

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ПРОГРАММЫ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СЕТЕЙ И ПОТОКА НАСЫЩЕНИЯ

А.Н. Новиков¹, С.В. Еремин¹, А.Г. Шевцова²

¹Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
г. Орел, Россия;

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассмотрены вопросы светофорного регулирования. Эта задача всегда остается актуальной. Так, даже для несложного перекрестка, в зависимости от интенсивности транспортных потоков, такты регулирования должны существенно различаться. В данной статье рассмотрены возможные схемы регулирования, а именно: двухфазная, трехфазная, четырехфазная и другие. Кроме того, для решения задачи оптимизации регулирования предлагается использовать аппарат управляемых сетей, который позволяет задать конфигурацию транспортной сети в виде базового графа управляемой сети, а затем на основании параметризации этого графа пропускными способностями сети решать задачи оптимизации выбора управления транспортными и пешеходными потоками.

Методы и материалы. В данной работе для решения задачи управления транспортными потоками на улично-дорожной сети предлагается использовать механизмы управляемых сетей. В результате исследований авторами предлагается методика, основанная на расчете потоков насыщения, основной характеристикой при такой методике управления является так называемый основной режим работы, который включается в том случае, когда нет запросов от детекторов транспорта на включение зеленого сигнала.

Результаты. Авторами построена обобщенная имитационная модель управления фазами регулирования, основанная на использовании механизма управляемых сетей в зависимости от интенсивности транспортных потоков, и сформирована методика выбора режимов работы светофора для различных дорожных ситуаций.

Заключение. Показано, что решение задачи светофорного регулирования существенно влияет на эффективность управления дорожным движением. На основании анализа методов светофорного регулирования в работе определены основные параметры, входящие в состав каждого из них. В результате расчета потока насыщения и информации об интенсивности дорожного движения сформирована методика выбора необходимых режимов работы светофорного объекта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная сеть, светофорный объект, параметры расчета, перекресток, поток насыщения, управляемая сеть.

Поступила 29.10.2019, принята к публикации 17.12.19.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения. *Вестник СибАДИ*. 2019;16(6): 680–691. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691>

© Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691>

PROGRAM OF LIGHT-FORMAT REGULATION ON THE BASIS OF CONTROLLED NETWORKS AND THE SATURATIONS' FLOW: BASIC PRINCIPLES OF CALCULATION

Alexander N. Novikov¹, Sergey V. Eremin¹, Anastasia G. Shevtsova²

¹Orel State University named after I.S. Turgenyeva,
Orel, Russia;

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova,
Belgorod, Russia

ABSTRACT

Introduction. The paper deals with traffic light regulation. This task is always relevant. Thus, even for an ordinary intersection, depending on the intensity of traffic flows, the control cycles should differ significantly. This paper discusses all kinds of systems, namely, two-phase, three-phase, four-phase and others. In addition to solving optimization problems of regulation the authors propose to use the device managed network, which allows setting the configuration of the transport network as the base graph of the managed network, and then based on the parameterization of the graph of the throughput ability of the network to solve the optimization problem of selecting the control traffic and pedestrian flow.

Methods and materials. For solving the problem of traffic management on the road network, the authors proposed to use the mechanisms of managed networks. As a result, the authors presented a technique based on the calculation of saturation flows, the main characteristic of the control technique, which was activated when there were no requests from the transport detectors to turn by the green signal.

Results. The authors constructed a generalized simulation model of control phases of regulation based on the usage of controlled networks, depending on the intensity of traffic flows and formed a method of selecting modes of traffic lights for different traffic situations.

Discussion and conclusions. The solution of the problem of traffic light regulation significantly affects the traffic management efficiency. The authors determine the main parameters based on the analysis of traffic light control methods. As a result of the calculation of the saturation flow and information about the intensity of traffic, the authors form the method of selecting the necessary modes of the phosphor object's operation.

KEYWORDS: transport network, traffic light object, calculation parameters, intersection, saturation flow, managed network.

Submitted 29.10.2019, revised 17.12.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Novikov Alexander N., Eremin Sergey V., Shevtsova Anastasia G. Program of light-format regulation on the basis of controlled networks and the saturations' flow: basic principles of calculation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(6): 680-691 (in Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691>

© Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью устройства светофорного регулирования на перекрестке является разделение транспортных и пешеходных потоков во времени путем включения разрешающего или запрещающего сигнала светофора для определенной группы участников дорожного движения [1, 2, 3]. В зависимости от вида перекрестка и типа светофорного регулирования можно частично либо полностью избежать появления конфликтных точек.

Как правило, светофорные объекты устраиваются для повышения уровня безопасности дорожного движения, а также для увеличения пропускной способности и уровня обслуживания транспортных потоков. В качестве дополнительных решаемых задач можно привести следующие:

1. Улучшение условий движения общественного транспорта.
2. Защита и увеличение уровня обслуживания для пешеходов и велосипедистов.
3. Направление движения транспортных средств в целом в сети.
4. Защита участков улично-дорожной сети от перегрузок.

Цели устройства светофорного регулирования должны соответствовать в первую очередь потребностям, интересам и требованиям отдельных групп участников дорожного движения. В процессе проектирования светофорного регулирования необходима оценка нескольких вариантов схем организации движения при использовании светофорного регулирования с учетом безопасности дорожного движения, экономичности, пропускной способности и защиты окружающей среды. При этом требуется учитывать потребности всех групп участников дорожного движения и других заинтересованных лиц.

В связи с этим основной целью исследования является анализ основных схем пофазного разъезда на регулируемых участках и разработка нового подхода к оптимизации режимов управления (тактов регулирования) с использованием механизма управляемых сетей. Научная новизна исследования заключается в разработке подхода управления транспортными потоками на основании данных об интенсивности транспортного потока и потока насыщения и использовании основного ре-

жима работы светофорного объекта, который включается в том случае, когда нет запросов от детекторов транспорта на включение зеленого сигнала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для эффективной работы светофорного объекта необходимо понимать закономерности движения транспортных потоков. Важным является тот факт, что закономерности движения транспортного потока серьезно отличаются от велосипедного и пешеходного движения. В то время как для автомобильного транспорта главными критериями являются количество подъезжающих к перекрестку автомобилей и особенности проезда перекрестка (влияющие на пропускную способность), для пешеходного и велосипедного движения главными аспектами будут выбор маршрута на перекрестке и соблюдение требований сигналов светофора.

Движение транспортных потоков на регулируемом перекрестке описывают три показателя:

1. Закономерность прибытия транспортных средств к зоне перекрестка.
2. Закономерности убытия транспортных средств из зоны перекрестка.
3. Поведение участников дорожного движения при изменении фаз светофорного регулирования.

В отечественной литературе достаточно широко рассмотрены особенности движения автомобильных потоков¹ [4]. Кроме того, в [5, 6] рассмотрены и подходы для расчета светофорного регулирования на основе зарубежных норм и рекомендаций.

Также как при автомобильном и велосипедном движении интенсивность пешеходных потоков изменяется в течение дня. Однако необходимо учитывать, что в зависимости от окружающей инфраструктуры пешеходные потоки могут быть постоянными во времени (например, на перекрестках рядом с остановками общественного транспорта). Эти условия необходимо учитывать при проектировании светофорного объекта. При высокой интенсивности движения пешеходов площадь, занимаемая ими на площадке ожидания и на самом пешеходном переходе, значительно превышает обозначенные разметкой границы. Кроме этого, необходимо учитывать, что пе-

¹ Витвицкий Е.Е. Моделирование транспортных процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Министерство образования и науки РФ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»; Е.Е. Витвицкий. Омск, 2017.

шеход обычно не стоит непосредственного у края полосы движения автомобилей и необходимо учитывать время, которое ему потребуется для достижения проезжей части.

При учете движения пешеходов в границах перекрестка необходимо разделять пешеходов, которым нужно перейти проезжую часть один раз, и пешеходов, которым необходимо перейти перекресток по диагонали. Часто пешеходы, которым нужно перейти перекресток по диагонали, предпочитают перейти проезжую часть вне перекрестка, в особенности когда перекресток генерирует продолжительные задержки.

Оценка резервов пропускной способности состоит в анализе уровня загрузки улично-дорожной сети. Уровень загрузки показывает отношение интенсивности движения к пропускной способности. В соответствии с «Руководством по проектированию городских улиц и дорог» пропускная способность проезжей части магистральных улиц с регулируемым движением ($P_{пер}$ (авт/ч)) определяется пропускной способностью проезжей части в сечении линии «стоп», расчет которой рекомендуется производить на основании соотношения

$$P_{пер} = \alpha \frac{\sum_{j=1}^c N_j}{\sum_{j=1}^b q_j}, \quad (1)$$

где α – суммарный фазовый коэффициент при полной нормальной загрузке регулируемого перекрестка, равный 0,9 при двухтактном, 0,85 при трехтактном и 0,8 при четырехтактном циклах регулирования; b – число основных циклообразующих направлений, требующих выделения полного такта; N_j – интенсивность по данному входу на перекресток, приведенных авт/ч; c – число возможных направлений движения с данного входа на перекресток при пересечении линии «стоп» (направо, прямо, налево); j – возможные направления движения по всем входам на перекресток.

От количества и распределения фаз на регулируемом перекрестке зависит уровень обслуживания и безопасность. Количество фаз выбирается в зависимости от формы пересечения, количества, направления и конфликтов

транспортных потоков, а также от отдельных потоков автомобилей (рисунок 1). В общем случае транспортные потоки должны как можно меньше задерживаться.

Двухфазная система обслуживает максимальное количество транспортных потоков, левые повороты осуществляются через прямое встречное направление, преимущественно используется на малых пересечениях и применим при низких интенсивностях левоповоротных потоков.

Дополнительное время для левоповоротных потоков в конце фазы обозначается дополнительной секцией с зеленой стрелкой. Это правило для левоповоротных потоков: в конце фазы 1 встречное движение останавливается для обеспечения свободного проезда левоповоротным потокам [7, 8].

В четырехфазной системе левоповоротные потоки обозначаются отдельно, бесконфликтный проезд обозначается дополнительной секцией с зеленой стрелкой, применяется на больших пересечениях.

Трехфазные системы на примыканиях используются при слабых левоповоротных потоках прямого направления, при сильных также применяется отдельная фаза или дополнительное время для левоповоротных потоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Одной из основных задач светофорного регулирования является перемещение максимально возможного количества транспортных средств за минимально возможное время. В общем случае эта задача многокритериальная и одним из вариантов ее решения будет максимизация транспортных и пешеходных потоков за заданное количество тактов N , которое соответствует некоторому временному интервалу (рисунок 2).

В рамках данного исследования для решения задачи управления транспортными потоками на УДС предлагается использовать механизмы управляемых сетей. Предполагается, что имеют место истоки (пункты отправления) ТС и стоки (пункты назначения). В плане формального описания задачи оптимизации управления потоками определяется множество вершин-источников I_0 и вершин-стоков I_1 .

$$I_0 = \left\{ i_p : \sum_{j=1}^L a_{i_p j} = 0, 1 \leq i_p \leq L \right\}, \quad I_1 = \left\{ j_p : \sum_{i=1}^L a_{i j_p} = 0, 1 \leq j_p \leq L \right\}. \quad (2)$$

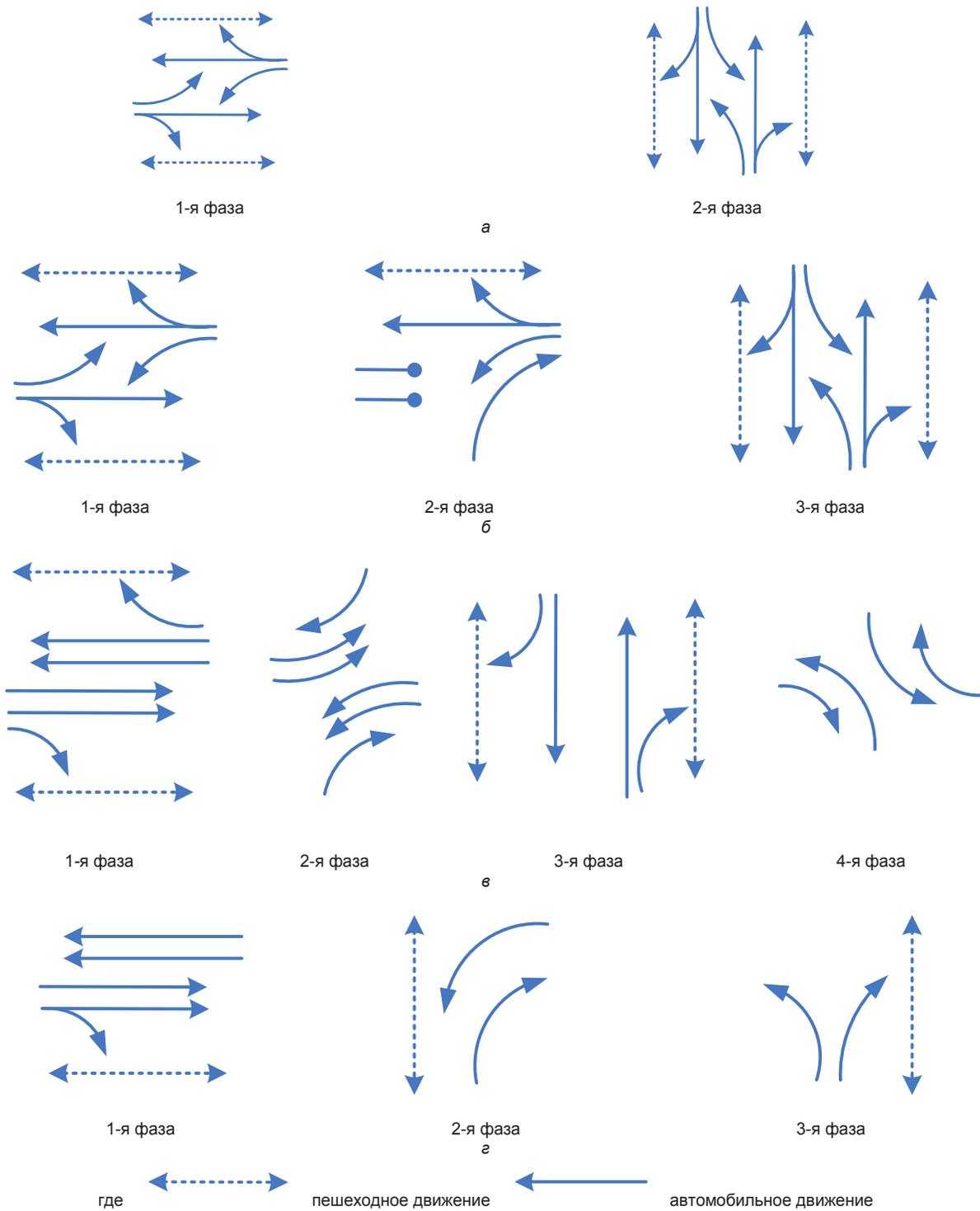


Рисунок 1 – Использование различных многофазных подходов к регулированию (а – двухфазная система, б – дополнительное время для левоворотных потоков, в – четырехфазная система, г – трехфазные системы на примыканиях)

Figure 1-Use of different multiphase approaches to regulation (a – two-phase system, б – additional time for left-handed flows, в – four-phase system, г – three-phase adjacent systems)

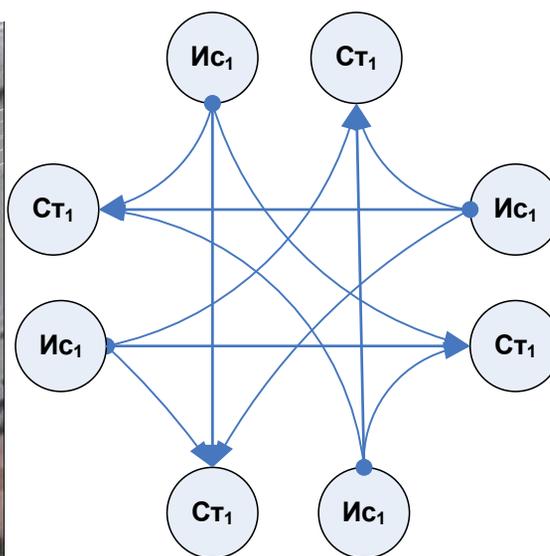
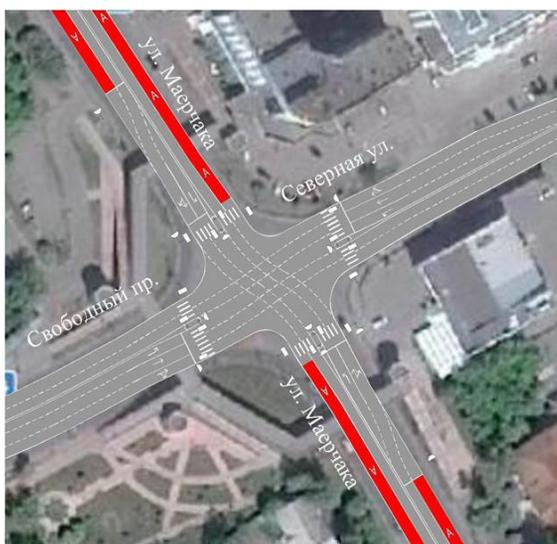


Рисунок 2 – Представление перекрестка в виде управляемой сети

Figure 2 – Representation of the intersection as a managed network

Вершина-источник управляемой сети не имеет входящих дуг (соответствующий столбец матрицы смежности равен нулю), а вершина-сток не имеет выходящих (соответствующая строка матрицы смежности равна нулю). Остальные вершины представляют произвольные внутренние вершины управляемой сети. Предполагается, что величина потока в вершинах сети кроме истоков ограничена следующими значениями: $x^+ = [x_1^+, \dots, x_L^+]^T$. При этом возможно, что $x_i^+ = \infty, i \in I_0 \cup I_1$.

Поиск оптимального управления в заданной сети сводится к формированию программного управления базовой конфигурацией сети $u(\cdot) = (u(1), u(2), \dots, u(N))$, которая обеспечивает максимум потока, задаваемого выражением

$$J(u(\cdot)) = \sum_{i \in I_1} x_i(N) - \sum_{i \in I_0} x_i(N) \rightarrow \max. \quad (3)$$

При этом на каждом такте должен быть выполнен ряд ограничений

$$x_i(k) \leq x_i^+, \quad i = \overline{1, L}, \quad k = \overline{1, N}. \quad (4)$$

Соотношение (2) определяет разность потоков в вершинах-стоков и вершинах-истоков в конечном такте N управления сетью. Таким образом, на каждом шаге должно быть выбрано управление $\tilde{u}(\cdot) = (\tilde{u}(1), \tilde{u}(2), \dots, \tilde{u}(N))$, которое дает максимум этой функции.

В управляемой сети предполагается, что поток проходит через сеть, а управление им реализуется через задание определенной кон-

фигурации на каждом такте. В общем случае эта конфигурация формируется на основе задания вектора управления

$$u = [u_1 \dots u_M]^T, \quad u \in U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_M, \quad (5)$$

где управление на каждом такте принадлежит подмножеству $u_i \in U_i = \{0, 1, \dots, u_i^+\}$, а ограничения $u_i^+ \in Z_+, i = \overline{1, M}$.

Базовая сеть (базовый граф) определяется графом с заданной матрицей смежности

$$A = [a_{ij}], \quad a_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = \overline{1, L}, \quad (6)$$

где L – число вершин графа базовой сети.

Аналогичный расчет можно выполнить для более сложных сетей, для которых имеет место базовая конфигурация (рисунок 3).

Матрицы пропускных способностей B и распределений D имеют ненулевые элементы, располагающиеся в тех же позициях, где и ненулевые элементы матрицы смежности A базовой сети. Конкретные числовые значения этих ненулевых элементов в матрицах пропускных способностей и в матрице распределений определяются по конкретной сети городских дорог.

В результате использования такой алгоритмической модели управляемой сети имеется возможность проверить разные варианты управлений на базовом графе модели перекрестка со светофорным регулированием и решить задачу оптимизации, например с использованием генетических алгоритмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчета базовых показателей [9, 10] имеют место общепринятые методики (рисунок 4). Однако для более корректного учета пешеходного потока многие методики не подходят. В результате предлагается методика, основанная на расчете потоков насыщения.

Так, поток насыщения – максимальное количество транспортных средств, способное проехать в указанном направлении при заданной ширине проезжей части (или полосы для движения), заданном проценте поворачивающих транспортных средств, заданном радиусе поворота [11]. При этом потоки насыщения в заданном направлении и определенной фазе вычисляются на основании соотношения

$$M_{n_{ij}} = M_{n_{ij}^{прям}} \frac{100}{a + 1.75 \times b + 1.25 \times c} \times K, \quad (7)$$

где j – номер направления; i – номер фазы; $B_{пч}$ – ширина проезжей части в данном направлении данной фазы; $M_{n_{ij}^{прям}} = 525 \times B_{пч}$ – поток насыщения в прямом направлении; a , b и c – интенсивности транспортных потоков прямо, налево и направо соответственно в процентах от общей интенсивности; K – поправочный коэффициент.

Далее рассчитывается фазовый коэффициент, который представляет требуемое вре-

мя для пропуска конкретного направления в определенной фазе в процентах по отношению к продолжительности всего цикла регулирования. Для величины фазового коэффициента справедливо соотношение

$$y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{n_{ij}}}, \quad (8)$$

где N_{ij} – вычисленные интенсивности потоков в заданной фазе и в заданном направлении, ед./ч; $M_{n_{ij}}$ – поток насыщения в определенной фазе и в определенном направлении, ед./ч.

Далее выполняется расчет длительности промежуточных тактов, которые задаются интервалом времени между желтым сигналом текущей фазы и зеленым последующей фазы. Для каждой фазы длительность промежуточного такта определяется на основании соотношения

$$t_{nij} = \frac{v_a}{7.2a_m} + \frac{3.6 \times (l_i + l_a)}{v_a}, \quad (9)$$

где v_a – определяет усредненную скорость автотранспорта при подходе к пересечению и в его зоне без торможения, наиболее часто эта скорость принимается равной 50 км/ч для прямого направления и 25 км/ч для поворотного,

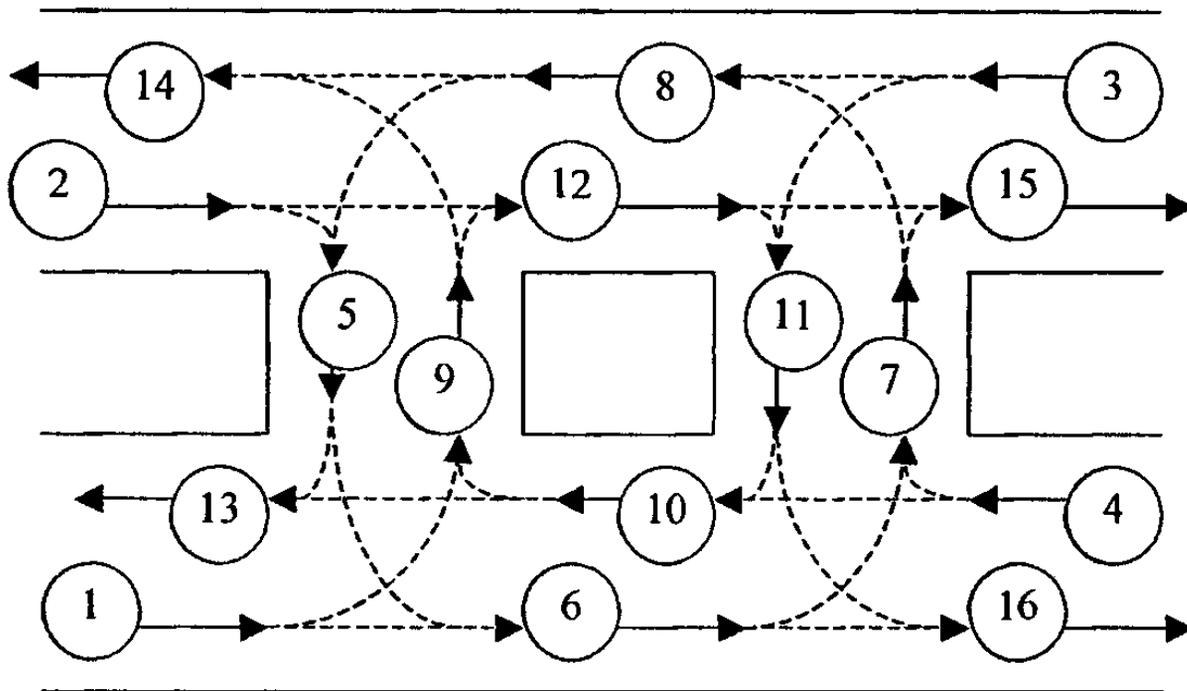


Рисунок 3 – Структура сложного перекрестка

Figure 3 – Structure of a complex intersection

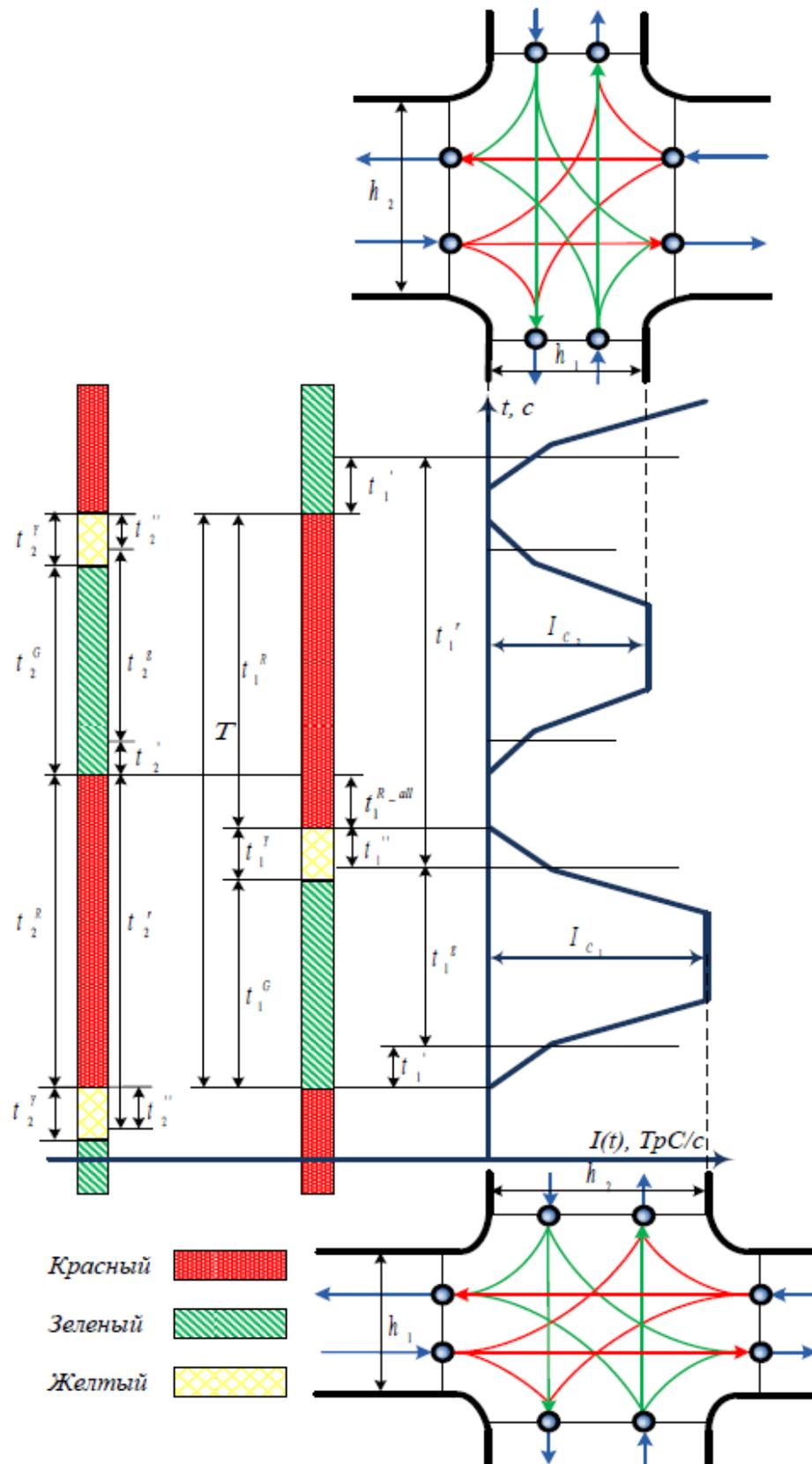


Рисунок 4 – Сигнальная программа светофорного регулирования

Figure 4 – Traffic light control signal program

км/ч; l_a – наиболее вероятная длина автотранспорта в исследуемом потоке, м; l_j – расстояние между дальней конфликтной точкой и стоп-линией, м; a_m – усредненное замедление автотранспорта при включившем красном (по умолчанию в расчетах равно 3–4 м/с²).

Далее выполняется расчет длительности оптимального цикла регулирования, представляющий промежуток времени, через который программа регулирования повторяется. Не рекомендуют продолжительность цикла регулирования более 120 с, так как водители могут принять светофор за не- работающий и нарушить правила дорожного движения. Длительность цикла регулирования рассчитывается по формуле

$$T = \frac{1.5 \times T_n + 5}{1 - Y}, \quad (10)$$

где T_n – сумма всех промежуточных тактов t_{n^i} с; Y – сумма максимальных значений фазовых коэффициентов всех фаз y_{ij} .

Методы управления светофорным регулированием можно разделить на три категории:

1. Управление постоянной программой [12].
2. Адаптивное регулирование с частичной зависимостью от транспортного потока² [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].
3. Адаптивное регулирование с полной зависимостью от транспортного потока.

При управлении постоянной программой элементы сигнальной программы (продолжительность цикла, количество и последовательность фаз, длительность зеленого сигнала) остаются неизменными.

Адаптивное регулирование с частичной зависимостью от транспортного потока обозначается как «Корректировка сигнальной программы». При этом в рамках программы управления (постоянная продолжительность цикла) отдельные элементы программы (количество фаз, последовательность фаз, длительность зеленого сигнала) изменяются в зависимости от интенсивностей транспортного потока.

Адаптивное регулирование с полной зависимостью от транспортного потока обозначается

как «Расчет сигнальной программы». В этой категории управления сразу все элементы программы (количество фаз, последовательность фаз, продолжительность зеленого сигнала) изменяются в зависимости от интенсивности транспортного потока. Программы с постоянной продолжительностью цикла в данном случае не существует. Характеристикой при таком методе управления является так называемый основной режим работы, который включается в том случае, когда нет запросов от детекторов транспорта на включение зеленого сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования авторским коллективом установлено, что решение задачи светофорного регулирования существенно влияет на эффективность управления дорожным движением³ [21, 22, 23, 24]. На основании анализа методов светофорного регулирования в работе построена обобщенная имитационная модель управления фазами регулирования, основанная на использовании механизма управляемых сетей в зависимости от интенсивности транспортных потоков, и сформирована методика выбора режимов работы светофора для различных дорожных ситуаций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // *Transportation Research Procedia* 2017. pp. 455–462.
2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment" 2018.
3. Жигadlo А.П., Дорохин С.В., Лихачев Д.В. Новый подход к вводу дополнительной левоповоротной секции светофорного регулирования // *Вестник Сибирского государственного автомобиль-*

² Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие, М. : МАДИ, 2016. 120 с.

³ Шевцова А.Г., Новиков И.А., Боровской А.Е. Современный подход к управлению светофорным объектом // В сборнике: Информационные технологии и инновации на транспорте материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.Н. Новикова. 2016. С. 366-370.

но-дорожного университета. 2019. Т. 16. № 4 (68). С. 432–445.

4. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Шубенкова К.А., Мелькова В.А. Обеспечение надежного и безопасного функционирования транспортной системы города путем интеллектуализации процессов управления // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 3(34). С. 63–72.

5. Kumar C., N. Singhl, G. Raval, Saturation Flow Analysis. International Journal for Scientific Research & Development Vol. 2, Issue 03, (2014), pp. 1032–1037.

6. Kim, J., W. Hani, J. Dong, Likelihood and Duration of Flow Breakdown Modeling the Effect of Weather Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2188, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., (2010), pp. 19–28.

7. Лихачев Д.В., Дорохин С.В. Исследование процесса ввода специализированной левоповоротной фазы регулирования // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 2 (61). С. 40–47.

8. Дорохин С.В., Лихачев Д.В. Анализ подходов к вводу специализированной левоповоротной полосы при использовании светофорного регулирования // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3 (66). С. 43–50.

9. Новиков И.А., Шевцова А.Г. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работы светофорного объекта // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 4 (35). С. 62–68.

10. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Методы определения потока насыщения автотрассы // Мир транспорта. 2013. Т. 11. № 3 (47). С. 44–51.

11. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Максимальная пропускная способность полосы при поворотном маневре // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 188–191.

12. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Шубенкова К.А., Булатова В.А. Инновации в транспортном комплексе – путь к устойчивому развитию региона // Дорожная держава. 2013. № 50. С. 76–77.

13. Shevtsova A., Novikov I., Borovskoy A. Research of influence of time of reaction of the driver on the calculation of the capacity of the highway // Transport Problems. 2015. Т. 10. № 3. pp. 53–59.

14. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of influence of dynamic characteristics for options controlled intersection // Procedia Engineering (см. в книгах). 2017. Т. 187. pp. 664–671.

15. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Strukov Y.V., Likhachev D.V., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova

A.G. Investigation of methods for calculating duration of light signal regulation cycle // Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). 2018. Т. 1015.

16. Жанказиев С.В., Власов В.М. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. 2010. № 7. С. 2–10.

17. Жанказиев С.В., Иванов А.М., Власов В.М. Научные подходы к формированию концепции построения ИТС в России // Автотранспортное предприятие. 2010. № 4. С. 2–8.

18. Жанказиев С.В., Халилев Р.Ф. Принципы формирования архитектуры локального проекта интеллектуальной транспортной системы // В мире научных открытий. 2012. № 12 (36). С. 105–111.

19. Жанказиев С.В. Обоснование определения зоны оптимальной установки для интеллектуальной транспортной системы // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2010. № 2 (21). С. 100–106.

20. Медведев В.Е., Соломатин А.В., Варламов О.О., Жанказиев С.В., Ивахненко А.М. Решение задачи регулирования дорожного движения на основе автоматизированной системы управления // В мире научных открытий. 2012. № 2-6 (26). С. 124–129.

21. Новиков И.А., Шевцова А.Г. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работы светофорного объекта // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 4 (35). С. 62–68.

22. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Методика выбора рационального режима работы светофорного объекта на автомобильном транспорте // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2012. № 6. С. 50–53.

23. Бурлуцкая А.Г., Новиков И.А., Фоменко Ю.В., Шевцова А.Г. Метод адаптации микромоделей участка дорожной сети с использованием директивного управления // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 4 (59). С. 80–88.

24. Агуреев И.Е., Кретов А.Ю., Мацур И.Ю. Исследование алгоритмов светофорного регулирования перекрестка при различных параметрах транспортного потока // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 7-2. С. 54–61.

REFERENCES

1. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS). *Transportation Research Procedia*. 2017: 455–462.

2. Vlasov V.M., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment" 2018.
3. Zhigadlo A.P., Dorohin S.V., Lihachev D.V. Novyj podhod k vvodu dopolnitel'noj levopovorotnoj sek-cii svetofornogo regulirovaniya [New approach to introduction of additional left-turning section of traffic light control]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; T. 16. № 4 (68): 432–445 (in Russian).
4. Makarova I.V., Habibullin R.G., Shubenkova K.A., Mel'kova V.A. Obespechenie nadezhnogo i bezopasnogo funkcionirovaniya transportnoj sistemy goroda putem intellektualizacii processov upravleniya [Ensuring reliable and safe operation of the city's transport system through the intelligent management processes]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2011; 3(34): 63–72 (in Russian).
5. Kumar C., N. Singhl, G. Raval, Saturation Flow Analysis. *International Journal for Scientific Research & Development* Vol. 2, Issue 03, (2014): pp. 1032–1037.
6. Kim, J., W. Hani, J. Dong, Likelihood and Duration of Flow Breakdown Modeling the Effect of Weather Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2188, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., (2010): 19–28.
7. Lihachev D.V., Dorohin S.V. Issledovanie processa vvoda specializirovannoj levopovorotnoj fazy regulirovaniya [Study of the process of the specialized left-turn control phase]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2018; 2 (61): 40–47(in Russian).
8. Dorohin S.V., Lihachev D.V. Analiz podhodov k vvodu specializirovannoj levopovorotnoj polosy pri ispol'zovanii svetofornogo regulirovaniya [Analysis of approaches to the introduction of a specialized left-turning band using traffic light regulation]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2019; 3 (66): 43–50 (in Russian).
9. Novikov I.A., Shevcova A.G. Vliyanie izmeneniya zaderzhek transportnyh sredstv na kolichestvo rezhimov raboty svetofornogo ob'ekta [Impact of vehicle delays change on the number of modes of traffic light object operation]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2011; 4 (35): 62–68 (in Russian).
10. Borovskoj A.E., Shevcova A.G. Metody opredeleniya potoka nasyshheniya avtotrassy [Methods of determining the flow of the highway saturation]. *Mir transporta*. 2013; 11. № 3 (47): 44–51 (in Russian).
11. Borovskoj A.E., Shevcova A.G. Maksimal'naja propusknaja sposobnost' polosy pri povorotnom manevre [Maximum capacity of the strip at the turning manoeuvre]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2013; 2: 188–191 (in Russian).
12. Makarova I.V., Habibullin R.G., Shubenkova K.A., Bulatova V.A. Innovacii v transportnom komplekse – put' k ustojchivomu razvitiju regiona [Innovations in the transport complex - the way to sustainable development of the region]. *Dorozhnaja derzhava*. 2013; 50: 76–77 (in Russian).
13. Shevtsova A., Novikov I., Borovskoy A. Research of influence of time of reaction of the driver on the calculation of the capacity of the highway. *Transport Problems*. 2015; 10. № 3: 53–59.
14. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of influence of dynamic characteristics for options controlled intersection. *Procedia Engineering*. 2017; 187: 664–671.
15. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Strukov Y.V., Likhachev D.V., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Investigation of methods for calculating duration of light signal regulation cycle. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 1015.
16. Zhankaziev S.V., Vlasov V.M. Nauchny'e podkhody k formirovaniyu gosudarstvennoj strategii razvitiya intellektual'nykh transportnykh sistem [Scientific approaches to the formation of the state strategy for the development of intelligent transport systems]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2010; 7: 2–10.
17. Zhankaziev S.V., Ivanov A.M., Vlasov V.M. Nauchny'e podkhody k formirovaniyu koncepczii postroeniya ITS v Rossii [Scientific approaches to formation of ITS construction concept in Russia]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2010; 4; 2–8.
18. Zhankaziev S.V., Khalilev R.F. Printsipy formirovaniya arkhitektury lokal'nogo proekta intellektual'noj transportnoj sistemy [Principles of Formation of Architecture of Local Project of Intelligent Transport System]. *V mire nauchnykh otkrytij*. 2012; 12 (36):105–111.
19. Zhankaziev S.V. Obosnovanie opredeleniya zony optimal'noj ustanovki dlya intellektual'noj transportnoj sistemy [Justification of the definition of the zone of optimal installation for the intelligent transport system]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2010; 2 (21): 100–106.
20. Medvedev V.E., Solomatin A.V., Varlamov O.O., Zhankaziev S.V., Ivakhnenko A.M. Reshenie zadachi regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya na osnove avtomatizirovannoj sistemy upravleniya [Solving the problem of traffic regulation on the basis of an automated management system]. *V mire nauchnykh otkrytij*. 2012; 2-6 (26): 124–129.

21. Novikov I.A., Shevczova A.G. Vliyanie izmeneniya zaderzhek transportnykh sredstv na kolichestvo rezhimov raboty svetofornogo ob'ekta [Impact of vehicle delays change on the number of modes of traffic light object operation]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2011; 4 (35): 62–68.

22. Borovskoj A.E., Shevczova A.G. Metodika vy'bora racionalnogo rezhima raboty svetofornogo ob'ekta na avtomobil'nom transporte [Methodology of selection of rational mode of operation of traffic light object on road transport]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik*. 2012; 6: 50–53.

23. Burluczka A.G., Novikov I.A., Fomenko Yu.V., Shevczova A.G. Metod adaptacii mikromodeli uchastka do-rozhnoj seti s ispol'zovaniem direktivnogo upravleniya [Method of adaptation of the micromodel of the section to the native network using the policy control]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2017; 4 (59):80–88.

24. Agureev I.E., Kretov A.Yu., Maczur I.Yu. Issledovanie algoritmov svetofornogo regulirovaniya pere-krestka pri razlichnykh parametrokh transportnogo potoka [Study of algorithms of traffic light regulation of pen-cross at different parameters of transport flow]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2013; 7–2: 54–61.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Новиков А.Н. Постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом.

Еремин С.В. Анализ существующих методов организации светофорного регулирования, описание методологии расчета базовых показателей.

Шевцова А.Г. Выполнение аналитических исследований, разработка имитационной модели управления фазами регулирования.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Alexander N. Novikov – setting the goal and objectives of the research; analysis and familiarization with foreign and domestic experience.

Sergey V. Eremin – analysis of existing methods of traffic light regulation organization; description of the meta-degree of the basic indicators' calculations.

Anastasia G. Shevtsova – carrying out analytical research; development of simulation model of the phases' control.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Александр Николаевич (г. Орел, Россия) – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Сервис и ремонт машин» Орловского госу-

дарственного университета им. И.С. Тургенева ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95, e-mail: novikovan@ostu.ru).

Еремин Сергей Васильевич (г. Орел, Россия) – докторант кафедры «Сервис и ремонт машин» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева ORCID ID 0000-0001-8220-248X (302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95, e-mail: srmostu@mail.ru).

Шевцова Анастасия Геннадьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова ORCID 0000-0001-8973-9271 (308012, г. Белгород, ул. Костюкова 46, e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru*).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander N. Novikov – Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of the Service and Repair of Machines, Orel State University named after I.S. Turgenev, ORCID ID 0000-0001-5496-4997 (302026, Orel, 95, Komsomolskaya St., e-mail: novikovan@ostu.ru).

Sergey V. Eremin – Doctoral candidate of the Department of the Service and Repair of Machines, Orel State University named after I.S. Turgenev, ORCID ID 0000-0001-8220-248X (302026, Orel, 95, Komsomolskaya St., e-mail: srmostu@mail.ru).

Anastasia G. Shevtsova – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of the Operation and Organization of Traffic, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ORCID 0000-0001-8973-9271 (308012, Belgorod, 46, Kostyukova St., e-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru*).