

УДК 681.5

*С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук, П. И. КАПИТАНОВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, В. И. ЕВЛАНОВ, инспектор дорожно-патрульной службы, УГАИ МВД Центрального района города Минска*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ ВНЕДРЕНИЕМ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Как правило, регулируемые перекрестки осуществляют пропуск достаточно интенсивных транспортных и пешеходных потоков в стесненных условиях застройки. В городах в периоды максимального подъема интенсивности регулируемые перекрестки сильно перегружены транспортом, что визуально отображено в виде наличия заторов. Всё это приводит к резкому росту экономических, экологических, аварийных и социальных потерь что противоречит Концепции обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь.

Для того чтобы реализовать управление и контроль на загруженных перекрестках, с середины прошлого века внедряются различные элементы автоматизации. С ростом интенсивности движения в городах росла и необходимость в повышении уровня автоматизации систем. В настоящее время в мире известны и широко применяются различные алгоритмы адаптивного регулирования светофорными объектами. Республика Беларусь в этом отношении существенно отстает. Целью работы является привести пример эффективности от внедрения адаптивного регулирования на светофорных объектах и смоделировать реализацию таких мероприятий в специализированном программном продукте PTV Vissim.

**А**втомобили в городском транспортном потоке могут испытывать значительные трудности в пути из-за неэффективной работы системы светофорного регулирования. Перекресток является узким местом улично-дорожной сети. Поэтому очень важным становится выбор схемы регулирования транспортными потоками именно на перекрестке [1–3]. При этом необходимо учитывать дорожные знаки, разметку и параметры светофоров. Так как количество участников дорожного движения все время увеличивается, а ресурсы инфраструктуры улично-дорожной сети ограничены, то создание интеллектуальной транспортной системы становится перспективным направлением повышения эффективности работы регулируемых перекрестков. Использование адаптивных алгоритмов светофорного регулирования может предотвратить заторы и уменьшить время проезда участка дороги, повысить безопасность дорожного движения и снизить негативное воздействие на экологию. В тоже время оптимизация светофоров представляется сложной задачей, имеющей более чем один вариант решения. Выбор наилучшего варианта возможен моделированием функционирования исследуемого объекта при различных управляющих воздействиях. Одним из таких инструментов для моделирования является программный продукт PTV Vissim.

В качестве объектов исследования рассмотрены следующие регулируемые перекрестки г. Гомеля: ул. Интернациональная – проспект Ленина, ул. Интернациональная – ул. Катунина, ул. Интернациональная – ул. Гагарина, ул. Интернациональная – ул. Фрунзе, ул. Бабушкина – ул. Луначарского.

Для каждого из этих объектов были выполнены: анализ существующей схемы организации дорожного движения, создана имитационная модель в программе PTV Vissim, разработаны мероприятия по снижению потерь, смоделирована работа после реализации таких мероприятий и посчитан экономический эффект. Ниже подробно приведен каждый этап для перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина г. Гомеля. На данном перекрестке за последние 23 года произошло 15 учётных ДТП. Основным видом ДТП является столкновение. Это связано с затруднением

осуществить левый поворот, с проспекта Ленина на улицы Интернациональная и Кирова.

На исследуемом перекрестке измерены параметры цикла светофорного регулирования: схема пофазного регулирования, диаграмма существующего цикла светофорного регулирования. Для указанного перекрестка были измерены интенсивности движения по направлениям по часам суток и суточная цифровая интенсивностей движения (рисунок 1). Видимость на перекрестке оценивалась параметрами треугольника боковой видимости. Натурные измерения показали, что степень прозрачности треугольника боковой видимости для конфликта Т-Т и Т-П удовлетворительная. Имеются помехи – стойки дорожных знаков, деревья, отдельные опоры линий освещения, конфликтующие участники видят друг друга почти непрерывно, не менее 70–80 % времени движения до конфликтной точки.

Аналогичным образом были исследованы пересечения улиц Интернациональная – Катунина; Интернациональная – Гагарина; Интернациональная – Фрунзе; Бабушкина – Луначарского.

Для моделирования работы исследуемого объекта в программном продукте PTV Vissim созданы модели исследуемых объектов и произведены оценки параметров движения транспортных и пешеходных потоков. Для обеспечения качества полученной имитационной модели с ней выполнен ряд действий.

1 **Верификация модели** – это проверка правильности ввода исходных данных, геометрии УДС, параметров ОДД, определяющих зависимостей (функций) и т. п. Целью данного этапа является подтверждение корректности ввода данных по следующим аспектам:

- отсутствие ошибок непосредственно при вводе численных параметров;
- корректность базовых настроек и соотношений элементов модели;
- учет специфических факторов.

2 **Калибровка модели** – это настройка различных параметров модели с целью минимизировать расхождение данных обследований и результатов моделирования. Конечная цель калибровки модели – компромисс

между усилиями, затраченными на калибровку, и точностью воспроизведения моделью реальной ситуации. В качестве критериев для завершения калибровки имитационных микромоделей применялись разница между смоделированными и наблюдаемыми интенсивностями потоков, временем хода и длины очередей.

3 Валидация модели – это сравнение результатов моделирования и реальной ситуации с использованием набора независимых данных, не участвующих в калиб-

ровке для оценки работоспособности модели и возможности ее использования для прогнозов.

Модель перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина прошла все этапы проверки и считается пригодной для дальнейших исследований. Аналогичные результаты были получены и для остальных объектов исследования.

При помощи указанной модели были получены результаты, описывающие параметры потоков на объекте исследования (рисунок 2).

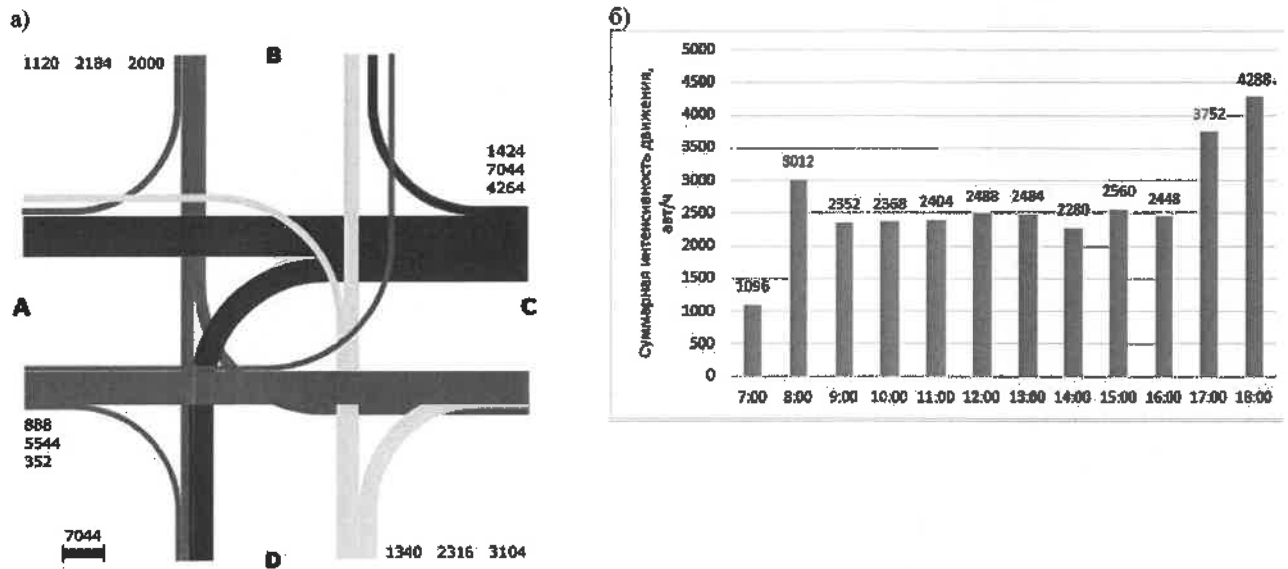


Рисунок 1 – Интенсивности движения на перекрестке ул. Интернациональная – пр-т Ленина: а – дифрограмма интенсивностей (с 07:00 до 19:00); б – интенсивности движения по часам суток

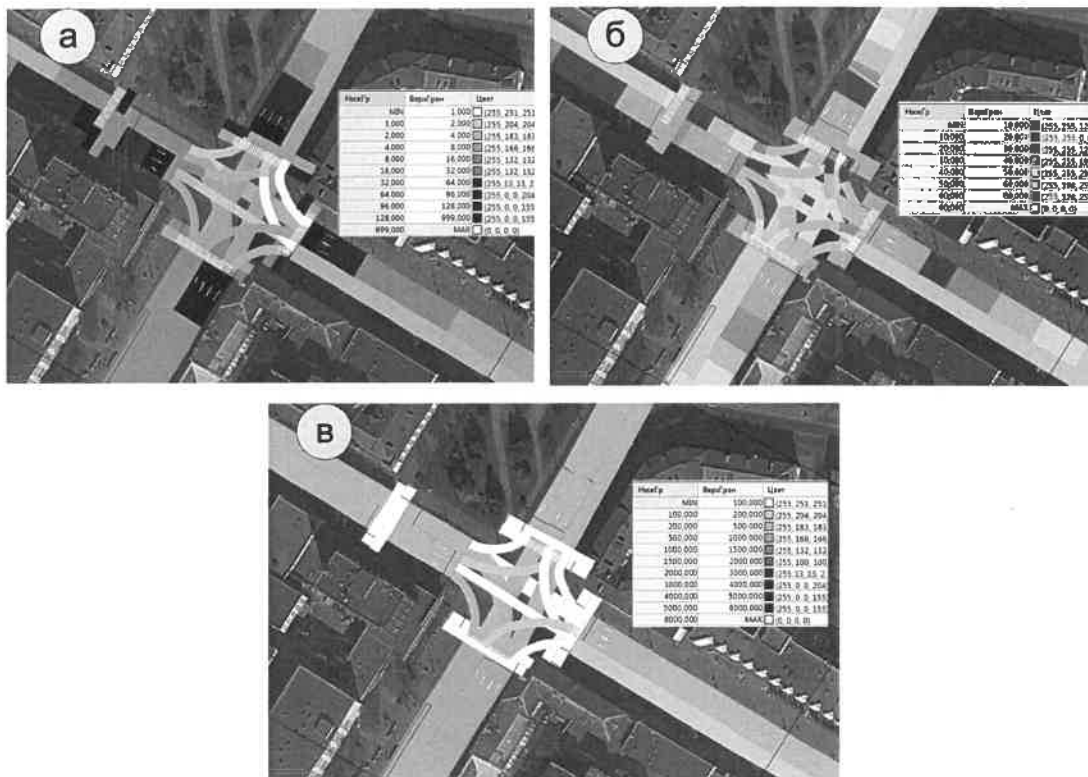


Рисунок 2 – Температурные графики параметров потоков на перекрестке ул. Интернациональная – пр-т Ленина: а – плотность; б – скорость; в – нагрузка

Из графика плотности транспортного и пешеходного потока (см. рисунок 2, а) следует, что плотность транспортных средств значительно увеличивается при подходе

к перекрестку, непосредственно перед светофором. Из графика скорости транспортных средств и пешеходов (см. рисунок 2, б) следует, что скорость на подходе к пере-

крестку значительно уменьшается. Из графика нагрузки транспортных средств и пешеходов видно, что нагрузка достаточно равномерна. Снижение скорости, увеличение плотности транспортного потока, особенно по пр-ту Ленина (со стороны вокзала), перед светофором, и по ул. Интернациональной (со стороны ЗИП), говорит о том, что фиксированное регулирование не позволяет обеспечить достаточно быстрый пропуск транспортных средств с ул. Интернациональной на пр-т Ленина, данное обстоятельство приводит к увеличению транспортных задержек.

Для повышения эффективности функционирования объектов исследования была произведена оптимизация параметров светофорного регулирования и корректировка пофазного разезда при помощи программного комплекса ArteryLite (Transyt). Также были оптимизированы циклы светофорного регулирования и длительности фаз для остальных объектов исследования.

Кроме оптимизации структуры и продолжительности параметров циклов светофорного регулирования в качестве мероприятий по повышению эффективности дорожного движения на исследуемых объектах было предложено введение адаптивного регулирования. Ниже приведено подробное описание этого процесса для перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина.

Суть адаптивного регулирования для перекрестка ул. Интернациональная – пр-т Ленина заключается в реализации алгоритма поиска разрыва в транспортном потоке в направлении действия разрешающего сигнала по ул. Интернациональной и пр-ту Ленина при фиксированных значениях управляющих параметров (время, определяющее разрыв в потоке, минимальная и максимальная длительности разрешающего сигнала). Сигнал переключается с разрешающего на запрещающий при обнаружении временного интервала между прибывающими к перекрестку автомобилями, большего или равного заданному. В противном случае длительность разрешающего сигнала увеличивается на длительность заданного интервала. Данный алгоритм на перекрестке был смоделирован с помощью программного продукта PTV Vissim.

Для введения адаптивного регулирования в указанной программе была создана логика управления светофорным объектом (рисунок 3). При этом разрыв в потоке констатируется при наличии интервала между следующими друг за другом транспортными средствами хотя бы 3 с, детекторы устанавливаются на расстоянии 30 м от стоп-линии (согласно немецким нормативам RiLSA).

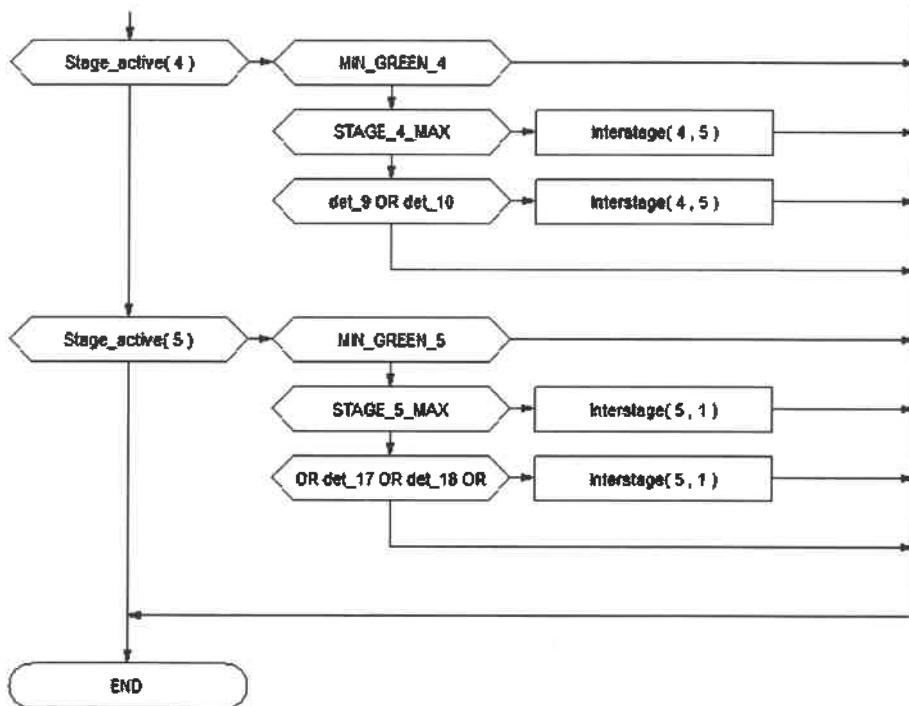


Рисунок 3 – Блок-схема логики управления светофорным объектом

На основе разработанной блок-схемы создан текстовый файл логики управления СФО для последующего применения данной логики в PTV Vissim. После этого создана сигнальная программа, на которой будет основываться работа СФО. В частности, заданы последовательность переключения групп сигналов и продолжительность переходных тактов, а также алгоритм определения разрыва в потоке и время, в течение которого данный алгоритм будет работать. Так, были заданы значения зеленого сигнала по ул. Интернациональная: минимальное – 16 с, максимальное – 22 с.

Далее был создан файл логики. Для этого создано требуемое количество сигнальных групп. В каждой из них выбрана последовательность сигналов и указано

стандартное время продолжительности каждого из сигналов в этих сигнальных группах. После этого была создана матрица промежуточных тактов. Она предназначена для указания времени (в секундах), которое необходимо, чтобы обеспечить бесконфликтное движение транспорта или пешеходов при смене фаз с конфликтующими сигнальными группами. Далее было создано необходимое количество фаз, которые будут использоваться в процессе регулирования ССУ. Затем каждой фазе присвоены разрешенные для движения сигнальные группы, а также указана используемая матрица промежуточных тактов.

Следующим этапом задания адаптивного светофорного регулирования в программе PTV Vissim является

создание фазовых переходов. Фазовым переходом называется промежуточный такт между основными тактами в цикле регулирования. Фазовый переход предназначен для безопасного завершения движения транспорта или пешеходов при смене основных тактов в цикле регулирования. Для того чтобы создать фазовые переходы, необходимо в левой части окна «VISSIG» выбрать пункт «Редактировать последоват. фаз», а в правой части

последовательно выбрать очередность работы фаз светофорного регулирования путем двойного нажатия левой клавишей мыши на необходимой фазе, которая представлена в верхней правой части этого окна (рисунок 4). На заключительном этапе по созданию адаптивного регулирования фазовые переходы были экспортированы в специализированный файл с расширением PUA.

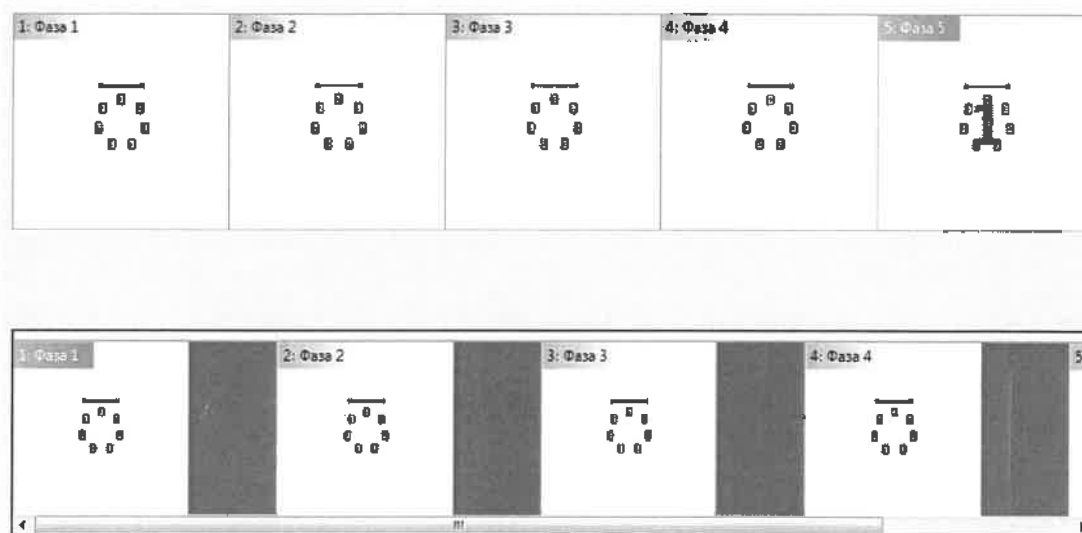


Рисунок 4 – Создание последовательности фаз

Аналогичным образом были созданы программы адаптивного регулирования для пересечений улиц Интернациональная – Катунина; Интернациональная – Гагарина; Интернациональная – Фрунзе; Бабушкина – Луначарского.

На последнем этапе работ был произведен расчет эффекта от реализации предлагаемых мероприятий. Результаты этого расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффект от предложенного мероприятия

Перекресток	Время	Параметры						
		Общее время задержки, ч				Количество остановок, ед.		
		Л	Г	О	Пеш	Л	Г	О
Интернациональная – Ленина	Будний	827,656	-1,786	344,219	1,766	480,703	-0,721	288,535
	Выходной	456,707	-0,482	203,058	1,657	317,219	-0,267	224,008
Интернациональная – Катунина	Будний	22,278	0,606	29,761	1,844	9,451	0,560	10,645
	Выходной	10,999	0,261	17,653	1,262	4,443	0,267	5,134
Интернациональная – Гагарина	Будний	31,575	2,134	38,220	1,144	13,062	0,881	9,797
	Выходной	14,369	0,244	23,855	0,537	1,711	-0,267	3,250
Интернациональная – Фрунзе	Будний	159,442	3,470	339,576	0,182	21,509	1,601	55,107
	Выходной	26,571	1,043	55,153	0,273	1,350	0,614	-0,989
Бабушкина – Луначарского	Будний	29,362	4,377	6,437	0,092	16,281	3,390	2,732
	Выходной	17,135	2,460	1,088	0,052	11,571	2,135	0,565

При расчете экономического эффекта от снижения задержек и остановок приняты следующие значения параметров: стоимость задержки для легкового автомобиля – 1,8 у.е./ч, стоимость остановки – 0,015 у.е./ост, стоимость задержки пешеходов – 0,25 у.е./ч. Стоимость задержки и остановки для остальных групп транспортных средств приведена к одноименной стоимости легкового автомобиля при помощи коэффи-

циентов приведения. Также при расчетах была учтена стоимость необходимого для реализации адаптивного регулирования оборудования (таблица 2). Проведенные расчеты показывают, что для каждого из рассмотренных объектов оптимизации срок окупаемости не превышает полгода, что говорит о целесообразности их реализации и высокой эффективности экономических вложений в них.

Таблица 2 – Экономический эффект от введения адаптивного регулирования на исследуемых объектах

Перекресток	Годовая экономия	Загрты			Эг	Е	Ток
		Детекторы	Контроллеры	Всего			
Интернациональная – Ленина	630695,7	17500	1550	19050	627838,2	33,1	0,03
Интернациональная – Катунина	23739,8	10000	1550	11550	22007,3	2,1	0,49
Интернациональная – Гагарина	29759,8	10000	1550	11550	28027,3	2,6	0,39
Интернациональная – Фрунзе	159852,0	13750	1550	15300	157557,0	10,4	0,10
Бабушкина – Луначарского	19969,9	7500	1550	9050	18612,4	2,2	0,45

## Список литературы

1 Dauhulevich, V. Reducing the negative impact of vehicles on air quality by optimizing the traffic light cycle at the intersection / V. Dauhulevich, S. Azemsha // *ECOLOGICA / glavni urednik Larisa Jovanović, God. 1, broj 1 (1994)*. – Beograd (Kneza Miloša 7a): Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije. – 2019. – Vol. 96. – P. 499–504.

2 Капитанов, П. И. Примененне научных методов в повышении эффективности функционирования перекрестков / П. И. Капитанов, В. И. Евланов // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (4–6 декабря 2019 г.) / отв. редактор А. В. Медведев. – Тюмень : ТИУ, 2020. – Т. 2. – 374 с. – С. 114–117.

3 Капитанов, П. И. Оценка влияния оптимизации цикла светофорного регулирования на безопасность дорожного дви-

жения / П. И. Капитанов, В. И. Евланов // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (4–6 декабря 2019 г.) / отв. редактор А. В. Медведев. – Тюмень : ТИУ, 2020. – Т. 2. – 374 с. – С. 118–122.

4 Основы транспортного моделирования : практ. пособие / А.Э. Горев [и др.]. – Серия «Библиотека транспортного инженера». – СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2015. – 168 с., ил.

5 Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов : [монография] / М. Р. Якимов. – М. : Логос, 2013. – 188 с.

6 Руководство по выполнению проектов в PTV VISSIM. – Санкт-Петербург, 2014. – 76 с.

7 Artery lite 4.0. Computer program. Serial number 9MBQ2-XJVU4-9KJ5V-BCQGS-4U6YT.

8 PTV Vissim 6. Computer program.

Получено 17.06.2020

**S. A. Azemsha, P. I. Kapitanau, V. I. Yaulanau.** Improvement of efficiency of road traffic at crossroads by adaptive control.

Generally regulated intersections allow for the passage of fairly intense traffic and pedestrian flows in cramped conditions of development. In cities, during periods of maximum increase in intensity, regulated intersections are heavily overloaded with transport, which is visually displayed as traffic jams. All this leads to a sharp increase in economic, environmental, emergency and social losses, which contradicts the concept of ensuring road safety in the Republic of Belarus.

In order to implement management and control at busy intersections since the middle of the last century, various automation elements have been introduced. With the growth of traffic in cities, the need to increase the level of automation of systems grew. At present, various algorithms of adaptive regulation of traffic light objects are known and widely used in the world. The Republic of Belarus is significantly behind in this regard. The aim of the work is to give an example of efficiency from the introduction of adaptive regulation at traffic lights and to simulate the implementation of such events in a specialized software product PTV Vissim.