазы со специального выносного пульта управления.

Диспетчерское управление светофорной сигнализацией. Отличается от ручного только тем, что команды на переключение фаз формируются в управляющем пункте оператором и передаются дистанционно на дорожные контроллеры.

Включение «зеленых улиц». Осуществляется в трех вариантах:

первый — включение «зеленой улицы» постовым, который посылает с выносного пульта управления сигнал в управляющий пункт, где скоммутированные соответствующим образом цепи или программа в УВК обеспечивают безостановочное прохождение участка «зеленой улицы» специальным автомобилем путем формирования команд на включение фаз в дорожных контроллерах;

второй — сигнал посылается диспетчером управляющего пункта с пульта управления, установленного в управляющем пункте;

третий - автоматическое включение «зеленых улиц» со специального автомобиля, имеющего в своем составе передвижной комплект аппаратуры приоритетного пропуска, который посылает сигнал о прохождении контролируемого сечения в управляющий пункт. Управляющий пункт включает «зеленую улицу» на участке. Сигнал включения «зеленой улицы» необходимо

подавать на перекресток заранее, чтобы к подходу специального автомобиля успел включиться зеленый сигнал даже тогда, когда, в момент поступления сигнала на перекрестке обрабатывается конфликтная фаза.

Изменение направления транспортных потоков. Данная операция распадается на две:

первая — обнаружение предзаторовых и заторовых ситуаций;

вторая — включение соответствующих позиций управляемых знаков для обхода транспортом заторных участков.

Первая операция основана на определении среднего времени присутствия автомобилей t_{np} в контролируемых сечениях, располагаемых в зоне перекрестков, где высока вероятность затора.

Сама операция обнаружения затора основана на проверке соотношения:

$$C \leq \sum_{i=1}^r \tau_{np} / r$$

где τ_{np} — суммарное время присутствия автомобилей в течение цикла, приведенное в одной полосе;

r — количество контролируемых циклов (3—5);

C - константа.

При равенстве идентифицируется предзаторовое состояние, при устойчивом превышении — заторовое. Перед началом второй операции - - переключением позиций управляемых дорожных знаков -- делается попытка рассосать затор увеличением цикла до максимально возможного и выделением максимального зеленого для заторного направления. Если попытка неудачна, то на предыдущем перекрестке включается позиция управляемого дорожного знака, ответвляющая поток (часть потока) на объездные пути.

Информирование водителей о рекомендуемой скорости движения. Оно производится с помощью указателей скорости: водителям сообщается скорость, соответствующая действующей программе координации.

6.5 Служебные алгоритмы.

Служебные алгоритмы обеспечивают взаимодействие технических средств АСУД. Наличие нескольких контуров управления в системах выявляет ряд специфических особенностей служебных алгоритмов.

Одна из особенностей - необходимость учета приоритетности команд, поступающих на дорожные контроллеры от нескольких независимых источников, причем не исключено их одновременное формирование. *Например, в процессе функционирования контура автоматического управления диспетчер, не выключив его, может формировать команду на переключение фаз, противоречащую команде, предусмотренной программой координации. Не исключен также вариант посылки противоречащих команд от диспетчера и с выносного пульта управления от постового. Поэтому в АСУД большинства*

типов заложена система приоритетов, позволяющая при одновременном приходе команд выбрать один приоритетный источник.

В системе приоритетов предусмотрено следующее распределение источников по важности отношения к светофорному объекту на перекрестке:

1) инспектор ГАИ, включающий фазу на перекрестке или режимы «желтое мигание», отключить светофоры;

2) инспектор ГАИ, включающий «зеленую улицу» с соседнего; перекрестка;

3) диспетчер, включающий фазу или режимы «желтое мигание», отключить светофоры;

4) диспетчер, включающий «зеленую улицу»;

5) автоматическое включение «зеленой улицы»;

6) резервное жесткое координированное управление;

7) гибкое координированное управление;

8) местное гибкое управление;

9) местное жесткое управление.

Естественно, что в тех системах, где отсутствует источник команд, происходит соответствующая сдвигка приоритетов.

Переход на источник команд с нижним приоритетом производится от высшего обычно мгновенно, кроме перехода на местное гибкое регулирование. Он производится обычно с задержкой на 3—4 с, что позволяет исключить случайный сбой в линии связи управляющего пункта с периферийным оборудованием.

Исходя из перечисленных выше команд можно выделить следующие режимы функционирования светофорных объектов:

1) *ручное управление;*

2) *«зеленая улица»;*

3) *«желтое мигание»;*

4) *отключение светофорных объектов;*

5) *жесткое координированное управление;*

6) *гибкое координированное управление;*

7) *местное гибкое управление;*

8) *местное жесткое управление транспортными средствами.*

Все служебные алгоритмы делятся на 6 групп:

1) взаимодействие с исполнительными органами;

2) получение первичной информации о параметрах транспортных потоков;

3) обмен информацией между техническими средствами;

4) взаимодействие с диспетчерским персоналом;

5) обработка информации в процессе реализации технологических алгоритмов;

6) внутреннее функционирование технических средств.

ЛЕКЦИЯ №7

Тема: "Типовые элементы управления движением на автомобильных дорогах."

Основу оптимального управления движением транспортных потоков на автомобильных дорогах составляет преобразование в управляющей подсистеме информации о системе «дорожные условия – транспортные потоки».

Используя диалектический подход к решению данной задачи, можно найти его на пути "от частного к общему". Так, вся сеть автомобильных дорог и отдельная дорога могут быть разделены на типовые элементы управления движением при фиксации состояния системы «дорожные условия - транспортные потоки» на сети и отдельной дороге в какой-то момент времени. Число этих элементов будет зависеть от развития сети и появления новых мест, требующих управления движением. Можно утверждать, что существует только увеличение или уменьшение числа типовых элементов управления, а появление новых видов исключено.

Классификация типовых элементов управления движением, проведенная на автомобильных дорогах, положена в основу разработки принципов управления на автомобильной дороге:

1) крупные пересечения и примыкания в разных уровнях, на которых возможно изменение траектории движения основного потока (т.е. управление изменением объема движения по основному направлению при распределении интенсивности движения и регулировании въезда на основную дорогу);

2) крупные пересечения и примыкания в одном уровне, на которых возможно изменение траекторий движения основного потока (т.е. управление изменением объема движения при распределении интенсивности движения и регулировании, въезда на основную дорогу и ее пересечение);

3) перегоны между крупными пересечениями, на которых возможно регулирование скоростей и интенсивности движения, в том числе и по погодным условиям;

4) перегоны в анселенных пунктах, на которых возможно регулирование въезда на основную дорогу и скоростей движения, а также пешеходного движения с помощью светофора;

5) перекрестки, на которых возможен только въезд и съезд с основной дороги (т.е. регулирование въезда по вливанию в поток на основной дороге и скоростей движения);

6) пересечение с железной дорогой в одном уровне, на котором возможно управление проезда с помощью светофорной сигнализации;

7) стоянки транспорта, на которых возможно управление выездом автомобилей на основную дорогу;

8) места отдыха и видовые площадки, на которых возможно управление выездом автомобилей на основную дорогу;

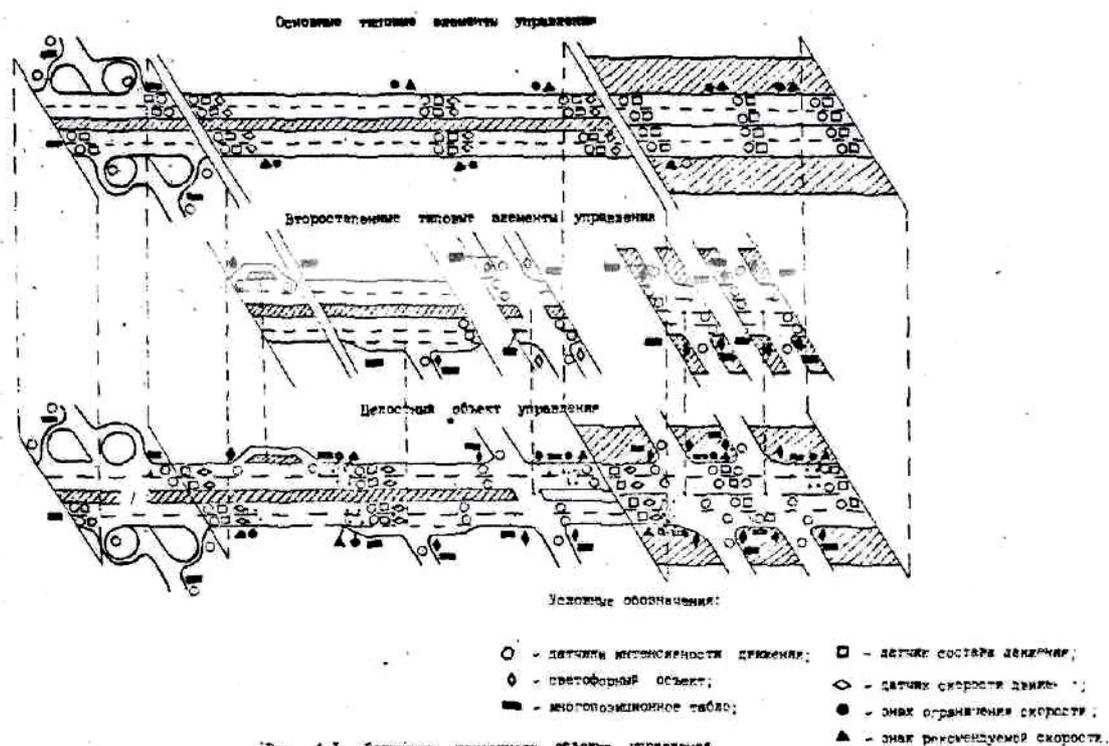
9) места интенсивного пешеходного движения, на которых возможно регулирование перехода основной дороги в одном уровне с помощью специальной светофорной сигнализации.

Приведенная классификация позволяет сформулировать способы управления на каждом элементе.

7.1 Проектирование подсистемы информационного обеспечения и подсистемы информационного отображения на автомобильных дорогах.

Для осуществление управления движением на автомобильной дороге последняя может быть расчленена на типовые элементы управления, из которых можно выделить две группы: основные и второстепенные.

К первой группе относятся пересечения и примыкания в разных уровнях; крупные пересечения и примыкания в одном уровне; перегоны в населенных пунктах, на которых возможно регулирование скоростей и объемов движения; ко второй группе - элементы, входящие полностью или частично в пределы основных типовых элементов: перекрестки, на которых возможен въезд или съезд с основной магистрали; пересечения с железной дорогой в одном уровне, стоянки транспорта, места отдыха и видовые площадки, на которых возможно управление въездом и выездом автомобилей; места интенсивного пешеходного движения, на которых возможно регулирование взаимодействия пешеходного и транспортного потоков. Такое разделение возможно в силу функциональных особенностей этих элементов, т.е. первые позволяют осуществлять стратегию управления в целом, а вторые работают в зависимости от условий работы основных элементов. Типизация элементов управления движением и приведенная классификация позволяют осуществлять автоматизацию проектирования подсистемы сбора информации об условиях движения, а также автоматизацию проектирования подсистемы отображения информации на дороге, т.е. управляющих воздействий. Следовательно, вся автомобильная дорога представляется в виде набора основных типовых элементов, следующих один за другим в определенном порядке, на которые налагаются второстепенные типовые элементы, входящие в границы первых на основе потребности в них в тех или иных местах дороги (рис. 4.1).



Типовые элементы различаются по присвоенным им кодам. Для примыканий код может быть положительным, если второстепенная дорога примыкает справа относительно положительного направления движения, и отрицательным, если второстепенная дорога примыкает слева. Положительное направление движения совпадает с положительным направлением оси ОХ действительных чисел.

Для крупных пересечений в разных уровнях присваивается - код 1, для крупных пересечения в одном уровне - код 2, для крупных примыканий в разных уровнях - код ± 3 , для крупных примыканий в одном уровне - код ± 4 ; для перегонов в населенных пунктах - код 5 α , для перегонов между крупными пересечениями - код 6 β , где α и β - натуральные числа, выражающие отличие перегонов количеством полос проезжей части, наличием или отсутствием разделительной полосы, разрывной или непрерывной разметкой. При этом рассматриваются перегоны с максимальным числом полос проезжей части в одном направлении 5 и с минимальным - 1.

Второстепенным типовым элементам присвоены коды: пересечения - от 23, 1 до 24, 4; примыкания - от $\pm 25,0$ до $\pm 26,3$ (они могут быть и положительными и отрицательными в зависимости от того, с какой стороны подходят к дороге); пересечение с железной дорогой - 36,1; стоянки, видовые площадки, площадки отдыха, расположенные с двух сторон дороги, - от 37,1 до 37,5; стоянки, видовые площадки, «лошадки отдыха, расположенные с одной стороны дороги, - от $\pm 38,1$ до $\pm 30,5$ (знак выражает расположение данного элемента относительно положительного направления дороги); пешеходные переходы - 39,0.

Таким образом, типизация элементов управления движением и приведенная классификация позволяют автоматизировать проектирование подсистемы сбора информации об условиях движения, а также подсистемы отображения

информации на дороге.

Для представления автомобильной дороги в виде последовательного набора основных типовых элементов управления необходимо установить их точные границы, назначаемые в такой последовательности: определяются границы перегонов в населенных пунктах, которые совпадают с их границами, выявляются границы крупных примыканий и пересечений на расстояний ± 800 м от оси пересекающей дороги и, наконец, назначаются границы перегонов между крупными пересечениями, так как они лежат между последними. Если примыкание (пересечение) является началом (концом) дороги, определяется лишь правая (левая) граница. Для второстепенных типовых элементов (пересечение с железной дорогой, стоянки, видовые площадки и площадки для отдыха) границы устанавливаются на расстоянии 200 м влево и вправо от пикетажного положения элемента. Зная границы основных типовых элементов, легко определить длину и середину каждого из них. Если пикетажное положение середины совпадает с пикетажным положением второстепенного элемента, пикетажное положение середины основного элемента сдвигается влево или вправо на 1000 м.

7.2 Расстановка аппаратуры сбора и отображения информации на основных элементах и в местах их стыковки.

На основных типовых элементах управления устанавливаются датчики интенсивности, скорости и состава движения. В частности, на пересечениях и примыканиях на входах на элемент в обоих направлениях устанавливаются датчики интенсивности и состава движения, а также датчики интенсивности на всех направлениях, формирующих транспортные потоки на магистрали (на этих элементах управления ставят локальные системы). На перегонах устанавливаются датчики интенсивности, скорости и состава в начале, середине и конце перегона. На перегонах в населенных пунктах в начале, середине и конца этого элемента устанавливаются те же датчики, что и на перегонах, кроме датчиков скорости движения. Во всех случаях количество датчиков в сечении дороги соответствует числу полос проезжей части.

При этом учитываются места стыковки перегонов и перегонов в населенных пунктах (и наоборот), а также места сужения проезжей части, т.е. места, где изменяется количество полос проезжей части. В первом случае устанавливаются датчики, относящиеся к перегонам (интенсивности, состава, скорости движения), а датчики, относящиеся к перегонам в населенных пунктах (интенсивности и состава движения), в местах стыковки не устанавливаются. Если дорога сужается (или расширяется), то изменяется число полос и необходимо установить датчики, относящиеся к данному элементу, в месте изменения полос, а также на расстоянии 500 м от него в количестве, соответствующем числу полос.

В местах стыковки перегонов и пересечений (примыканий) датчики интенсивности и состава движения, относящиеся и к тем, и к другим, устанавливаются в единственном числе, но кратно соответствующему числу полос проезжей части.

Одновременно с расстановкой аппаратуры сбора информации устанавли-

ливаются аппаратура отображения управляющих воздействий. Так, на пересечениях и примыканиях устанавливаются многопозиционные табло на всех направлениях, участвующих в формировании транспортных потоков на магистрали и по направлению маршрута движения, а на перегонах многопозиционные знаки рекомендуемой скорости движения и ограничения скорости движения на каждой полосе проезжей части в направлении движения, а также в середине перегона на всех полосах. В случае изменения количества полос на перегоне следует добавлять ту же пару знаков в середине перегона на полосах, где происходит движение, в обоих направлениях. Такие же правила расстановки аппаратуры, отображающей информацию, относятся и к перегонам в населенных пунктах.

7.3. Расстановка аппаратуры сбора и отображения информации на второстепенных типовых элементах.

На второстепенных типовых элементах устанавливаются датчики интенсивности движения на примыканиях и пересечениях - по всем полосам движения на основной дороге; на пересекающихся дорогах - по одному на въезде на основную дорогу; на стоянках, площадках отдыха и видовых площадках - на въезде и выезде с них; на пешеходных переходах и пересечениях с главной дорогой - по одному на крайних полосах движения. Если переходный переход совпадает по пикетажному положению с каким-либо другим второстепенным элементом, например с пересечением, датчики, относящиеся к переходу, не устанавливаются, так как компенсируются датчиками пересечения.

На основной дороге располагают многопозиционные табло в тех же местах и в том же количестве, что и датчики интенсивности, т.е. на каждой полосе проезжей части в направлении движения. Исключение составляют участки дороги, на которых в одном направлении расположены одна или две полосы движения. На них устанавливают по одному многопозиционному табло в каждом направлении, а на пересекающихся дорогах - по одному многопозиционному табло на въезде на основную дорогу. Кроме того, на второстепенных типовых элементах устанавливают светофоры на пересекающей и основной дорогах в обоих направлениях, если разметка проезжей части на перекрестке разрывная и на второстепенной дороге, если она непрерывная. Таким образом, каждый типовой элемент (как основной, так и второстепенный) имеет стандартный набор вполне определенных датчиков и аппаратуры отображающей информации.

Однако транспортный поток, движущийся по дороге, в качестве объекта управления несет в себе еще и такую дополнительную информацию, как превышение установленных ограничений скорости движения, возникновение дорожно-транспортных происшествий, уровень шума и загазованности воздушного бассейна. На выбор тех или иных управляющих воздействий влияют такие факторы: мокрое покрытие, гололедица, недостаточная видимость. В результате в этих местах необходимо расставить средства сбора информации и средства отображения управляющих воздействий.

В пределах участков, на которых осуществляют контроль скорости движения и выявления ДТП, устанавливают датчики скорости и обнаружения ДТП на расстоянии 1000 м один от другого.

На перегонах в населенных пунктах устанавливают датчики шума и загазованности: если нет перекрестков - по одному датчику шума и загазованности посередине перегона; если есть пересечения с магистральными улицами - по одному датчику шума и загазованности, а на участках между пересечениями - один датчик шума.

На перегонах по всей длине на расстоянии 5000 м один от другого, а также в начале и конце специфических участков дороги (районы леса, пониженные участки) устанавливают датчики недостаточной метеорологической видимости и выявления гололедицы. Для отображения полученной информации в местах установки датчиков предусматривают многопозиционные табло, которые по одному устанавливают на входе на участок в обоих направлениях.

7.4 Определение энтропии информации.

Основными критериями определения типа и емкости канала связи между периферийным оборудованием и центром управления, а также размеров счетных устройств в центре управления являются объем информации, которая передается, и время, за которое информация должна быть передана и обработана в центре. При этом возникают некоторые специфические особенности определения информации как по показателям, так и по объему. В связи с тем, что речь идет об информации, которую получают с объекта управления и которая подлежит передаче, будем использовать понятие энтропии, учитывая, что информация, получаемая о дороге, равна энтропии.

Объем энтропии определяют за одно измерение в единицу времени по отдельным видам информации, к которым принадлежит энтропия: интенсивности движения, скорости движения, состава движения, движения на пересечениях и примыканиях, контроля скорости, выявления ДТП, шума, недостаточной видимости, гололедицы, загазованности, исправности технических средств управления, управляющих воздействий.

1. Энтропия интенсивности за одно измерение

$$H'(x) = -P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P)$$

Вероятность появления автомобиля

$$P = \frac{t_{\text{обсл}}}{\bar{t}}$$

где \bar{t} - средний интервал между движущимися автомобилями;

$$\bar{t} = \frac{N}{T}$$

T - период наблюдения;

Время обслуживания автомобиля на линии контроля

$$t_{\text{обсл}} = \frac{(D+1) \cdot 3.6}{\bar{v}}$$

где D – средняя длина автомобиля;

$$D = \sum_{n=1}^m \frac{1}{n} D_n N_n$$

где l - длина линии контроля, м; \bar{v} - средняя скорость движения, км/ч.

Энтропия за единицу времени

$$H(x) = H'(x)N$$

где N - интенсивность движения в одном направлении по одной полосе за единицу времени, автомобиль-ч • полоса;

$$N = \frac{\bar{N}}{10n}$$

где \bar{N} - интенсивность движения в одном направлении; n - число полос проезжей части.

2. Энтропия скорости движения за одно измерение

$$H'_e\left(\frac{y}{x_i}\right) = \log_2\left(\frac{\sqrt{2\pi l - \sigma}}{\Delta v}\right)$$

где σ - среднее квадратичное отклонение;

Δv - класс отклонения.

Энтропия за единицу времени: без учета обгона автомобилей

$$H_e = H'_e \left(\frac{y}{x_i} \right) N$$

с учетом обгона

$$H'_{eo} = H'_e \left(\frac{y}{x_i} \right) \cdot 1.5$$

Соответственно полная энтропия скорости движения за единицу времени с учетом обгонов

$$H_{eo} = H'_{eo} N$$

где N - интенсивность движения в одном направлении по одной полосе за единицу времени, автомобиль-ч* полоса.

3. Энтропия состава движения за одно измерение:

$$H'_e \left(\frac{y}{x_i} \right) = [\eta(P_{1k}) + \eta(P_{2k} + \dots + \eta(P_{nk}))]$$

где P_{1k} - вероятность появления автомобилей данной категории (всего рассматривается пять категорий: легковые, грузовые, автобусы, автопоезда, мотоциклы).

$$P_{1k} = \frac{N_{1k}}{N/10n}$$

N_{1k} - количество автомобилей данной категории за 1 ч;

$$\eta(P_{1k}) = -P_{1k} \log_2 P_{1k}$$

Энтропия за единицу времени (за 1 ч):
без учета обгонов

$$H_c = H'_c \left(\frac{y}{x_i} \right) \frac{\bar{N}}{10n}$$

с учетом обгонов

$$H_{co} = 2H'_{co} \left(\frac{y}{x_i} \right) \frac{\bar{N}}{10n}$$

4. Энтропия движения на примыканиях или пересечениях

$$H_p(x) = -P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P)$$

Расчет выполняют по алгоритму расчета энтропии интенсивности движения с учетом того, что в данном случае

$$\bar{N} = \bar{N}_p$$

где \bar{N}_p - интенсивность движения за 1 ч на подходе к основной дороге. Если на элементе установлена локальная система, $H_p(x)=0$.

Энтропия контроля скорости вычисляется по алгоритму энтропии скорости, а энтропия выявления ДТП - по алгоритму энтропии интенсивности движения.

Из приведенных алгоритмов следует, что для расчета объема энтропии используется исходная информация:

n - число полос проезжей части в одном направлении движения;

D_n - длина автомобиля по категориям;

N_n - количество автомобилей по категориям;

\bar{v} - средняя скорость движения;

\bar{N} - интенсивность движения в одном направлении в сутки;

σ - среднее квадратичное отклонение;

ΔV - класс отклонения;

l - длина линии контроля;

\bar{N}_p - интенсивность движения на подходе к основной дороге в сутки.

ЛЕКЦИЯ №8

Тема: "Методика управления движением в критических ситуациях."

Для разработки стратегии управления транспортными потоками необходимо выбрать методики определения величин управляющих воздействий на транспортный поток, а соответственно и критические величины характеристик погодных условий, транспортных потоков и т.д. Для этого следует определить и описать зависимости управляющего воздействия для ликвидации критической ситуации в конкретных условиях движения, необходимые исходные данные по каждому элементу для принятия решения по разработке величины управляющего воздействия, рассчитать критические характеристики по каждой ситуации и для каждого элемента, а также управляющие воздействия по каждой критической ситуации и каждому элементу.

Критическая ситуация при недостаточной метеорологической видимости. Недостаточная метеорологическая видимость вызывает аварийную ситуацию на дороге за счет несоответствия существующей скорости движения транспортного потока, а следовательно, и пути торможения, допустимым по условиям, безопасности движения. Для ликвидации этой критической ситуации необходимо привести в соответствие скорость движения на дороге ее безопасному значению:

$$V_{без} = \frac{63,5}{K_3} \cdot \left[-\frac{T_{\Sigma}}{3,6} + \sqrt{\left(\frac{T_{\Sigma}}{3,6}\right)^2 + \frac{K_3}{63,5} \left(\frac{19,5}{K} - S\right)} \right],$$

где K_3 – коэффициент эффективности торможения;

J – коэффициент сцепления колес с дорогой;

T_{Σ} – суммарное время распознавания дорожного объекта реакции водителя и срабатывания привода тормозов;

K – коэффициент, характеризующий степень рассеяния света атмосферой, т.е. показатель рассеяния атмосферы (показатель ослабления), m^{-1} ;

S – расстояние между остановившимися автомобилями.

Коэффициент рассеяния определяет безопасную скорость движения транспортного потока, а достижение некоторого его значения определяет наличие на дороге «критической ситуации» по недостаточной метеорологической видимости. При превышении критического значения K необходимо назначить соответствующую скорость движения, решая при этом обратную задачу и выдать на средства отображения информации на дороге скорость ограничения.

Критическая ситуация при наличии влажного покрытия.

Наличие на дороге влажного покрытия сопровождается эффектом

аквапланирования, т.е. потерей сцепления колес с поверхностью дороги и связанной с ним потерей управления транспортными средствами.

Скорость начала глиссирования зависит от шероховатости дорожной одежды и продольного уклона дороги:

$$V_{21} = 10,56 \sqrt{\frac{l + \Delta l}{h, h_{\text{акт}}}},$$

где $l + \Delta l$ – длина смоченной поверхности шин, м;

l – длина зон контакта шины на сухом покрытии;

$h1$ – увеличение толщины водной пленки перед зоной контакта шины покрытия, определяется по экспериментальной зависимости.

Критическая ситуация при наличии гололедицы на дороге. Наличие на дороге гололедицы сопровождается эффектом резкого снижения сцепления шин автомобиля с дорогой, в результате чего усложняется или полностью теряется управление автомобилем.

При возникновении на дороге гололедицы необходимо назначить соответствующую скорость движения исходя из условия безопасности движения в конкретных дорожных условиях, т.е. предписываемая скорость «асовок» должна обеспечивать требуемый путь торможения:

$$S_T = \frac{V_{\text{рек}}}{3,6} + \frac{K V_{\text{рек}}^2}{254 (\varphi \pm i)} + 10,$$

где $V_{\text{рек}}$ – рекомендуемая скорость движения на рассматриваемом участке в нормальных погодных условиях, км/ч;

K – коэффициент эффективности использования тормозов;

φ – коэффициент сцепления;

i – продольный уклон.

Критическая ситуация при наличии интенсивности, близкой к пропускной способности.

Наличие на крайней правой полосе интенсивности движения, близкой к пропускной, способности, обуславливает интервал между автомобилями меньше критического. Влияние автомобиля с въезда или пересечение им основного потока значительно затруднено из-за того, что средний интервал между автомобилями основного потока на крайней правой полосе меньше времени, необходимого на совершение безопасного маневра.

При возникновении указанной «критической ситуации» необходимо предотвратить попытки выезда на магистраль во избежание ДТП. Для этого на дороге с интенсивностью движения, близкой к пропускной способности, закрываются въезды на магистраль.

Согласно проведенным исследованиям критический интервал составляет 4 с (в среднем 9 с). При 50 % обеспеченности такой интервал соответствует интенсивности движения N_k , т.е.

отсюда

$$P(t > t_k) = e^{-(a+bN)t_k},$$

$$N = \left(\frac{L_n P}{t_k} - a \right) \frac{1}{b},$$

где N – интенсивность движения по полосе, автомобиль-ч;

P – вероятность появления интервала менее критического (0,5);

$a = 0,28$;

$b = 0,856$;

t_k – критический интервал, равный 4 с, или 0,0011 ч.

Критическая ситуация при возникновении ДТП. Для управления движением по дороге в месте возникновения ДТП необходимо оградить место происшествия, а подъезжающих водителей информировать о нем.

При возникновении ДТП, а также в период его расследования на дороге часть проезжей части дороги не может быть использована для движения. Поэтому необходимо привести скорость транспортного потока в соответствие со сложившимися условиями движения.

Необходимая скорость движения в месте ДТП зависит от ширины проезжей части, возможной для использования движения, а также от интенсивности движение потока на предшествующем ДТП участке.

Выяснив в процессе сообщения о возникновении ДТП количество полос, возможных для движения и определив интенсивность движения, назначают скорость движения.

Критическая ситуация при проведении дорожно-ремонтных работ. При проведении дорожно-ремонтных работ на проезжей части проезд этого участка со средней скоростью транспортного потока, обеспечивающийся предыдущими дорожными условиями, является опасным, поскольку скорость движения не соответствует новым дорожным условиям в результате сужения проезжей части дороги.

Для снижения опасной критической ситуации необходимо информировать

водителей о дорожно-ремонтных работах (такая информация представляется соответствующим дорожным знаком 1.21 или на многопозиционном дорожном табло). На многопозиционных знаках необходимо также задать ограничение скорости, исходные данные для расчета которой и само значение определяются аналогично описанным. Ограничение вводится, начиная с участка, предшествующего ремонту.

Критическая ситуация при необходимости пропуска колонн или отдельных специальных автомобилей. При необходимости пропуска специальных автомобилей, информация о которых поступает в УО по телефону или по другим каналам связи, следует обеспечить их беспрепятственный пропуск. Для этого на время прохождения специальных автомобилей въезды закрываются, а после их прохождения открываются.

Критическая ситуация при наличии в системе неисправной аппаратуры. Неисправность аппаратуры бывает трех видов: аппаратуры передачи данных (АПД); системы телемеханики; систем управления и контроля.

При неисправности АПД в УО не поступают или поступают неправильные данные о транспортных потоках и погодных условиях, что может привести к принятию неверного решения. При неисправности системы телемеханики данные о транспортных потоках и погодных условиях не поступают в УО и не передаются управляющие воздействия на средства отображения информации.

При неисправности систем управления и контроля или многопозиционных знаков и табло не изменяется информация или устанавливается неправильное значение.

После получения сигнала о неисправности определенного вида аппаратуры УО должен попытаться снять информацию с многопозиционных знаков данного участка и выслать соответствующие бригады ремонтников.

Критическая ситуация нарушения скоростного режима на участках контроля скорости движения. При превышении скорости движения на контролируемых участках может создаваться аварийная обстановка, т.е. будет понижен допустимый уровень безопасности движения. Информация о превышении заданной скорости движения поступает в УО, где вырабатывается решение об информировании водителей о данном нарушении. Нарушением следует считать величину $\square V_{\text{зад}} + \sigma$, в которой $\square V_{\text{зад}}$ - заданное значение скорости движения;

σ – среднее квадратичное отклонение.

Принятое решение передается на средства отображения информации, расположенные на участке контроля, и по системе связи для служб организации движения.

Критическая ситуация превышения уровня загазованности воздушного бассейна.

При превышении уровня загазованности воздушного бассейна, информация о котором поступает в УО, необходимо выработать условие, позволяющее в короткий период ликвидировать сложившуюся ситуацию: принять решение о запрещении остановок и снижении скорости движения на контролируемом участке, а также о снижении количества транспортных средств, поступающих на этот участок. Информация о запрещении остановок и снижении скорости движения передается на средства отображения информации, расположенные на контролируемом участке, а входя на магистраль закрываются на контролируемом участке и на участках, предшествующих контролируемому по ходу движения. Одновременно сообщается информация о причине закрытия входов на магистраль и маршруты следования, параллельные ей.

Критическая ситуация превышения уровня шума в населенных пунктах. При превышении уровня шума, информация о котором поступает в УО, необходимо выработать решение, которое позволяло бы в короткий период ликвидировать сложившуюся ситуацию: принять решение о запрещении остановок транспорта и снижении скорости движения на перегонах в населенном пункте, об ограничении доступа транспортных средств на магистраль в населенном пункте. Данная информация передается аналогично критической ситуации превышения уровня загазованности воздушного бассейна.

Принятые в подсистеме математического обеспечения управляющие воздействия передаются с помощью аппаратуры передачи данных в подсистему отображения информации на дороге. Последняя представляет собой набор специальных технических средств, способных отображать ту или иную информацию, необходимую для того, чтобы водители транспортных средств могли воспринять и выполнить управляющие указания.

В качестве специальных технических средств используется:

- многопозиционные знаки ограничения скоростей движения;
- многопозиционные знаки рекомендуемой скорости движения;
- многопозиционные информационные табло различного целевого назначения;
- информационные табло сигнализации о наличии гололедицы;
- информационные табло о наличии недостаточной видимости;
- информационные табло о наличии превышения скорости движения;
- информационные табло наличия ДТП;
- светофорные объекты.

Вся аппаратура имеет блоки управления и контроля неисправности работы.

ЛЕКЦИЯ №9

Тема: " Внедрение и экономическая эффективность АСУД."

9.1. Основные этапы создания АСУД.

Соответственно объёму и виду работ при создании АСУД могут быть предусмотрены различные стадии проектирования и внедрения. Стадийность также зависит от мощности внедряемой системы. Под понятием «мощность системы» далее следует понимать количество охватываемых перекрёстков.

Стадийность создания АСУД регламентируется документами: «Руководством по проектированию и внедрению АСУД на базе АСС УД» и ГОСТ 24.501 – 82 «Автоматизированные системы управления дорожным движением. Общие технические требования».

В этих документах предусмотрены следующие стадии создания тиражируемых систем:

- 1) обследование объекта;
- 2) разработка проекта структурно-алгоритмической части АСУД;
- 3) проектирование инженерной части системы;
- 4) привязка программного обеспечения;
- 5) строительно-монтажные работы;
- 6) пусконаладочные работы;
- 7) опытная эксплуатация;
- 8) анализ функционирования системы.

Перечисленные стадии рекомендованы для АСУД, охватывающей не менее 25-ти перекрёстков.

9.2. Проектирование систем.

Проектирование системы включает двухразовое обследование объекта автоматизации и разработку проекта.

Обследование объекта. Обследование объекта автоматизации заключается в обследовании дорожно-транспортной сети города и проводится с целью определения района управления, выбора наиболее целесообразного типа системы для данного города, предварительного определения места размещения основного оборудования, расчёта ожидаемых затрат на проектирование и внедрение АСУД и оценки экономического эффекта.

Конечным результатом предпроектных работ являются составление и утверждение задания на проектирование и технико-экономического обоснования на внедрение системы.

Выбор наиболее целесообразного типа системы осуществляется в два этапа. На первом предварительно выбирается уровень системы. На втором определяются район управления, перекрёстки, включаемые в систему, и проводится предварительный расчёт ожидаемого экономического эффекта системы по методике, изложенной ниже, т.е. разрабатывается технико-экономическое обоснование (ТЭО). Если срок окупаемости системы в пределах допустимого (менее трех лет), то внедрять выбранную систему целесообразно. В противном случае необходимо проверить целесообразность внедрения системы более

низкого уровня.

Исходным материалом для составления ТЭО служат результаты предварительного обследования объекта управления: получение данных по геометрии дорожно-транспортной сети, генеральному плану развития транспортной схемы города, схемам организации движения, а также натурное определение параметров транспортных и пешеходных потоков – интенсивностей, скоростей, времени проезда и т.п. Существенным является то, что все данные по объекту управления должны быть согласованы на момент начала проектирования системы.

Одно из условий успешного внедрения АСУД – правильная организация работ на всех этапах её создания. Уже на предпроектной стадии должны быть решены следующие основные вопросы по организации проектирования и строительства системы:

- определены основные исполнители – заказчик, генподрядчик, проектировщик, строительско-монтажные и пусконаладочные организации;
- составлен и утверждён на уровне администрации города план-график проектирования и внедрения системы;
- организована постоянно действующая комиссия, координирующая деятельность организаций, участвующих в создании АСУД;
- выбрано место и определены условия размещения управляющего пункта.

После решения указанных вопросов можно приступать к следующим этапам проектирования.

Разработка проекта. Разработка проекта АСУД обычно проводится в три стадии.

1. Разработка структурно-алгоритмической части системы.

Данная стадия необходима для АСУД и предусматривает выбор структуры системы, определение и расчёт режимов функционирования, уточнение состава оборудования, размещение чувствительных элементов детекторов транспорта, разработку схем соединения устройств, составление должностных инструкций, расчёт количества запасных изделий, разработку требований к инженерной части системы. В зависимости от сложности системы работы на данной стадии могут выполняться в два этапа – технический и рабочий проекты или в один – технорабочий проект. Обязательны для данной стадии разработка и утверждение технического задания на структурно-алгоритмическую часть системы.

2. Проектирование инженерной части системы.

В зависимости от сложности системы проектирование инженерной части также может быть проведено в одну (технорабочий проект) или две стадии (технический и рабочий проекты). Для крупных систем рабочий проект выпускается на очереди строительства, что обеспечивает ускорение процесса внедрения системы. Проект здания для управляющего пункта обычно выполняется отдельно.

Целесообразно в АСУД выделять в первую очередь пункт управления и район из 20 – 30 перекрёстков, а затем производить наращивание мощности системы очередями по 15 – 20 перекрёстков.

Результатом проектирования инженерной части системы являются чертежи на установку оборудования и помещение для управляющего пункта АСУД, чертежи прокладки кабельных трасс, заказные спецификации.

3. Привязка программного обеспечения.

Привязка программного обеспечения (ПО) включает расчёт режимов управления, составление схем коммутации оборудования АСУД в части установок управления, заполнение форм по привязке ПО, отладку ПО для конкретной АСУД.

9.3. Монтаж

Перед строительно-монтажными работами должны быть проделаны операции по приобретению необходимого для внедряемой системы оборудования, комплектующих изделий, а также материалов для изготовления нестандартного оборудования и изготовление этого оборудования.

Строительно-монтажные работы в целях сокращения сроков внедрения системы ведутся по мере выдачи рабочих чертежей. Наладочные работы по ЦУПу и периферийному оборудованию ведутся независимо друг от друга, а по периферийному оборудованию – автономно на каждом перекрёстке. Установка периферийного оборудования и монтаж производится в соответствии с проектной документацией, строительными нормами и правилами СНиП 111-34 – 74 «Системы автомобилизации». Перед монтажом выполняются работы по расконсервации оборудования в строгом соответствии с инструкциями по эксплуатации оборудования. Для проверки и наладки оборудования системы должны быть соответствующие стенды и электромонтажные мастерские.

Электромонтажные работы на перекрёстках проводятся специализированными бригадами, обеспеченными передвижными средствами транспортировки и механизации. В процессе производства монтажных работ осуществляется операционный контроль качества монтажа, заключающийся в проверке соответствия монтажа проектным документам, инструкциям по эксплуатации, строительным нормам и правилам. Выявленные дефекты устраняются до начала последующих операций.

Основные работы по наладке периферийного оборудования заключаются в следующем. В дорожных контроллерах проверяется соответствие привязки проектной документации. Включается контроллер и проверяется порядок переключения фаз в резервной программе, соответствие горящих по направлениям светодиодов текущим фазам, указанным в проектной документации. Настраиваются детекторы транспорта, проверяется работа контроллера в режиме местной гибкой коррекции. Проверяется монтаж силовых кабелей между контроллерами и светофорами, его соответствие проектной документации. Подключаются силовые кабели, включается и проверяется работа перекрёстка в целом.

При первом включении перекрёстка необходимо присутствие инспектора дорожной инспекции. После проверки функционирования оборудования перекрёстка по всем параметрам составляется акт наладки оборудования перекрёстка. Периферийное оборудование проверяется и налаживается при наличии линии связи с ЦУПом.

Некоторые особенности имеют монтаж и наладка вычислительного комплекса (ВК). Перед получением ВК заказчик должен подготовить помещение, отвечающее требованиям на его размещение. Средства ВК, поступающие заказчику, проверяются на исправность, комплектность оборудования и технической документации. Сохранность средств ВК, документации, инструмента и ЗИП обеспечивается заказчиком.

В период монтажа и наладки ВК заказчик не имеет права пользоваться средствами ВК.

По окончании наладки оборудования производится комплексная наладка системы, проверка её работы в различных режимах.

9.4. Эксплуатация систем

Эксплуатация комплекса технических средств и всей системы управления дорожным движением возложена на СМЭП. Для этого в структуре СМЭПа создаётся участок «Эксплуатация АСУД». В рамках этого выделяются следующие подразделения: группа эксплуатации технических средств ЦУПа, группа эксплуатации периферийных устройств, группа эксплуатации средств связи и промышленного телевидения и проверки сигнальных и питающих кабелей и заземлений.

В зависимости от конкретных условий функционирования АСУД – насыщенности города техникой регулирования дорожного движения, наличия в СМЭПе соответствующих специалистов, структуры системы, отсутствия (наличия) промышленного телевидения и т.д. – структура службы АСУД может меняться. Например, в некоторых случаях создаётся самостоятельная группа программного и технологического обеспечения и ведения технической документации и группа оперативного управления системой.

Применение микропроцессоров в аппаратуре управления дорожным движением приводит к необходимости организации ремонтных работ. Решение этой задачи возможно двумя путями. Первый предполагает создание соответствующих подразделений (участков, групп, бригад) непосредственно в составе каждого СМЭПа, включающих в свой состав квалифицированных специалистов по микропроцессорной технике. Второй путь – наиболее целесообразный и перспективный – связан с организацией комплексного централизованного обслуживания микропроцессорных узлов специализированными предприятиями. Основные работы, выполняемые этими предприятиями, включают в себя техническое обслуживание, ремонт, обеспечение запчастями.

Диагностирование и ремонт устройств, в составе которых имеются микропроцессоры, осуществляются в порядке абонентного обслуживания. Ремонт неисправных узлов (блоков) производится или путём замены неисправных на исправные, или путем ремонта неисправных узлов (блоков) на месте эксплуатации либо на участке специализированной организации.

Ремонт (техническое обслуживание) осуществляется по региональному принципу на договорных началах между эксплуатирующей организацией и специализированной организацией, выполняющей комплексное централизованное обслуживание. Техническое обслуживание проводится согласно

эксплуатационной документации и в соответствии с согласованным графиком проведения работ.

Принцип абонентного обслуживания не исключает необходимости обучения работников СМЭПа основным принципам эксплуатации микропроцессорных устройств. В частности, изменение и настройка режимов функционирования, выполняемые корректировкой установок в памяти микропроцессорного узла, производятся работниками СМЭПа самостоятельно с привлечением специального оборудования. Обнаружение неисправности микропроцессорного узла, замена его с предварительным диагностированием нового производится также силами работников СМЭПа. Микропроцессорные контроллеры построены структурно гораздо проще, чем контроллеры АСС-УД. Поэтому и поиск неисправностей в них в принципе несложный. Неисправность микропроцессорного узла обнаруживается автоматически и выводится на соответствующий индикатор, причём дорожный контроллер автоматически переводится в режим жёлтого мигания. Неисправность силовой части также индицируется отдельно по каждому силовому модулю.

Наиболее сложно обнаруживать ошибки, допущенные при привязке программного обеспечения, т.е. при занесении в память установок. Поэтому при эксплуатации микропроцессорных систем в составе обслуживающего персонала должны находиться технологи-программисты, в том числе и в составе бригад, обслуживающих периферийные устройства. Количественно состав бригад не увеличивается. Должности технологов-программистов могут быть введены вместо должностей механиков, так как часть функций механиков передаётся на специализированные предприятия. Большое значение в АСУД-С имеют детекторы транспорта. Метод управления по параметрам ТП, применяемый в данных системах, полностью основан на показаниях детекторов.

Количество задействованных детекторами сечений значительно больше, чем в старых системах. Поэтому при эксплуатации микропроцессорных систем внимание к детекторам транспорта должно быть повышенное и часть эксплуатационного персонала, обслуживающая их, должна быть больше, чем в старых системах.

Таким образом, для поддержания эффективности АСУД на приемлемом уровне необходимо регулярно проводить оценку качества работы системы. Далее эта мера должна служить стимулирующим фактором для обслуживающего персонала.

9.5. Примеры АСУД в некоторых городах

Плановое создание АСУД в городах на базе средств АСС-УД началось в 1980 г. и продолжалось 10 лет. К 1990 г. был разработан комплекс средств АСУД-С с широким использованием ПЭВМ и началась поэтапная замена существующих систем. Большим плюсом оборудования АСУД-С было то, что базовый комплекс ЦУПа позволял расширять системы до 96-ти перекрёстков без реконструкций и дополнения комплекса технических средств.

Ниже приведены примеры эволюции наиболее развитых отечественных систем.

АСУД в г. Екатеринбурге. В 1985 г. в г. Екатеринбурге была приведена в

действие АСУД на базе технических средств АСС-УД. Система включала в свой состав ЦУП с ЭВМ СМ-2М, пульт контроля и управления, 3 управляющих шкафа ШК1 УП, мнемосхему, 12 мониторов телеобзора и диагностическую аппаратуру. Пусковой комплекс охватывал 24 перекрёстка в центральной части города на трёх магистралях. Управление осуществлялось по алгоритму выбора режимов управления по параметрам транспортных потоков с дальнейшей модификацией режимов управления. При ежегодном развитии АСУД на 10 – 15 перекрёстков система к 1994 г. охватывала 137 перекрёстков (при общем количестве в городе 230 перекрёстков).

К 1994 г. в составе АСУД г. Екатеринбурга действовало 170 чувствительных элементов с детекторами транспорта, и расчёт задержки автомобилей у перекрёстков в контролируемых сечениях осуществлялся автоматически с выдачей таблиц. Это позволяло своевременно корректировать режимы управления. Необходимо отметить, что в 1994 г. АСУД г. Екатеринбурга была наиболее развитой и прогрессивной в России. Высокая эффективность системы была обусловлена хорошим взаимодействием персонала СМЭУ, ГИБДД и разработчиков системы.

В 1994 г. началась плановая поэтапная работа по замене комплекса технических средств АСУД. В первую очередь было заменено оборудование ЦУПа. ЭВМ СМ-2М была заменена на две ПЭВМ, пульт контроля и управления заменён на ДПОУ, 9 ШК1УП заменены на 3 ШК3. Таким образом, был осуществлён переход со средств третьего поколения на средства пятого поколения. При этой замене было достигнуто сокращение заменяемых площадей в 4 раза и сокращение обслуживающего персонала в 2 раза. Очень важным фактором была полная преемственность ПО систем различных поколений, что позволило замену выполнить практически без остановок АСУД.

АСУД в г. Красноярске. Система была внедрена в 1985 г. на базе технических средств АСС-УД и охватывала 30 перекрёстков в центральной части города. Система дала очень большой эффект по причине применения сетевой оптимизации режимов управления. Центр города представляет три основных магистрали, расположенных на расстоянии 150 м друг от друга, и шести пересекающихся магистрали. До внедрения системы автомобили вынуждены были останавливаться практически на каждом перекрёстке. После запуска системы количество остановок сократилось на 70%. Эта цифра и ряд других были приведены в отчёте межведомственной комиссии под патронажем ВНИИБД МВД СССР в 1988 г.

При полном развитии к 1994 г. АСУД г. Красноярска охватывала 78 перекрёстков.

Начиная с 2000 г. система переведена на средства АСУД-С, и в настоящее время охватывает 80 перекрёстков с использованием 15-ти детекторов транспорта по интенсивности движения.

АСУД в г. Воронеже. Образование ЦУПА АСУД г. Воронежа на технических средствах АСУД-С было осуществлено в 2003 г. Система охватывала 24 перекрёстка трёх центральных магистралей с 16-ю детекторами транспорта по интенсивности движения и двумя детекторами транспорта по скорости движения.

Запуск системы занял 3 дня. Достоинством АСУД г. Воронежа является её функционирование с выбором режимов управления по интенсивности движения и поправкой программ координации, учитывающей изменения скорости движения.

АСУД в г. Липецке. В г. Липецке создание системы началось с 2003 г. на технических средствах АСУД-С. Ежегодно система развивается на 20 перекрёстков. В настоящее время система охватывает 49 перекрёстков с 20-ю детекторами измерения интенсивности движения.

К достоинствам АСУД г. Липецка следует отнести следующее:

- рациональное разделение района управления на подрайон с подчинением ДК, ЦУПу и подрайон бесцентровой подсистемы, где не требуется диспетчерское управление;
- создание в составе АСУД подсистемы контроля за экологической обстановкой с помощью 10-ти газоанализаторов вдоль транспортных магистралей. Эта подсистема позволяет проводить корректировку режимов управления АСУД в зависимости от уровня загазованности, что при существующих объёмах движения автомобилей весьма актуально;
- обеспечение контроля за перераспределением транспортных потоков на ДТС города с помощью 20-ти детекторов транспорта. Эта мера позволяет более точно рассчитывать режимы управления.

Описание АСУД г. Ижевска. АСУД г. Ижевска относится к классу систем последнего поколения. Система охватывает 36 перекрёстков в центральной части города, расположенных на ул. Удмуртской и ул. Ленина. Весь район управления поделен на 2 подрайона, размещенных на указанных улицах. Дорожные контроллеры, используемые в системе, – из семейства ДКС. Четыре детектора транспорта типа ДТ-ИК размещены по два на каждый подрайон.

Центральный управляющий пункт включает в свой состав КРЦ, ДПОУ на базе ПЭВМ и локальную сеть на базе HUB. Каналами передачи информации между центром управления и периферийными устройствами системы являются выделенные линии в кабелях городской телефонной сети и отдельные линии.

Основным алгоритмом управления системы является выбор ПК по времени суток. Расчет ПК осуществляется заранее на основании статистических данных с детекторов транспорта и натурных обследований. Широко используется режим управления по маршрутам «Зеленая улица». Режим работы АСУД – круглосуточный.

Обобщенная информация о состоянии технических средств в районе управления выводится на карту-схему ДПОУ.

Обслуживание системы организовано таким образом, чтобы два раза в год дополнять библиотеку ПК по результатам анализа эффективности системы.

По расчету технико-экономической эффективности система окупилась за 1,5 года. Основным источником экономии является сокращение транспортных задержек и задержек пассажиров.

9.6 Факторы, определяющие эффективность АСУД.

Технико-экономическую эффективность АСУД определяют следующие основные факторы.

1. Снижение уровня транспортных задержек у перекрестков, обусловленное оптимизацией управления работой светофорной сигнализации, а также перераспределением транспортных потоков в сети с помощью многопозиционных дорожных знаков и указателей.

2. Увеличение средней скорости движения транспортных средств на перегонах за счет уменьшения длин очередей у красных сигналов светофоров и обеспечения минимально возможного числа перерывов в движении.

3. Сокращение числа неоправданных остановок в процессе движения, что приводит к уменьшению износа материальной части транспортных средств, автомобильных шин, снижению расхода горючего, а также способствует замедлению износа дорожных покрытий в зоне перекрестков.

4. Как следствие перечисленных выше факторов сокращение времени проезда по дорожно-уличной сети, находящейся под контролем системы.

5. Повышение уровня безопасности движения, что находит свое выражение в сокращении числа ДТП и уменьшении тяжести их последствий.

6. Снижение уровня транспортного шума и улучшение санитарного состояния воздушного бассейна города.

7. Увеличение эффективности работы городского наземного общественного транспорта, обусловленное сокращением задержек транспортных средств у перекрестков и предоставлением приоритетных условий движения.

8. Автоматический сбор, накопление и обработка статистической информации о параметрах транспортных потоков в дорожно-уличной сети. Наличие в системе разветвленной сети детекторов транспорта и мощного вычислительного комплекса позволяет автоматически накапливать, систематизировать и обрабатывать вышеуказанную информацию в любом заданном интервале времени с использованием ее для планирования перевозок, реконструкции дорожно-уличной сети, разработки мероприятий по улучшению организации движения и решения других плановых и градостроительных задач.

9. Повышение коэффициента технической готовности комплекса средств управления дорожной сигнализацией вследствие централизованного контроля за исправностью всей периферийной аппаратуры, входящей в систему, что дает возможность свести к минимуму время обнаружения отказов и время восстановления отказавших элементов.

Существующие расчетные методы дают возможность на стадии проектирования АСУД количественно определить лишь одну из перечисленных составляющих эффективности — уровень сокращения транспортных задержек. После введения АСУД в эксплуатацию оценка ряда факторов эффективности (позиции 2, 3, 4, 6, 7) производится методами натурных измерений, а степень влияния АСУД на повышение уровня безопасности движения устанавливается на основе анализа статистических данных об аварийности за несколько лет работы системы.

9.7 Окупаемость капиталовложений

При определении окупаемости капиталовложений на создание АСУД в отечественной практике применяется методика, учитывающая экономию, достигаемую от сокращения уровня транспортных задержек и числа ДТП при внедрении АСУД. При этом на стадии разработки проекта системы сокращение задержек определяется расчетным путем, а относительное снижение числа ДТП принимается по аналогии на основании анализа опыта работы действующих АСУД. Поскольку эта методика не учитывает остальных факторов эффективности АСУД, получаемые при ее использовании результаты дают нижнюю границу реальных значений годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ и срока окупаемости капитальных вложений T , определяемых по формулам:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\text{эф}} &= \mathcal{E} - (C + E_n K) \text{ грн,} \\ T &= K / (\mathcal{E} - C) \text{ грн,}\end{aligned}$$

где K — капиталовложения на создание системы, грн;

C — текущие расходы на эксплуатацию системы, грн;

\mathcal{E} — экономия в стоимостном выражении от сокращения транспортных задержек и числа ДТП при внедрении системы, грн;

E_n — нормативный коэффициент экономической эффективности.

Расчет капитальных вложений на создание и внедрение АСУД производится по формуле:

$$K = K_o + K_{\text{см}} + K_n + K_{\text{н}} \text{ грн,}$$

где K_o — затраты на все виды оборудования системы, грн;

$K_{\text{см}}$ — затраты на выполнение строительно-монтажных работ (сооружение здания управляющего центра, установка периферийного оборудования на дорожной сети, прокладка кабельных линий электропитания и связи), грн;

K_n — затраты на выполнение проектных, научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и подготовку математического обеспечения системы, грн;

$K_{\text{н}}$ — затраты на проведение работ по наладке оборудования при вводе системы в эксплуатацию, грн.

Текущие расходы по эксплуатации и обслуживанию АСУД могут быть определены из выражения:

$$C = C_z + C_m + C_a + C_z + C_{\text{ар}} \text{ грн,}$$

где C_z — заработная плата основная и дополнительная с начислениями на социальное страхование эксплуатационного и обслуживающего персонала системы, грн;

C_m — затраты на текущий ремонт и содержание оборудования и соору-

жений системы, включающие стоимость материалов и запасных частей, услуг вспомогательных подразделений и сторонних организаций, грн;

C_a — затраты на амортизацию сооружений и оборудования системы, определяемые на основании их стоимости по установленным нормам амортизационных отчислений, грн;

$C_э$ —затраты на электроэнергию, грн;

$C_{ар}$ —затраты на аренду линий связи городской телефонной сети, грн.

Величина годовой экономии \mathcal{E} , получаемой при внедрении АСУД, определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = (3' - 3'')C_з + k_N N' c_N \text{ грн,}$$

где $3'$ и $3''$ —уровни транспортных задержек на дорожной сети соответственно до и после внедрения АСУД, час;

$C_з$ — стоимость одного часа задержек автомобиля, грн;

N' —число ДТП на дорожной сети до внедрения АСУД;

k_N —коэффициент, учитывающий снижение числа ДТП после внедрения АСУД;

c_N — усредненная стоимость одного ДТП, грн.

Значения $3'$ и $3''$ определяются суммированием задержек по всем перекресткам, входящим в систему. При этом для каждого перекрестка должен быть выполнен расчет, учитывающий конкретные режимы действия светофорной сигнализации в различные сезоны года и периоды суток исходя из используемых с наибольшей вероятностью алгоритмов работы и их уставок.