

УДК 656.021.2:656.021.8

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-8-87-95

М.Г. Шалыгин, С.А. Олисов, М.С. Васина

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И СОЗДАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

Рассмотрена проблема организации транспортного движения на перекрестке в условиях городской среды и вылетных магистралей. Проведен анализ основных направлений исследований в области регулирования светофоров на загруженных перекрестках. В статье приведено решение задачи обеспечения транспортного коридора при подъезде к перекрестку, оснащенного светофором. Приведе-

на разработанная автоматизированная система, позволяющая создать транспортный коридор посредством регулирования горения пропускающего сигнала светофора. Описан принцип действия системы, ее функциональная и логическая схемы.

Ключевые слова: коридор, движение, автоматизация, управление, поток, затор, светофор.

M.G. Shalygin, S.A. Olisov, M.S. Vasina

AUTOMATED TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEM OF TRAFFIC MANAGEMENT AND FORMATION OF TRAFFIC PASSAGES

There is considered a problem of road traffic organization at crossroads under conditions of urban environment and outgoing highways. The urgency of the problem of automated traffic control with the information for vehicle drivers about traffic situation using both navigation systems and warning systems by means of signal transfer to radar-detectors is shown.

The investigation purpose consists in the development of automated self-regulated system of traffic lights control on the basis of vehicle number approaching to the traffic lights and vehicle driver warning about traffic jam approaching for the purpose of its going around.

In the paper there are solved problems regarding traffic capacity of a megapolis traffic system, driver warning about problem road situations and the automation of these processes. On the basis of the theory of automated control there is shown a developed system allowing the formation of a traffic passage by means of driver warning about traffic jam ahead. There are described thoroughly component parts of the system lim-

iting only with the choice of components among prototypes available in the market.

A principle of automated traffic flow control at the crossroads supplied with the traffic lights is shown. There is shown a functional diagram of the interaction of system components for the successful traffic organization. The algorithm of the system automation functioning with its adjustment to certain time intervals of the effect of the enabling traffic light signal at a particular T-shaped or X-shaped intersection is described. The system developed for traffic control at intersections allows relieving considerably city streets. The analysis of the system has shown that traffic lights adaptive control allows decreasing traffic up to 70%. The application of domestic software components decreases system cost by 2-4 times as compared with foreign prototypes which, among other things, do not have the functional offered.

Key words: passage, motion, automation, control, flow, traffic jam, traffic lights.

Введение

В современных малых и больших городах активно развивается дорожная сеть. Это связано, в первую очередь, с ежегодным увеличением личного и служебного автотранспорта населения. В этой связи возникают проблемы движения на загруженных перекрестках, на которые устанавливаются регулирующие светофоры. В больших городах и мегаполисах светофо-

ры установлены на проспектах, шоссе, магистралях. Светофор не всегда справляется с поставленной перед ним задачей. В часы пик или при образовании аварии перед светофорами очень часто образуются заторы. Заторы образуются на перекрестках с одной или двух направлений, тогда как другие направления остаются свободными с малым числом автотранспорта [1]. Этого

можно избежать при автоматическом регулировании времени горения пропускающего сигнала светофора в зависимости от числа транспортных средств на перекрестке. Автотранспортные средства при приближении к затору теряют время, финансовые средства на сжигание топлива автотранспортом, ухудшается экологическая ситуация [2]. Этого можно было бы избежать если участник движения заранее предупрежден о приближении к затору, особенно в тех участках автодороги, где имеется объезд. Таким образом, автоматическое управление сигналом светофора от числа автотранспорта на подъезде к нему и предупреждение водителей о приближении к затору значительно позволит разгрузить дорожную ситуацию в крупных городах и привести к экономии средств водителей автотранспорта и стабилизации экологической ситуации.

Актуальность разработки систем автоматического управления светофором подтверждается анализом интеллектуальных систем автоматического управления сетью светофоров [3, 4]. В работе [5] опи-

Постановка задачи

Разработка автоматизированной саморегулируемой системы системы управления светофором (АССУС) является актуальной задачей при организации дорожного движения, автомобильных пассажирских и грузовых перевозок. Работа такой системы основывается на информации о количестве транспортных средств, приближающихся к перекрестку, получаемая с датчиков.

Концепция управления основана на использовании информации полученной системой о наличии затора перед перекрестком, сообщение о заторе приближающемуся к перекрестку транспорту и в Центр организации дорожного движения, а также регулирования времени горения того или иного сигнала светофора в зависимости от дорожной ситуации.

Части системы устанавливаются на четырех светофорах одного перекрестка. Инфракрасные сенсоры направлены в сторону идущего потока. Транспортные средства, движущиеся в сторону перекрестка,

сана проблема обучения нейронной сети для управления светофором в городских условиях. В данной работе только планируется введение параметра, отвечающего за число машин на каждом направлении движения, как один из вариантов развития системы. Идет поиск динамического управления светофоров с нескольких контроллеров [6]. Предложена система с несколькими контроллерами регулирующая фазы горения разрешающего сигнала светофора. Авторами [7] предложена методика расчетов потоков насыщения позволила осуществлять выбор режимов работы светофоров для различных дорожных ситуаций. Апробирована на модели система согласованного управления транспортными потоками на сложном перекрестке [8]. Приведенные исследования подтверждают актуальность разработки автоматизированной саморегулируемой системы управления светофором, основанной на анализе количества автотранспортных средств на подъезде к перекрестку и информировании водителей автотранспортных средств о наличии затора с целью его объезда.

попадают в поле действия сенсора (рис.1. изображено в виде штрихпунктирной линии). Таким образом, производятся измерения количества автомобилей, подъезжающих и остановившихся на перекрестке в каждом направлении дороге. Получив данные о количестве транспортных средств в каждом направлении происходит синхронизация информации между частями системы. Система анализирует число машин до и после того, как погас зеленый сигнал светофора, определяет наиболее загруженное направление и корректирует цикл горения сигналов светофора.

В случае образования затора на одном из направлений система проводит автоматическое информирование участников движения об осложнении дорожно-транспортной ситуации по ходу движения при помощи генератора передачи сигнала (рис. 1. изображено в виде волн).

Сигнал заблаговременно поступает на радар-детекторы, установленные в транспортных средствах автовладельцев и

в навигационные системы, что позволяет им выбрать путь объезда (на рис.1. Объезд трехсторонний Т-образный перекресток).

Система посредством *GSM* связи передает сигнал, содержащий информацию о загруженности перекрестка в обрабатывающий центр организации дорожного движения.

С учетом того, что значительная часть транспортных средств в Российской Федерации оснащена радар-детекторами (в России использование радара-детектора не запрещено законом), радар-детектор своевременно предупреждает водителя о при-

ближении к опасному участку дороги, где осуществляется контроль скорости движения транспорта. Когда радар-детектор обнаруживает сигнал радара он оповещает водителя с помощью звуковой и визуальной сигнализации. Радар-детекторы способны обнаружить активный радар в городских условиях на расстоянии 1...3 км, а на открытой местности радиус действия прибора способен достигать 5 км.

Водитель, использующий радар-детектор, может успеть заблаговременно свернуть на параллельную дорогу и избежать простоя в заторе.

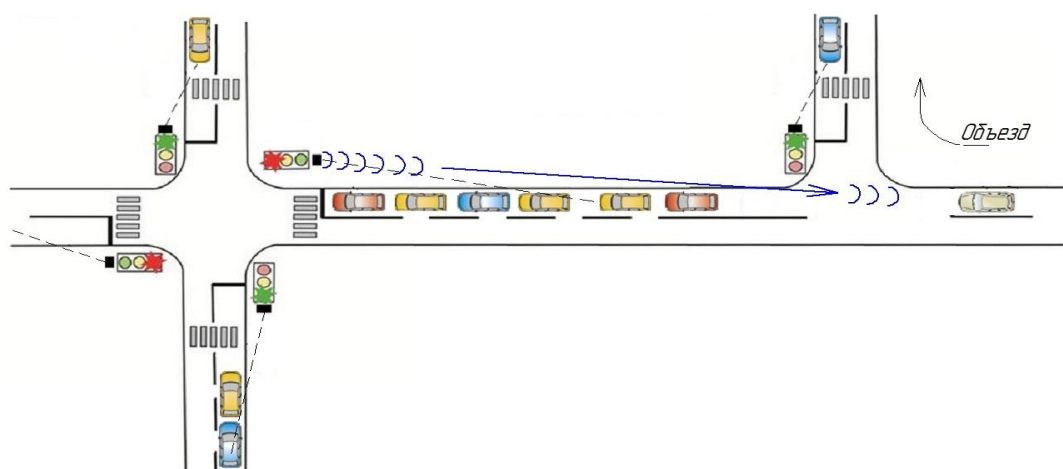


Рис. 1. Принцип работы автоматизированной системы регулирования транспортным потоком на перекрестке

Устройство системы

Функциональная схема АССУС приведена на рис. 2. В качестве элемента, осуществляющего контроль за потоком, могут быть использованы инфракрасные, акустические и другие бесконтактные датчики, осуществляющие изменение выходного напряжения при появлении препятствий на заданном расстоянии. Наиболее целесообразным будет использование датчиков, передающих бинарный сигнал, что значительно упростит подсчет числа машин на перекрестке. Датчик определения числа транспортных средств на подъезде к перекрестку *IS* показан на рис. 2.

Сообщение приближающимся транспортным средствам о приближении к затору на перекрестке наиболее массово в настоящее время можно передать посредством сигнала на радар-детектор. Таким образом, необходимо передать сигнал на

радар-детектор приближающегося транспортного средства, например, с помощью генератора сигнала *HEF* (рис. 2).

Управление приемом и отправкой сигналов на датчик *IS* и генератор *HEF* возможно с помощью микропроцессора (рис. 2). Также процессор будет осуществлять регулирование периода горения того или иного сигнала на светофоре *RYG* (*red, yellow, red*), таким образом снижая число машин на наиболее загруженном перекрестке [9].

На отдельно взятом перекрестке расположены минимум четыре светофора по направлениям движения. Обмен данными и связь между светофорами можно осуществлять посредством *Bluetooth* – беспроводной передачи (рис. 2). Также возможно применение проводного способа обмена данными между светофорами там,

где разрабатываемая автоматизированная система регулирования транспортным потоком на перекрестке будет устанавливаться на существующие светофоры.

АССУС 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.

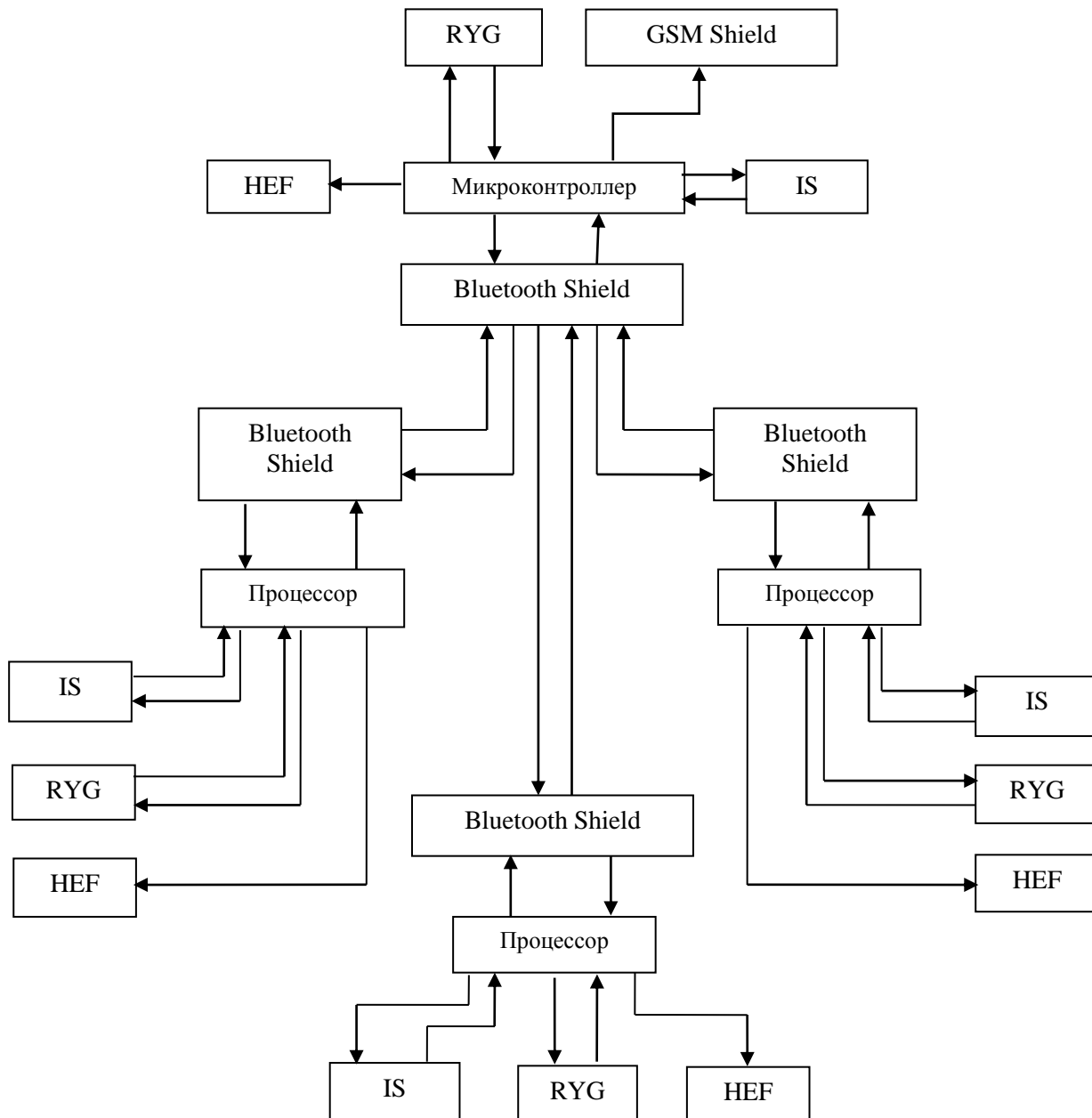


Рис. 2. Схема автоматизированной системы регулирования транспортным потоком на перекрестке

В случае, когда пересекающая магистраль имеет малую интенсивность движения транспортных потоков, не совмещена с пешеходным движением, требующим

ежециклическую фазу, АССУС не устанавливается.

Основными требованиями для вышеперечисленных условий является:

$$t_{\min i} < t_i, \quad (1)$$

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

С целью передачи данных в Центр организации дорожного движения (ЦОДД) в системе предусмотрен модуль передачи

Управление системой

Разработка алгоритма, является одним из основных этапов в процессе разработки программного обеспечения. Реализация управляющего алгоритма на выбранном перекрестке в первую очередь потребует определить стандартное время горения зеленого сигнала светофора. Так, согласно статистических данных на проезд одной машины перекрестка, оснащенного светофором, требуется 1,5 с. и среднее время горения зеленого сигнала в каждом направлении равно 1...2 мин. В связи с тем, что при работе автоматизированной системы управления светофором поток машин на одном из направлений может быть чрезмерно большим, в управляющем алгоритме необходимо ограничить максимально возможное время горения зеленого сигнала. Так, если на одном из направлений набралось большое число машин, а на других направлениях поток является стабильным, при расчете времени горения зеленого сигнала для проблемного направления оно может достичь значительных значений, тогда получится, что на проблемном направлении будет гореть зеленый сигнал (напр. 10 мин.), а на стабильном направлении красный (те же 10 мин.), что создаст дополнительные проблемы пересечения перекрестка. Именно поэтому следует ограничить максимальное время горения зеленого сигнала светофора, а также ограничить минимальное время горения зеленого сигнала светофора, чтобы та же ситуация не повторилась, только в обратном направлении.

Алгоритм работы АССУС на выбранном перекрестке приведен на рис. 3. После задания оператором стандартного, максимального и минимального времени горения зеленого сигнала светофора на каждом из направлений и подключение управляющего микроконтроллера к сети

данных о ситуации на перекрестке посредством GSM связи GSM/GPRS Shield (рис. 2). Данный модуль не требует согласования с оператором сотовой связи и способен посылать сообщения с высокой скоростью.

питания, программа работает как бесконечно повторяющийся цикл.

Так как рассматривается X-образный перекресток, имеющий по две полосы в каждую сторону, принято, что синхронно работают светофоры, расположенные на прямой линии движения (*TimeP1* и *TimeP2*). Время горения зеленого сигнала на линии движения *TimeP1* сравнивается со стандартным временем *TimeSTD*. Пока время горения не достигнет стандартного система определяет число транспортных средств, подъехавших к перекрестку по каждому из направлений *id1...id4*. То же происходит при горении разрешающего сигнала светофора на другой линии движения. Затем система вычисляет общее число транспортных средств, подъехавших к перекрестку по каждому из направлений и определяет время, которое потребуется данному числу транспортных средств, чтобы проехать перекресток *time1...time4*. Если на каком-либо из направлений время *time1* превышает стандартное время горения разрешающего сигнала *TimeSTD*, тогда система какому из направлений потребуется наибольшее время, чтобы транспортные средства с данного направления пересекли перекресток [10].

Выбрав наиболее проблемное направление, система изменяет время горения разрешающего сигнала светофора на линиях движения *TimeP1*. Чтобы избежать ошибки чрезмерно долгого горения разрешающего сигнала на одной из линий движения, система сравнивает полученное значение с максимальным *TimeMAX* и минимальным *TimeMIN* заданным временем горения разрешающего сигнала.

Такой алгоритм работы системы позволяет использовать цикл *for* для управления временем горения разрешающего сигнала светофора, что является очень удоб-

ным с точки зрения изменения времени горения. Макетные испытания системы на

T-образном перекрестке (рис. 4) показали ее эффективность.

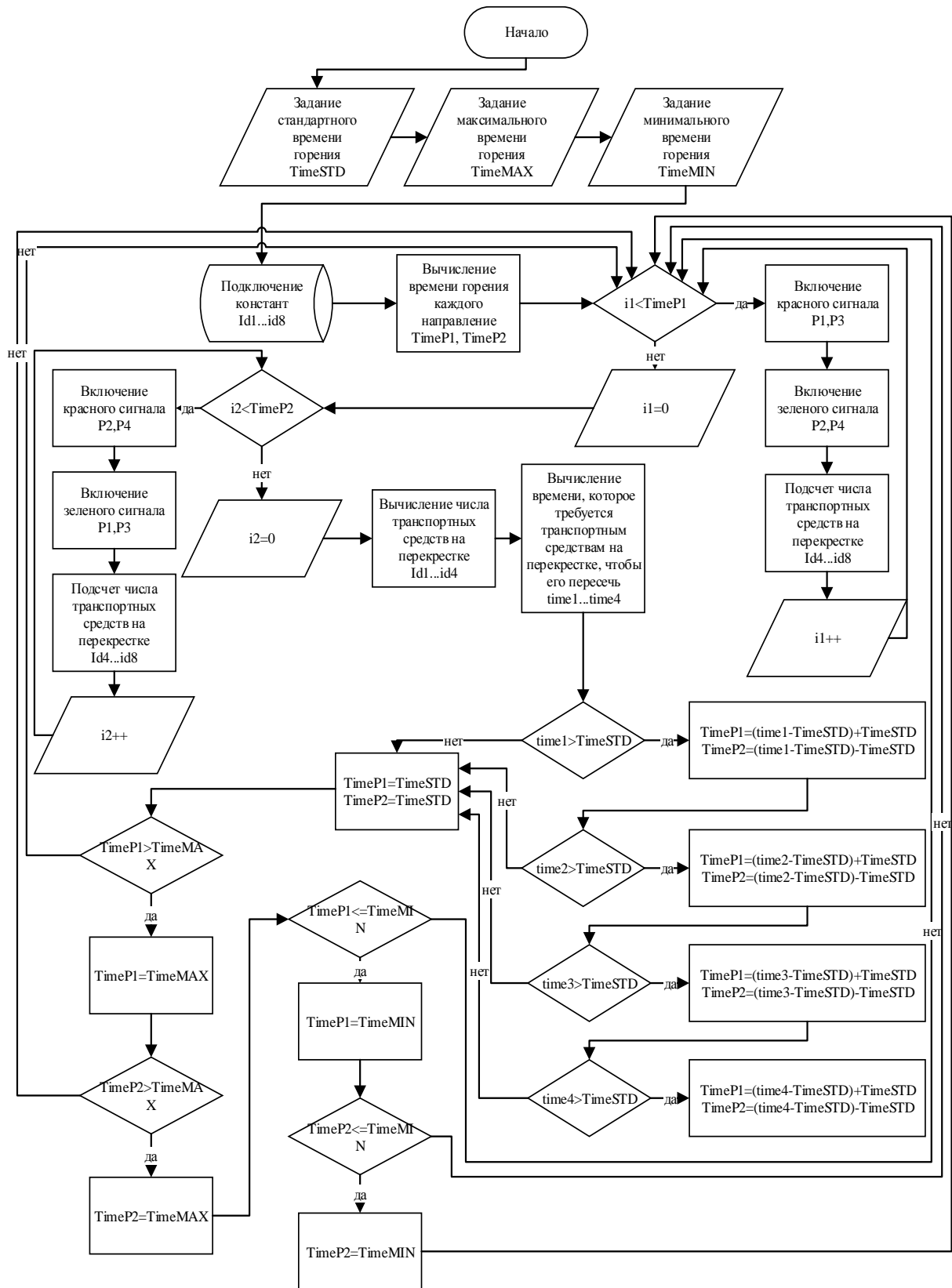


Рис. 3. Алгоритм работы ACCUC



Рис. 4. Макет АССУС

В целях моделирования были использованы 9 *LED*-диодов, установленных по 3 диода на ножках, имитирующих столб светофора. На каждом столбе установлены и закреплены датчики SEN0019, призванные счетчиком потока. Для передачи сигнала на приближающееся транспортное средство, о наличии затора на перекрестке, использован беспроводной передатчик, работающий на частоте 433,920 МГц. Светофор настроен так, что зеленый сигнал на каждом из направлений горит 3 с. Исходя из того, что согласно нормативным документам одной машине требуется 1,5 с., чтобы проехать перекресток, система настроена так, что при обнаружении на перекрестке 3 машин и более в каком-либо из направлений (3 и более срабатывания датчика), на проблемном направлении время горения пропускного (зеленого) сигнала светофора увеличивается на время, требуемое на проезд «дополнительных» транспортных средств. Данный принцип срабатывает при отсутствии на другом направлении избыточного числа машин. Если на нескольких направлениях скапливается избыточное число машин, то система определяет наиболее загруженное направление и пропускает с него большее число машин, чем с менее загруженного направления. При этом время горения пропускающего сигнала светофора на наиболее проблемно направлении увели-

чивается не на 1,5 с., а вычисляется по сложному алгоритму, на который получено свидетельство на программное обеспечение [10]. При образовании затора в одном из направлений посредством беспроводной передачи на транспортное средство передается сигнал о наличии затора. На транспортном средстве установлен приемник сигнала *MX-RM-5V* (433,920 МГц) и пьезо-баззер, который издает сигнал при образовании затора, оповещая таким образом водителя транспортного средства о наличии затора и необходимости объезда. Макет работает от сети 220 В. Транспортное средство работает от аккумулятора 9 В. Управляющий микроконтроллер и контакты расположены под макетом для более приятного визуального восприятия.

Результаты моделирования показывают, что нарушения целостности сигнала отсутствуют. Важным показателем автоматизированной системы является устойчивость (рис. 5), поскольку основное ее назначение заключается в поддержании заданного постоянного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону.

Для оценки устойчивости системы использован критерий Найквиста. Анализ устойчивости АССУС по критерию Найквиста показывает, что система является устойчивой.

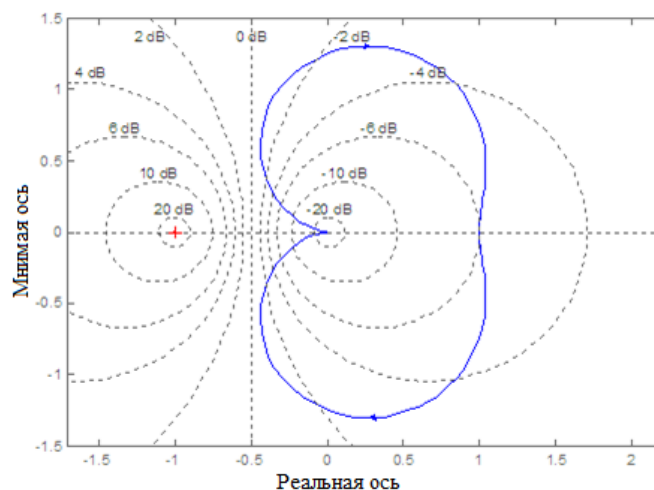


Рис. 5. Оценка устойчивости АССУС по критерию Найквиста

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что выбор той или иной системы управления движением на перекрестке существенно влияет на скорость транспортного потока. Автоматизация проезда регулируемого перекрестка на основе анализа числа транспортных средств на подъезде к перекрестку является перспективным направлением в дорожном регулировании. Автоматизированная саморегулируемая система управления светофором позволяет оптимизировать транспортный поток на перекрестке. Ана-

лиз результатов макетных испытаний системы показал, что адаптивное управление светофором позволяет снизить трафик до 70 %. Применение отечественных программных компонентов снижает стоимость системы в 2-4 раза по сравнению с зарубежными аналогами, которые, кроме всего прочего, не обладают предложенным функционалом. Система устойчива при воздействии внешних возмущающих факторов городской среды, что подтверждается определением критерия Найквиста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дивеев, А. И. Задача оптимального управления потоками транспорта в сети городских дорог / А. И. Дивеев, Е. А. Софронова // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. – 2018. - № 20. - С. 89-99.
2. Пильгейкина, И. А. Влияние логики управления светофорными объектами на эмиссию отработанных газов автомобилей / И. А. Пильгейкина, А. А. Власов // Мир транспорта и технологических машин. - 2021. - № 1(72) - С. 73-78.
3. Энгель, Е. А. Интеллектуальные системы автоматического управления сетью светофоров / Е. А. Энгель, Н. Е. Энгель // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. - 2018. - № 23. - С. 30-32.
4. Соломатин, А. В. Об одном подходе к решению задачи регулирования дорожного движения: автоматизация системы управления светофорами / А. В. Соломатин, А. В. Остроух, О. О. Варламов // Автотранспортное предприятие. - 2011. - № 6. - С. 43-45.
5. Тимофеева, О. П. Обучение нейронной сети интеллектуальной системы управления городскими светофорами / О. П. Тимофеева, С. С. Палицына // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - 2016. - № 1 (112). - С. 25-31.
6. Жамангарин, Д. С. Интеллектуальный метод динамического управления светофорами нескольких контроллеров / Д. С. Жамангарин, Н. К. Смайлов, Г. М. Юсупова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. - 2019. - № 1. - С. 43-47.
7. Новиков, А. Н. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения / А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2019. - Т. 16, № 6 (70). - С. 680-691.
8. Тимофеева, Г. А. Система согласованного управления транспортными потоками на сложном перекрестке / Г. А. Тимофеева, А. А. Шевцов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2019. - № 4 (44). - С. 12-24.

9. Патент № 2614435 Российская Федерация, МПК G08G 1/095 (2006.01). Система предупреждения водителей транспортных средств о приближении к затору: № 2016107540: заявл. 01.03.2016 : опубл. 28.03.2017 / Васина М. С., Шалыгин М. Г. ; заявитель Васина М. С. – 4 с.
1. Diveev, A.I. Problem of optimum traffic flow control in network of city roads / A.I. Diveev, E.A. Sofronova // *Questions of Theory of Safety and Stability of Systems*. – 2018. – No.20. – pp. 89-99.
2. Pilgeikina, I.A. Impact of traffic lights object control logic upon motor car exhaust emission / I.A. Pilgeikina, A.A. Vlasov // *World of Transport and Technological Machinery*. – 2021. – No.1 (72) – pp. 73-78.
3. Engel, E.A. Intelligent automatic control systems of traffic lights network / E.A. Engel, N.E. Engel // *Bulletin of Katanov State University of Khakassiya*. – 2018. – No.23. – pp. 30-32.
4. Solomatin, A.V. On one approach to solution traffic control problem: automation of traffic lights system control / A.V. Solomatin, A.V. Ostroukh, O.O. Varlamov // *Motor Transport Company*. – 2011. – No.6. – pp. 43-45.
5. Timofeeva, O.P. Instruction in neuron network of intelligent system of city traffic lights control / O.P. Timofeeva, S.S. Palitsyna // *Proceedings Alexeev NSTU*. – 2016. – No.1 (112). – pp. 25-31.
6. Zhamangarin, D.S. Intelligent method of traffic lights dynamic control by some controllers / D.S. Zhamangarin, N.K. Smailov, G.M. Yusupova // *Innovation Information and Communication Technologies*. – 2019. – No.1. – pp. 43-47.
7. Novikov, A.N. Basic principles of program computation for traffic lights control based on network controlled and saturation flow / A.N. Novikov, S.V. Yeryomin, A.G. Shevtsova // *Bulletin of Siberian State Motor Car-Road University*. – 2019. Vol. 16, No.6 (70). – pp. 680-691.
8. Timofeeva, G.A. System of coordinated traffic control at complex intersection / G.A. Timofeeva, A.A. Shevtsov // *Bulletin of Urals State University of Railway Communications*. – 2019. – No.4 (44). – pp. 12-24.
9. Patent No. 2614435 the Russian Federation, IPC G08G 1/095 (2006.01). Warning System for Vehicle Drivers about Jamming Ahead: No. 2016107540: claimed: 01.03.2016, published: 28.03.2017 / Vasina M.S., Shalygina M.G.; applicant: Vasina M.S. – pp. 4.
10. Certificate of state registration of computer software 2016618178 the RF. Automated Self-Controlled System of Traffic lights Control: No. 2016614343; claimed: 28.04.2016; published: 20.08.2016/ Vasina M.S., Shalygin M.G.; applicant and copyright holder: Vasina M.S., Bull. No.8.

Ссылка для цитирования:

Шалыгин, М.Г. Автоматизированная транспортно-технологическая система организации дорожного движения и создания транспортных коридоров / М.Г. Шалыгин, С.А. Олисов, М.С. Васина // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2021. - № 8. – С. 87 - 95 . DOI: 10.30987/1999-8775-2021-8-87-95.

Статья поступила в редакцию 19.05.21.
Рецензент: д.т.н., доцент Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, Дорохин С.В., член редсовета журнала «Вестник БГТУ».
Статья принята к публикации 26.07.21.

Сведения об авторах:

Шалыгин Михаил Геннадьевич, д.т.н., доцент, зав. кафедрой «Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: migshalygin@yandex.ru.

Олисов Сергей Анатольевич, ст. преподаватель кафедры «Трубопроводные транспортные системы»

Shalygin Michael Gennadievich, Dr. Sc. Tech., Assistant Prof., Head of the Dep. “Pipeline Transport Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: migshalygin@yandex.ru.

Olisov Sergej Anatolievich, Senior Lecturer of the

«Трубопроводные транспортные системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: solisov68@inbox.ru.

Васина Мария Сергеевна, инженер по нормированию труда ООО «Жуковский велозавод», e-mail: vasinamariya@yandex.ru.

Dep. “Pipeline Transport Systems”, Bryansk State Technical University, e-mail: solisov68@inbox.ru.

Vasina Maria Sergeevna, Engineer for Labor Rationing, PC “Zhukovsky Bicycle Factory”, e-mail: vasinamariya@yandex.ru.