



УДК 519.876.5:004.94

АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ СИТУАЦИИ НА САМАРСКОМ РАЗЪЕЗДЕ В Г. ВОЛГОГРАДЕ

А. А. Джевело

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье представлен анализ загруженности участка УДС г. Волгограда, а именно Самарского разъезда, на протяжении года по данным сервиса Яндекс.Пробки. С использованием теоремы Котельникова был определен период дискретизации. На основании исходных данных было проведено прогнозирование загруженности перекрестка на следующий, 2020 год. Прогнозирование было осуществлено в классе полиномиальных моделей. На основе результатов прогнозирования была подтверждена необходимость модернизации данного перекрестка и необходимость построения цифровой модели.

Ключевые слова: Транспортная инфраструктура, Логистика, Прогнозирование, моделирование перекрестка, интенсивности движения, Самара.

Для цитирования:

Джевело А. А. Анализ интенсивности дорожного движения и прогнозирование дорожной ситуации на самарском разъезде в г. Волгограде // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2(24), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 36-43. РИНЦ.

ANALYSIS OF THE INTENSITY OF ROAD TRAFFIC AND FORECASTING OF THE ROAD SITUATION AT THE SAMARA SECTION OF VOLGOGRAD

A. A. Dzhevelo

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article presents an analysis of the workload of the UDS section of the city of Volgograd, namely the Samara Riding, during the year according to the Yandex.Traffic service. Using the Kotelnikov theorem, the discretization period was determined. Based on the initial data, a forecast was made for the traffic intersection for the next year 2020. Prediction was carried out in the class of polynomial models. Based on the forecasting results, the need to modernize this intersection and the need to build a digital model was confirmed.

Key words: Transport infrastructure, Logistics, Forecasting, intersection modeling, traffic intensities, Samara.

For citation:

Dzhevelo A. A. Analysis of the intensity of road traffic and forecasting of the road situation at the samara section of Volgograd // System analysis and logistics.: № 2(24), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2020 – p. 36-43.

Введение

Общие тренды 20 века, такие как индустриализация и урбанизация, привели людей в города и дали им возможность приобрести личный автомобиль. Таким образом, рост показателя урбанизации и автомобилизации населения растет экспоненциально более века – глобальный тренд не смогли остановить войны, финансовые и топливные кризисы, экологические проблемы [1, 2].

В свою очередь, города на территории бывшего СССР строились на протяжении всего 20 века – особенно активно в его середине. Одним из ярких примеров таких городов является Волгоград – бывший Царицын и Сталинград, разрушенный до основания в ходе Второй Мировой Войны. Наскоро, хоть и добротнo отстроенный, город получил совершенно новую, в отличие от Царицынской, улично-дорожную сеть – основной нового города стали две параллельные улицы – Первая и Вторая продольные.

Получив от советских планировщиков и архитекторов широкие улицы, проспекты и площади, Волгоград, однако оказался не готов к вызовам нового века. Как только личный автомобиль перестал



быть дефицитной роскошью, показатели автомобилизации на 1000 человек стали стремительно расти по всей территории РФ. По мере приближения этого показателя к изначально заложенным (200 автомобилей на 1000 жителей), город начал вставать в пробки. На момент 2020 года этот показатель составляет ок. 290 автомобилей на 1000 жителей [4]. Напомним, что в развитых странах этот показатель составляет ок. 500-600 автомобилей на 1000 человек. Это ставит перед дорожными службами Волгограда новую задачу – модернизацию транспортной инфраструктуры с использованием мирового опыта и передовых технологий.

Модели и методы оптимизации

Одним из методов оптимизации структуры дорожной сети является создание компьютерных моделей и проведение имитационных экспериментов с целью выявления проблемных мест и дальнейшего определения оптимальной (в некотором смысле) структуры дорожной сети. Но, поскольку крупные инфраструктурные проекты предполагают значительные объемы финансирования, необходимо обосновать необходимость модернизации транспортной инфраструктуры города. Обоснование необходимости данной модернизации является целью данной статьи. Для того, чтобы описывать транспортный поток, необходимо определиться со способом, которым транспортный поток будет описываться в данном исследовании. Транспортный поток (ТП) – упорядоченное транспортной сетью движение транспортных средств [3, 4, 5]. Транспортный поток разнороден, имеет статические и динамические характеристики. Наиболее часто применяемые характеристики транспортного потока – интенсивность транспортного потока N_a , его состав по типам транспортных средств, плотность потока, скорость движения, задержки движения. Интенсивность ТП определяется как число транспортных средств, проезжающих через сечение дороги за единицу времени [6]. Поскольку транспортный поток представляет собой непрерывную во времени величину, а исследование непрерывных процессов является затруднительным процессом, необходимо представить транспортный поток как совокупность некоторых дискретных отсчетов, описывающих состояние транспортного потока в некоторые участки времени. Для получения подобных отсчетов во времени, необходимо провести дискретизацию изучаемого явления.

Дискретизация – переход от непрерывного (аналогового) сигнала к достаточно близкому ему по значению дискретному сигналу, описываемому разрывной функцией времени. Пример дискретного сигнала – последовательность коротких импульсов с одинаковой частотой во времени, но с изменяющейся амплитудой.

Обработка и передача дискретной информации имеет ряд преимуществ по сравнению с информацией, заданной в непрерывном виде. Информация в виде дискретных сигналов менее подвержена искажениям в процессе передачи и хранения, дискретные сигналы легко преобразуются в двоичный цифровой код и обрабатываются с помощью цифровых вычислительных устройств.

Процесс дискретизации состоит обычно из двух этапов: дискретизации по времени и дискретизации (квантования) по уровню.

Рассмотрим дискретизацию аналогового сигнала по времени. Он представляет собой процесс формирования выборки аналогового сигнала в некие моменты времени, являющимися кратными периоду дискретизирующей последовательности Δt .

Дискретизирующей последовательностью называется периодическая последовательность отсчетов времени, задающая сетку дискретного времени [1, 2].

Период дискретизации Δt – интервал времени между двумя последовательными отсчетами аналогового.

При выборе частоты дискретизации по времени можно воспользоваться теоремой В. А. Котельникова. Теорема отсчетов \ (теорема Котельникова) – теорема, определяющая выбор периода дискретизации Δt аналогового сигнала в соответствии с его спектральной характеристикой [1].



Согласно теореме, всякий непрерывный сигнал, имеющий ограниченный частотный спектр, можно полностью определить его дискретными значениями в моменты отсчета, отстоящие друг от друга на интервалы времени:

$$Dt = \frac{1}{(2F_{\max})}, \quad (1)$$

где F_{\max} – максимальная частота в спектре сигнала. Т.е., дискретизация по времени не связана с потерей информации, если частота дискретизации $f_{\text{дискр.}} = \frac{1}{Dt}$ в два раза выше указанной верхней частоты сигнала F_{\max} .

На основании вышеизложенной информации, можно спрогнозировать поведение транспортного потока на исследуемом перекрестке (и на общей транспортной инфраструктуре города) в будущем. Поскольку одной из главных целей модернизации транспортной инфраструктуры в целом и Самарского Разъезда в частности является отсутствие заторов и увеличение пропускной способности перекрестка, можно выбрать как показатель загруженности перекрестка значение пробок на сервисе Яндекс.Пробки. Чем балл оценки дорожной ситуации выше, тем более перекресток загружен, и тем больше дорожных заторов образуется на перекрестке.

В ходе исследования, проводившегося с марта 2019 года до марта 2020 года в г. Волгограде, собирались показатели загруженности Самарского разъезда с сервиса Яндекс.Пробки. Для обеспечения адекватного прогноза, бралось среднее значение с сервисов каждые 3 часа. Затем, производился поиск среднего значения за день, неделю и месяц. Образец поиска среднего значения за неделю представлен в таблице 1.

Таким образом, частота дискретизации исследуемого явления (баллов Яндекс.Пробки) принимается равным 1 месяцу, для осуществления прогноза на год вперед.

Для осуществления прогнозирования, необходимо составить таблицу развития дорожной ситуации на участке Самарского разъезда с использованием полиномов. Исследуемый параметр – баллы Яндекс.Пробок [8, 9], получаемые из онлайн-сервисов. Прогнозируемый период – отрезок с 03.2020, до 02.2021.

Результаты прогнозов представлены в таблице 2.

Как видно из таблиц 3 и 4, наименьшее значение коэффициента вариации и средних значений погрешности обеспечивает степенная функция. Следовательно, она является оптимальной для данной выборки значений. Таким образом, прогноз на 2020 год будет корректен по расчету степенной линии тренда.

Таблица 1 – Определение интервала прогнозирования

ср. балл Яндекс	линейная	логарифмическая	экспоненциальная	полиномиальный n=2	полиномиальный n=3	полиномиальный n=4	полиномиальный n=5	полиномиальный n=6	степенной
6,8532	6,6505	6,667	6,651465	6,7952	6,8653	6,8455	6,85516	6,86122	6,668
6,7542	6,6758	6,717946	6,676121	6,7415	6,7355	6,7506	6,73442	6,71778	6,717638
6,6242	6,7011	6,747748	6,700868	6,7036	6,6599	6,6763	6,67108	6,68198	6,746846
6,6743	6,7264	6,768893	6,725707	6,6815	6,6301	6,6292	6,63994	6,67582	6,767646
6,6641	6,7517	6,785294	6,750639	6,6752	6,6377	6,6111	6,6302	6,7053	6,783824
6,6524	6,777	6,798694	6,775662	6,6847	6,6743	6,619	6,64066	6,82682	6,797071
6,6753	6,8023	6,810024	6,800779	6,71	6,7315	6,6451	6,67492	7,12798	6,808291
6,7543	6,8276	6,819839	6,825988	6,7511	6,8009	6,6768	6,73658	7,72278	6,818026
6,8945	6,8529	6,828496	6,851291	6,808	6,8741	6,6967	6,82444	8,76122	6,826624
6,9678	6,8782	6,83624	6,876688	6,8807	6,9427	6,6826	6,9277	10,4533	6,834324



6,9743	6,9035	6,843245	6,902179	6,9692	6,9983	6,6075	7,02116	13,10742	6,841298
6,9846	6,9288	6,849641	6,927764	7,0735	7,0325	6,4396	7,06042	17,18318	6,84767
	7,2324	6,900587	7,242288	9,5575	2,7161	-20,9408	-60,032	959,5074	6,898646
	6,88013 5	7,096975	8,23071	5,65016	-2,83113	-11,318	286,7582	6,878151	

Таблица 2 – Результаты прогнозов

Дата	Интервал	Яндекс пробки	Ср. знач. За день	Ср. знач. За нед.	Дата	Интервал	Яндекс пробки	Ср. знач. За день	Ср. знач. За нед.	
01.02.20, сб	07:00-10:00	5	5,8	6,77143	15.02.20, сб	07:00-10:00	5	6	6,88571	
	10:00-13:00	5				10:00-13:00	6			
	13:00-16:00	6				13:00-16:00	6			
	16:00-19:00	7				16:00-19:00	7			
	19:00-22:00	6				19:00-22:00	6			
02.02.20, вс	07:00-10:00	5	5,8		16.02.20, вс	07:00-10:00	5	6		6
	10:00-13:00	6				10:00-13:00	6			
	13:00-16:00	6				13:00-16:00	7			
	16:00-19:00	7				16:00-19:00	7			
	19:00-22:00	5				19:00-22:00	5			
03.02.20, пн	07:00-10:00	8	6,8		17.02.20, пн	07:00-10:00	8	7		7
	10:00-13:00	6				10:00-13:00	6			
	13:00-16:00	6				13:00-16:00	7			
	16:00-19:00	9				16:00-19:00	9			
	19:00-22:00	5				19:00-22:00	5			
04.02.20, вт	07:00-10:00	8	7	18.02.20, вт	07:00-10:00	8	7	7		
	10:00-13:00	7			10:00-13:00	7				
	13:00-16:00	6			13:00-16:00	6				
	16:00-19:00	9			16:00-19:00	9				
	19:00-22:00	5			19:00-22:00	5				
05.02.20, ср	07:00-10:00	8	7,2	19.02.20, ср	07:00-10:00	8	7,2	7,2		
	10:00-13:00	7			10:00-13:00	7				
	13:00-16:00	7			13:00-16:00	7				
	16:00-19:00	8			16:00-19:00	8				
	19:00-22:00	6			19:00-22:00	6				
06.02.20, чт	07:00-10:00	8	7,2	20.02.20, чт	07:00-10:00	8	7,4	7,4		
	10:00-13:00	6			10:00-13:00	7				
	13:00-16:00	7			13:00-16:00	7				
	16:00-19:00	9			16:00-19:00	9				
	19:00-22:00	6			19:00-22:00	6				
07.02.20, пт	07:00-10:00	8	7,6	21.02.20, пт	07:00-10:00	8	7,6	7,6		
	10:00-13:00	6			10:00-13:00	6				
	13:00-16:00	7			13:00-16:00	7				
	16:00-19:00	9			16:00-19:00	9				
	19:00-22:00	8			19:00-22:00	8				
08.02.20, сб	07:00-10:00	5	6	22.02.20, сб	07:00-10:00	5	6,2	6,2		
	10:00-13:00	6			10:00-13:00	6				
	13:00-16:00	6			13:00-16:00	7				
	16:00-19:00	7			16:00-19:00	7				
	19:00-22:00	6			19:00-22:00	6				
09.02.20, вс	07:00-10:00	6	6	23.02.20, вс	07:00-10:00	6	6	6		
	10:00-13:00	6			10:00-13:00	6				
	13:00-16:00	6			13:00-16:00	6				
	16:00-19:00	7			16:00-19:00	7				
	19:00-22:00	5			19:00-22:00	5				
10.02.20, пн	07:00-10:00	9	7,2	24.02.20, пн	07:00-10:00	9	7,4	7,4		
	10:00-13:00	6			10:00-13:00	7				
	13:00-16:00	7			13:00-16:00	7				
	16:00-19:00	9			16:00-19:00	9				
	19:00-22:00	5			19:00-22:00	5				
11.02.20, вт	07:00-10:00	8	7	25.02.20, вт	07:00-10:00	8	7,2	7,2		
	10:00-13:00	7			10:00-13:00	7				
	13:00-16:00	6			13:00-16:00	7				
	16:00-19:00	8			16:00-19:00	8				
	19:00-22:00	6			19:00-22:00	6				
12.02.20, ср	07:00-10:00	8	7,2	26.02.20, ср	07:00-10:00	8	7,2	7,2		
	10:00-13:00	7			10:00-13:00	7				
	13:00-16:00	6			13:00-16:00	6				
	16:00-19:00	9			16:00-19:00	9				
	19:00-22:00	6			19:00-22:00	6				
13.02.20, чт	07:00-10:00	8	7	27.02.20, чт	07:00-10:00	8	7	7		
	10:00-13:00	6			10:00-13:00	6				
	13:00-16:00	6			13:00-16:00	6				
	16:00-19:00	9			16:00-19:00	9				
	19:00-22:00	6			19:00-22:00	6				
	07:00-10:00	8		28.02.20, пт	07:00-10:00	8				



14.02.20, пт	10:00-13:00	7	7,6			10:00-13:00	7	7,6	
	13:00-16:00	6				13:00-16:00	6		
	16:00-19:00	9				16:00-19:00	9		
	19:00-22:00	8				19:00-22:00	8		

Значения СКО, коэффициента вариации, среднее значение столбца, параметр R^2 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения СКО, Коэфф. Вар., Ср. Знач., R^2

	линейная	логарифмическая	Экспоненциальная	полиномиальный n=2	полиномиальный n=3	полиномиальный n=4	полиномиальный n=5	полиномиальный n=6	степенной
СКО	0,087336	0,05318889	0,08670	0,12070	0,136309	0,09195	0,14557	3,17340	0,05236
Ср. Знач.	6,78965	6,78942168	6,788763	6,78951	6,79856	6,65666	6,784723	8,7354	6,78810
Коэфф. Вар.	0,012863	0,00783408	0,012772	0,01777	0,02005	0,013814	0,021456	0,36328	0,00771
R^2	0,0741	0,0002	0,041	0,4535	0,7119	0,727	0,7674	0,7709	0,0041

Расчеты значений погрешности функций представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет погрешности

расчет погр.	лин погр	лог погр	эксп погр	пол2 погр	пол3 погр	пол4 погр	пол5 погр	пол6 погр	степ погр
1	-2,957742	-2,71697893	-2,94366	-0,84632	0,17656	-0,1123	0,0286	0,117026	-2,7023
2	-2,588572	-1,97358434	-2,58389	-1,6299	-1,71745	-1,4971	-1,7332	-1,97601	-1,9780
3	-2,219401	-1,53872638	-2,22278	-2,18292	-2,82058	-2,5812	-2,65744	-2,49839	-1,5518
4	-1,850231	-1,23018975	-1,86034	-2,5054	-3,25541	-3,2685	-3,11183	-2,58828	-1,2483
5	-1,48106	-0,99087015	-1,49655	-2,59733	-3,14452	-3,5326	-3,25395	-2,15812	-1,0123
6	-1,111889	-0,79533180	-1,13141	-2,45871	-2,61046	-3,4173	-3,10132	-0,38493	-0,8190
7	-0,742719	-0,63000647	-0,76492	-2,08953	-1,77581	-3,0365	-2,60141	4,009514	-0,6552
8	-0,373548	-0,48679517	-0,39707	-1,48981	-0,76315	-2,5739	-1,70169	12,68867	-0,5132
9	-0,004378	-0,36047384	-0,02785	-0,65955	0,304967	-2,2836	-0,41966	27,8413	-0,3877
10	0,3647931	-0,24747556	0,342729	0,401272	1,305959	-2,4893	1,087083	52,53166	-0,2754
11	0,7339637	-0,14525619	0,714684	1,69264	2,117259	-3,5851	2,450826	91,25985	-0,1736
12	1,1031343	-0,05193721	1,088019	3,214557	2,616296	-6,0351	3,023697	150,7322	-0,0806
среднее	-0,927304	-0,93063548	-0,94025	-0,92925	-0,79719	-2,8677	-0,99919	27,46454	-0,9498

Ниже представлены графики функций от полиномиальных прогнозов различных степеней, полученные по данным таблицы 2.

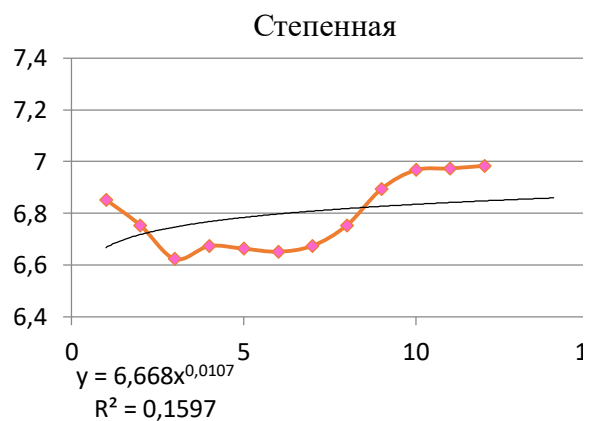
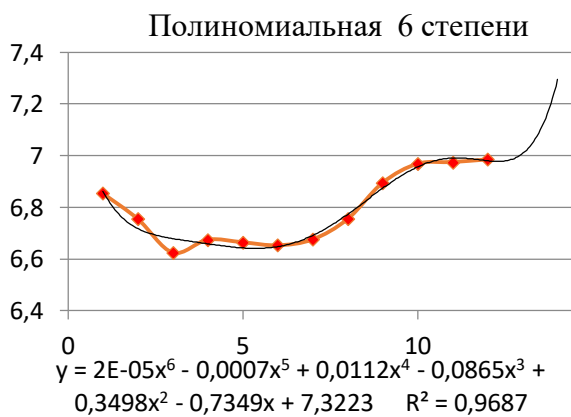
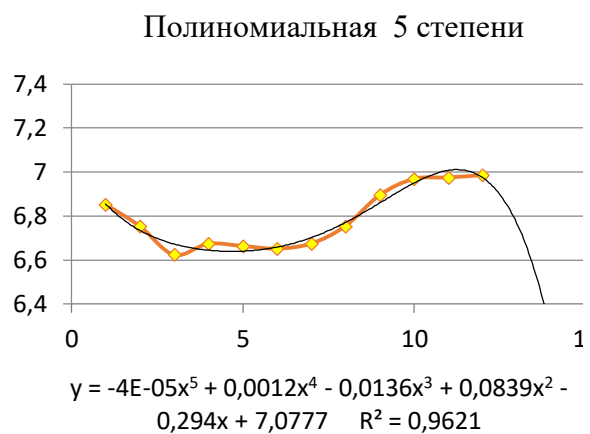
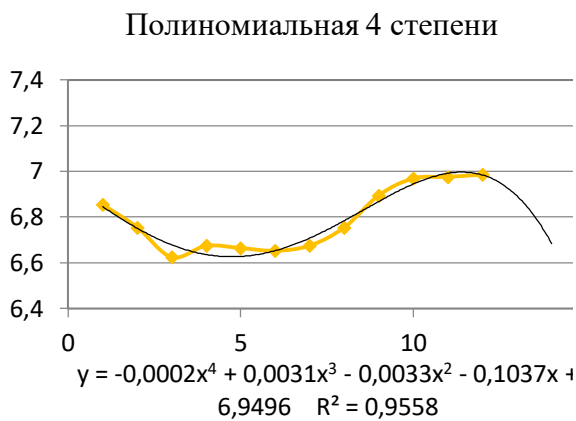
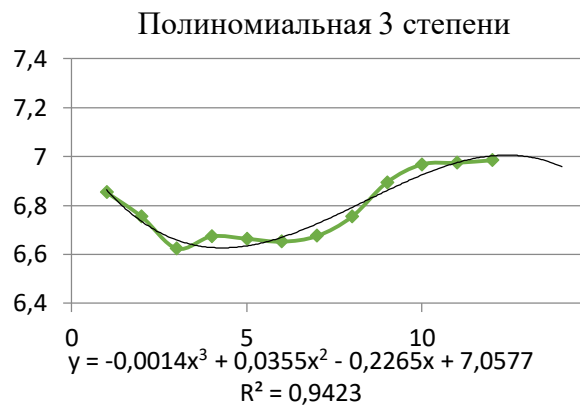
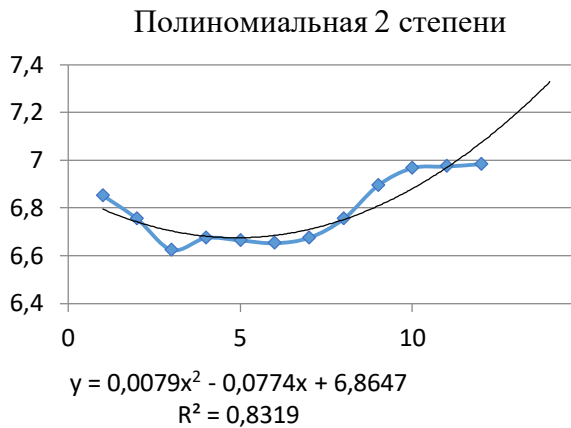


Рис. 1. Построенные функции в классе полиномиальных моделей для долгосрочного прогнозирования

Таким образом, получены прогнозные данные о загруженности перекрестка на следующий, 2020 год. Данные показывают, что загруженность перекрестка будет расти, и к концу расчетного периода составит 6.89 баллов Яндекс Пробок в среднем за месяц. Следовательно, можно сделать заключение о необходимости модернизации существующей организации движения на Самарском разъезде. Определить оптимальную схему движения можно средствами имитационного моделирования, например, пакетом Vissim Vissum. Существующая, неоптимальная организация движения на перекрестке показана на рисунке 2.

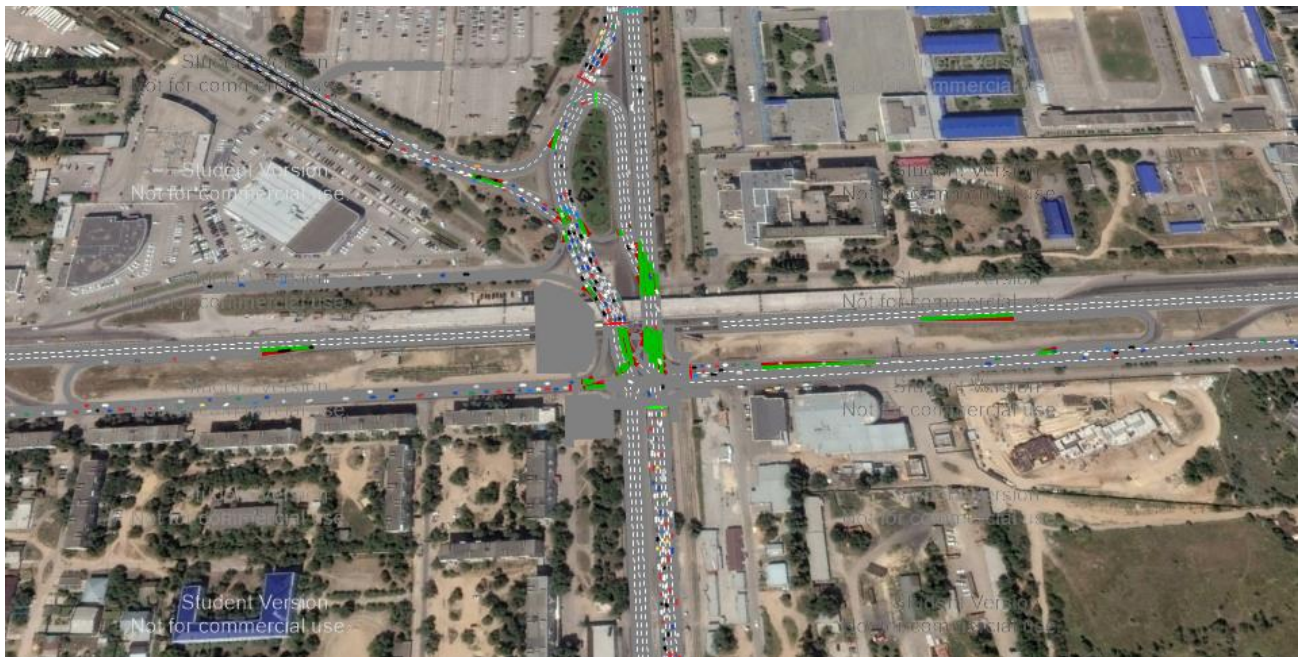


Рис. 2. Существующая неоптимальная организация движения на Самарском Разъезде г. Волгограда, симитированная в программе Vissim Vissum

Заключение

Используя теорему Колмогорова о частоте дискретизации, была рассчитана частота дискретизации для исследуемого объекта – Самарского разъезда г. Волгограда. В ходе проведенного в 2019 г. Исследования, были замерены значения пробок с сервиса Яндекс. Пробки, используемые в работе. Путем поиска среднего значения показателя сервиса за день, неделю, месяц был определен период дискретизации в 1 месяц.

С использованием логарифмической, степенной, линейной, полиномиальных моделей различных порядков, была спрогнозирована загруженность перекрестка на 2020 год. Наиболее адекватное значение по интересующей нас выборке дала степенная функция. Результаты прогноза с использованием степенной функции дали следующие значения: СКО - 0,05236; Коэффициент вариации – 0,00771, R^2 - 0.041.

По результатам прогнозирования, была выявлена необходимость модернизации существующей организации движения на Самарском Разъезде г. Волгограда. Один из возможных способов достигнуть оптимальной организации движения на перекрестке – имитационное моделирование в среде Vissim Vissum.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев, В. Н.* Анализ временных рядов и прогнозирование : учебник / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. — М. : Финансы и статистика ; ИНФРА-М, 2010.
2. *Майоров, Н.Н.* Системный анализ / Н. Н. Майоров, В.А. Фетисов, В.Е. Таратун, Романек В.А. - СПб. :ГУАП, 2016. - 137 с.
3. *Майоров, Н.Н.* моделирование транспортных процессов / Н. Н. Майоров, В.А. Фетисов - СПб. : Изд-во ГУАП, 2011. - 163 с.
4. *Зольников В.А.* Модель движения машин на Т-образном перекрестке // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докл. Пятой Всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2011. Т. 2. СПб.: ОАО «ЦТСС», 2011. С. 104–108.



5. Introduction to the mathematical modeling of traffic flows. Ed. Gasnikov A.V., with a foreword by hand of the Department of Transport in Moscow Liksutov M.S. M.: MCCME, 2013. (In Russian).
6. *Smirnov, N.N.*, Kiselev, A.B., Nikitin, V.F., Kokoreva, A.V. Mathematical modeling of traffic flow methods of continuum mechanics. Two-way traffic: Model T-junction, study of the effect of rebuilding vehicles on the highway section bandwidth. MIPT Proceedings. Moscow. 2010. V. 2, N 4. P. 141–151.
7. *Светуных, И. С.* Новые коэффициенты оценки качества эконометрических моделей / И. С. Светуных // Прикладная эконометрика. 2011. № 4 (24). С. 85–99.
8. Сайт Техэксперт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/553106477> (дата обращения: 02.03.2020).
9. Сайт Яндекс.Карты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yandex.ru/maps/38/volgograd/> (дата обращения: 05.05.2020 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Джевело Александр Александрович –
кафедра системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: dzhevelo97@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dzhevelo Alexandr Alexandrovich –
master of the department of system analysis and logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: dzhevelo97@yandex.ru