

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО

УДК 629

DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_66

## О ВЛИЯНИИ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ПОДВИЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ДОРОЖНЫХ МЕТЕОСТАНЦИЙ

**М.Е. Елисеев**ORCID: 0000-0002-8522-899X e-mail: [eliseevmic@mail.ru](mailto:eliseevmic@mail.ru)Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***М.Г. Корчажкин**ORCID: 0000-0003-0989-9000 e-mail: [kormg@list.ru](mailto:kormg@list.ru)Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия***И.Н. Елисеева**ORCID: 0000-0002-7141-0707 e-mail: [eliseevair@mail.ru](mailto:eliseevair@mail.ru)Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева  
*Нижний Новгород, Россия*

Рассмотрено влияние метеоусловий на подвижность транспортных средств. Важным фактором, существенно влияющим на подвижность транспортных средств и безопасность дорожного движения, является количество осадков в виде снега, выпавших в зимний период. Предлагается подход к вычислению необходимого количества дорожных метеостанций для крупного города и анализируются принципы их расположения. В качестве основных факторов предлагаются: рельеф местности, величины транспортных потоков, места концентрации аварий с сопутствующими погодными факторами, равномерность покрытия метеостанциями территории города. Дается пример применения теории для г. Нижний Новгород. Его важной географической особенностью является расположение его территории на разных берегах р. Ока, при этом рельефы правобережной и левобережной частей значительно отличаются. Итоговый вариант расположения метеостанций планируется использовать при проектировании интеллектуальной транспортной системы Нижнего Новгорода.

**Ключевые слова:** подвижность транспортных средств, дорожная метеостанция, снег, безопасность дорожного движения, ИТС.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Елисеев, М.Е. О влиянии на подвижность транспортных средств метеоусловий и определении оптимального количества и расположения дорожных метеостанции / М.Е. Елисеев, М.Г. Корчажкин, И.Н. Елисеева // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2022. № 3. С. 66-74.  
DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_66

## ABOUT THE IMPACT OF WEATHER CONDITIONS ON MOBILITY OF VEHICLES, AND DETERMINATION OF THE OPTIMAL NUMBER AND LOCATION OF ROAD WEATHER STATIONS

**M.E. Eliseev**ORCID: 0000-0002-8522-899X e-mail: [eliseevmic@mail.ru](mailto:eliseevmic@mail.ru)Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**M.G. Korchazhkin**

ORCID: **0000-0002-8522-899X** e-mail: **kormg@list.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**I.N. Eliseeva**

ORCID: **0000-0002-7141-0707** e-mail: **eliseevair@mail.ru**  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** Impact of weather conditions on mobility of vehicles is considered. Approach to calculation of the required number of road weather stations for a big city is proposed, and principles of their location are analyzed. Terrain, ratings of traffic streams, accidents concentration spots with accompanying weather factors, uniformity of coverage of the city territory by weather stations, are proposed as the main factors affecting the location of road weather stations. Example of the theory application for the city of Nizhny Novgorod is given.

**Key words:** mobility of vehicles, road weather station, snow, road safety, ETS.

**FOR CITATION:** M.E. Eliseev, M.G. Korchazhkin, I.N. Eliseeva. About the impact of weather conditions on mobility of vehicles, and determination of the optimal number and location of road weather stations. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. № 2. Pp. 66-74. DOI: 10.46960/1816-210X\_2022\_3\_66

## Введение

В соответствии с [1], подвижность – это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин, определяющее их способность выполнять поставленные задачи с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и техническому состоянию самой машины. Это подразумевает адаптивность машины к внешним условиям, в числе которых, безусловно, рассматриваются состояние дорожного полотна, условия видимости и т.д. Для повышения подвижности одной из важных задач является выбор оптимального режима движения. В работах [2-5] рассматривается влияние снежного покрова на подвижность транспортных средств (ТС). В частности, в [2] даются формулы расчета проходимости и эффективности машин в зависимости от глубины и плотности снега.

При передвижении по дорогам крупного города метеоусловия также существенным образом влияют на подвижность и безопасность: так, в [6] устанавливается связь между метеоусловиями и количеством дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Во многих городах России в настоящее время внедряются интеллектуальные транспортные системы (ИТС), основной задачей которых является управление транспортным процессом. Для выбора управляющего воздействия, с целью повышения подвижности ТС, необходимо иметь достоверную информацию о состоянии дорожного полотна, условиях видимости и т.п. С целью сбора такой информации в архитектуру ИТС включена подсистема метеомониторинга. Ключевой задачей, возникающей при проектировании данной подсистемы, является определение необходимого количества автоматических дорожных метеостанций (АДМС) и их расположения. В ГОСТ 56829-2015 «Интеллектуальные транспортные системы» [7] эти характеристики не определяются.

## Определение количества метеостанций

Имеется несколько подходов к определению количества метеостанций. В работе [8] рассматривается экономическое обоснование количества АДМС. Ввиду того, что одна из главных задач введения подсистемы метеомониторинга – снижение аварийности путем определения безопасных режимов движения и мер воздействия на транспортную систему представляется целесообразным, рассмотреть меру влияния аварийноопасных факторов. К

таким факторам можно отнести погодные факторы, более точно – сочетание погодных факторов [6], в частности, к ним можно отнести выпадение осадков в виде снега. Снежный покров влияет не только на безопасность дорожного движения, но и на подвижность транспортных средств [2, 5].

В качестве параметров для расчета, необходимого количества метеостанций предлагается использовать следующие:

- количество жителей города (области);
- количество осадков в виде снега, количество дней с выпадением осадков в зимний период;
- количество аварий, доля аварий в зимний период;
- величины транспортных потоков;
- тип рельефа в городе (области).

Рассматривались 8 городов России, с количеством жителей более 1 млн чел.: Нижний Новгород, Новосибирск, Екатеринбург, Челябинск, Самара, Омск, Уфа, Воронеж. Определялся уровень осадков в виде снега за три зимних месяца, за последние шесть лет по данным метеостанций [9]. На рис. 1 показана гистограмма количества осадков, на рис. 2 – количество дней с осадками в зимний период за шесть лет.

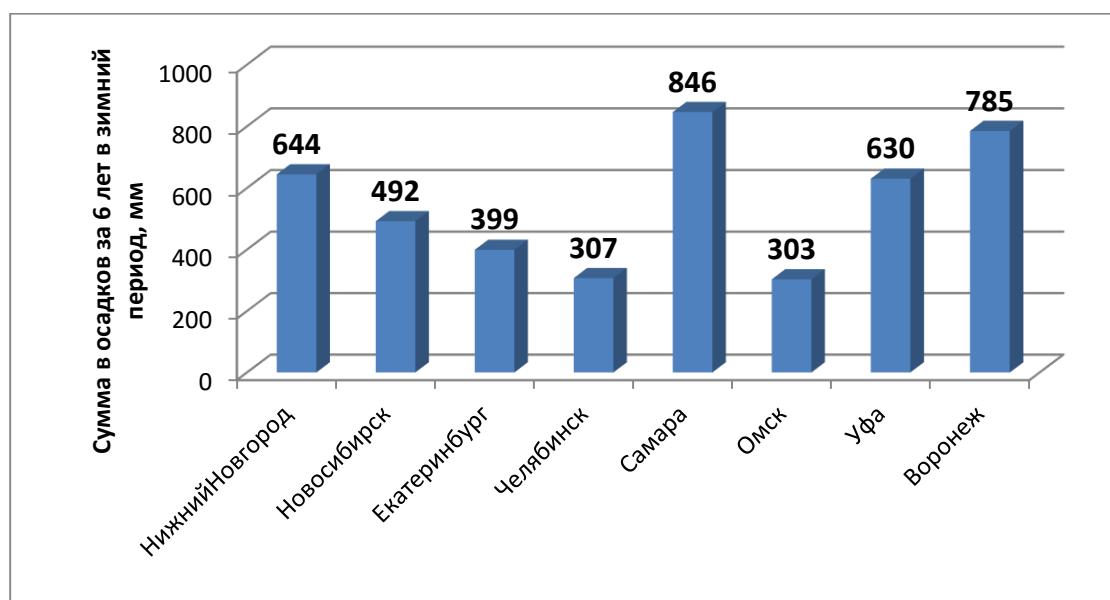


Рис. 1. Суммарное количество осадков (в виде снега) в зимний период (2017-2022 гг.)

Fig. 1. Total snow precipitation in winter (2017-2022)

Полные вычисления по формулам из [8] весьма громоздки, поэтому приводятся фрагменты анализа для Нижнего Новгорода. В качестве основных параметров расчета используются: площадь Нижегородской области – 76 624 км<sup>2</sup>, численность населения Нижегородской области – 3 144 254 чел. (2022 г.), численность населения Нижнего Новгорода – 1 244 254 чел. (2022 г.), площадь Нижнего Новгорода – 410,68 км<sup>2</sup>, уровень автомобилизации – 0,286 (машин на тыс. чел.), средняя стоимость комплекса АДМС, его прогнозная стоимость, срок эксплуатации, техническое обслуживание и т.п. На данный момент расчет ряда параметров, например, прогнозной стоимости и стоимости эксплуатации на достаточно длительный период значительно затруднено, т.к. экстраполяция может давать большую ошибку ввиду значительного колебания данных параметров.

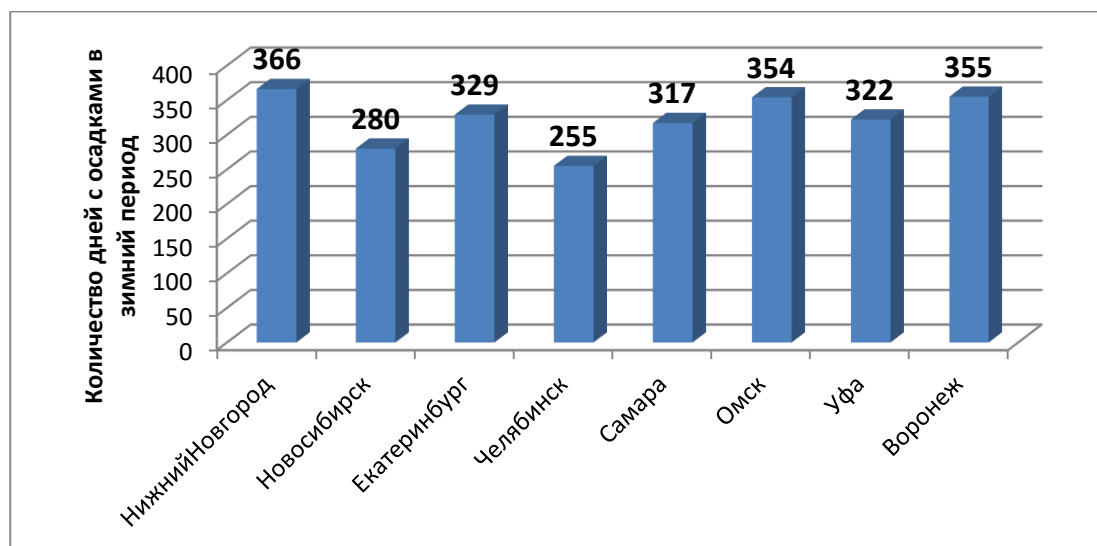


Рис. 2. Суммарное количество дней с осадками (в виде снега) в зимний период за 2017-2022 гг.

Fig. 2. Total number of days with snow precipitation in the winter period for 2017-2022

На первом шаге определяются:

- стоимость материалов – средняя цена метеостанции, стоимость ее установки и обслуживания, а также расходных материалов (периодически некоторые из блоков требуют замены);
- эффект по повышению безопасности дорожного движения, достигающийся за счет установки АДМС;
- суммарный пробег ТС.

На втором шаге территория разделяется на зоны и разрабатываются модели для оценки общей выгоды, которые могут быть получены в результате установки АДМС в заданном участке автомагистрали по сравнению со сценарием без станции.

На третьем шаге анализируются особенности расположения АДМС и выбирается оптимальное расположение.

Учет перечисленных выше параметров и рассмотренного подхода из [8], дополненного данными о количестве осадков в зимний период, позволяет оценить экономически обоснованное количество АДМС для Нижегородской области – 15, из которых 5 приходится на Нижний Новгород.

### Принципы расположения метеостанций на примере Нижнего Новгорода

После того, как количество метеостанций определено, необходимо выбрать конкретные точки для их расположения. В работе [10] указывается, что одним из ключевых факторов расположения является рельеф местности.

Предлагается следующий набор факторов, влияющих на выбор расположения метеостанций в крупном городе:

- рельеф местности;
- величины транспортных потоков;
- места концентрации ДТП с дополнительными факторами снег, снежный накат, гололеда и другие погодные (или связанные с погодой) факторы;
- равномерность покрытия АДМС территории крупного города.

Величины транспортных потоков необходимо учитывать ввиду того, что с расположением АДМС в интеллектуальной транспортной системе непосредственно связаны инфор-

мационные дисплеи (ДИТ) и знаки переменной информации (ЗПИ). Если рельеф местности не имеет значительных перепадов по высоте, показатели АДМС достаточно равномерны даже на значительном (500 м и более) от метеостанции, если же перепад высот значителен, то на участке дороги, удаленном от АДМС даже на 100 м состояние дорожного полотна и другие характеристики могут значительно отличаться [10]. Известно, что местами повышенной аварийности в зимний период, как правило, являются участки улично-дорожной сети (УДС) со значительным перепадом высот, а также мостовые сооружения и виадуки. Тем не менее, без детального исследования мест концентрации ДТП с сопутствующими факторами: снег, снежный накат, гололедица и т.п., нельзя голословно утверждать, что данный участок УДС является аварийноопасным. С методами анализа аварийности в зимний период можно ознакомиться в [6, 11, 12]. От равномерности покрытия АДМС территории города, как уже указывалось выше, зависит точность показаний в конкретной точке города. Тем не менее, равномерность покрытия нужно также рассматривать в привязке к транспортным магистралям города и учитывать рельеф. Таким образом, задача об оптимальном расположении АДМС имеет большое число факторов, которые нередко противоречат друг другу, поэтому достаточно сложно дать общий подход расчета географического расположения АДМС. Представляется целесообразным на основании возможно более полного учета описанных выше четырех групп факторов сформировать несколько вариантов (сценариев) расположения АДМС и затем, проведя сравнительный анализ, выбрать оптимальный вариант расположения.

Рассмотрим применение описанного подхода на примере Нижнего Новгорода. Город разделен на две части рекой Ока; меньшая часть, расположенная на правом берегу, находится значительно выше большей части, расположенной на левом берегу (рис. 3). Разница высот левобережной и правобережной частей составляет около 100 м.

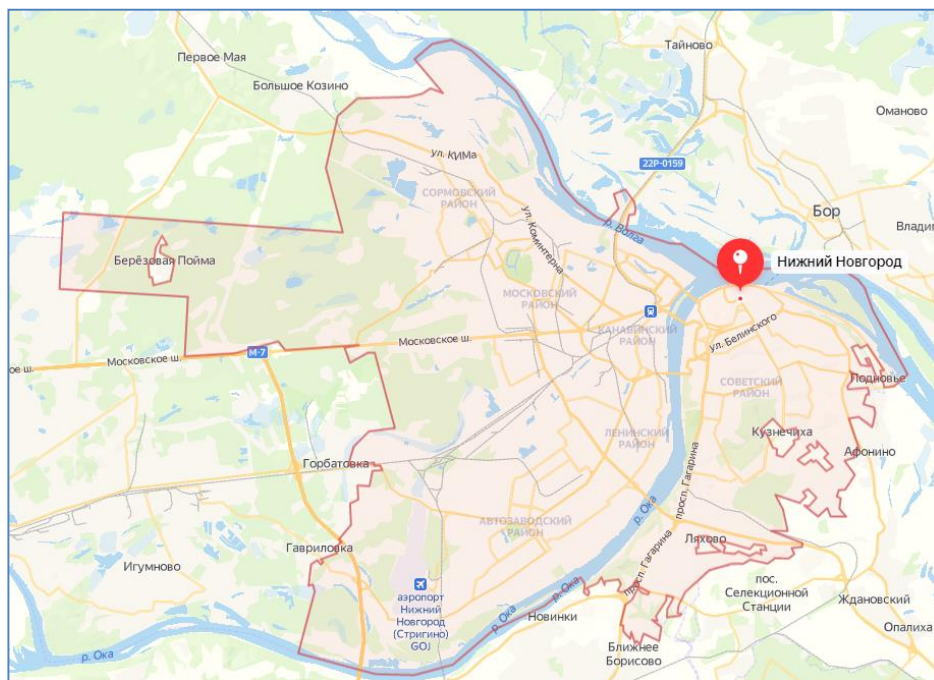


Рис. 3. Границы г. Нижний Новгород на карте

Fig. 3. Borders of Nizhny Novgorod city on the map

Кроме того, рельеф левобережной части Нижнего Новгорода имеет более «сглаженный» характер. Перепад высот в этой части составляет не более 10 м. Правобережная часть характеризуется гораздо большим перепадом высот. У точек, отстоящих на 3 км, разница высот может достигать 100 м, на удалении 500 м – до 50 м (рис. 4).



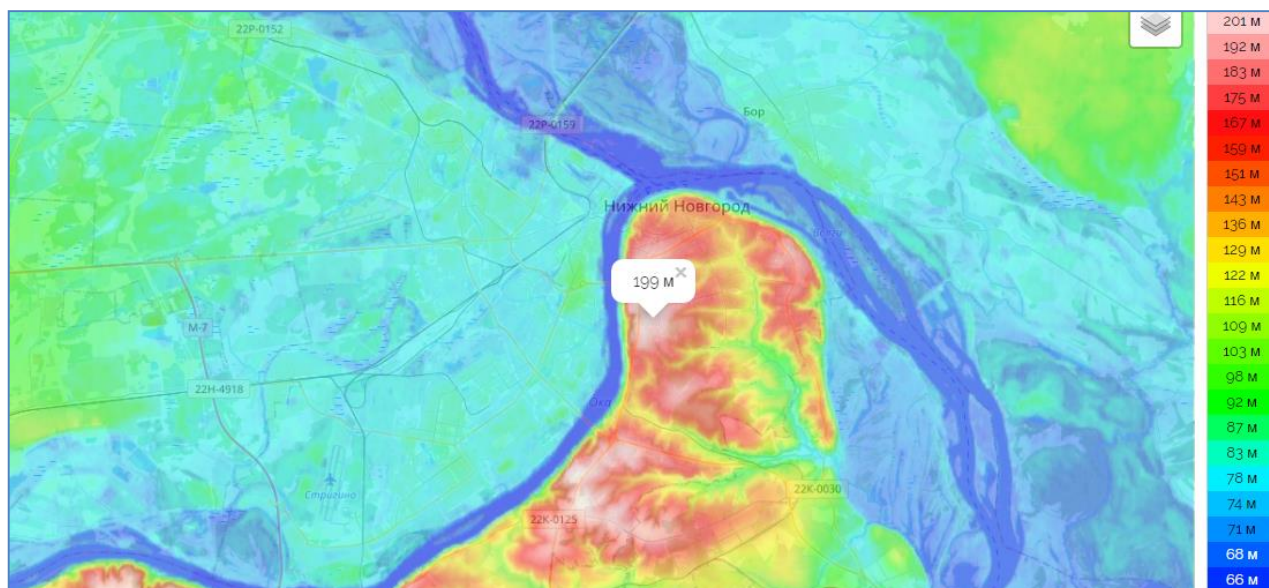


Рис. 4. Карта рельефа г. Нижний Новгород

Fig. 4. Nizhny Novgorod city relief map

Таким образом, в левобережной части, несмотря на ее большую протяженность (площадь), изменения температуры, давления и других погодных данных менее значительны, и целесообразно расположить две в левобережной части города и три в правобережной.

Две указанные части города связаны 4-мя мостами. Администрация города, многие офисы, объекты культуры и ряд крупных предприятий расположены в правобережной части, наиболее крупные заводы (ГАЗ, «Красное Сормово», «Сокол») расположены в левобережной части. Ввиду этого между двумя частями города происходит интенсивный транспортный обмен.

Магистрали с наибольшей загрузкой (приведены характерные сечения):

- пр. Гагарина 4500 авт./час;
- Московское шоссе 3800 авт./час;
- пр. Ленина 2500 авт./час;
- Канавинский мост 3700 авт./час;
- Метромост 2400 авт./час;
- Молитовский мост 2800 авт./час;
- Мызинский мост 5400 авт./час.

Величины транспортных потоков указаны по данным обследования 2020 года, приводится часовая нагрузка в утренний час пик (наибольшая нагрузка).

Места концентрации аварий с дополнительными погодными факторами гололедица, снежный накат, снегопад с наибольшей аварийностью могут быть выделены двумя способами: по абсолютной величине, что авторы полагают не совсем правильным, и по формуле (1) из [13]:

$$K_i = \frac{n_{io} \times N}{N_o \times n_i} \quad (1)$$

где  $N$  – общее число ДТП,  $n_i$  – количество ДТП, при совершении которых присутствовал  $i$ -ый фактор,  $N_o$  – число ДТП в очаге,  $n_{io}$  – количество ДТП в очаге, при совершении которых присутствовал  $i$ -ый фактор.

Анализ обоих списков дает следующие результаты:

а) по фактору «гололедица»:

- пр. Ленина в районе м. Пролетарская (д. 75, д. 73, д. 70);

- участок ул. Новикова-Прибоя перед Мызинским мостом (д. 2, д. 4, д. 12) и Мызинский мост;
- Комсомольская пл. (д. 1, д. 2);
- перекресток Комсомольское шоссе - пр. Ленина;
- перекресток пр. Ленина – Заречный бульвар;
- пл. Сенная;
  - б) по фактору «заснеженная дорога»:
    - пр. Ленина в районе м. Пролетарская (д. 75);
    - Мызинский мост;
    - пересечение Московского шоссе и ул. Кузбасская;
    - перекресток Гагарина – Ларина;
  - в) по фактору «снежный накат»:
    - пл. Лядова;
    - пл. Советская;
    - Молитовский мост;
    - Окский съезд.

Рассматривались несколько перспективных вариантов расположения АДМС, учитывающих четыре указанных фактора. Итоговый вариант приводится на рис. 5.

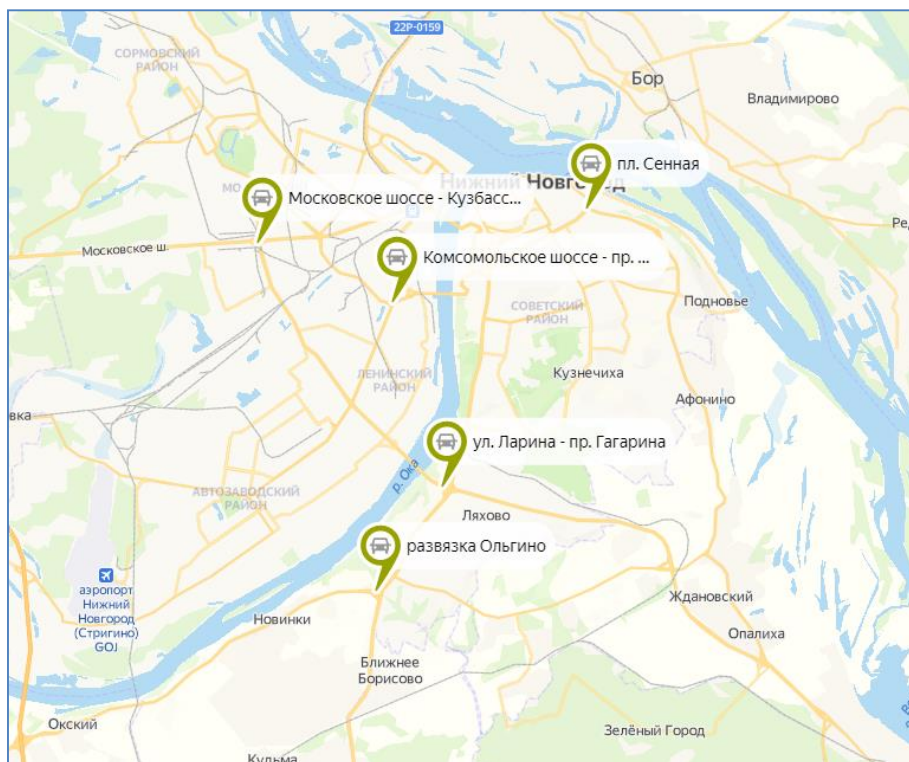


Рис. 5. Вариант расположения АДМС г. Нижний Новгород

Fig. 5. Version of ARWS location, Nizhny Novgorod city

Поясним кратко факторы, ввиду которых выбрано итоговое расположение АДМС.

1. Пл. Сенная – большая доля (и количество) ДТП с сопутствующим фактором «Гололедица», большие величины транспортных потоков, вблизи располагается канатная дорога, планируется в непосредственной близости строительство станции метрополитена.

2. Многоуровневая развязка ул. Гагарина – ул. Ларина – одна из наиболее нагруженных в Нижнем Новгороде, большое количество аварий с фактором «Заснеженная дорога»,

вблизи (1 км) располагается Мызинский мост, данные АДМС будут достаточно точными и для него.

3. Многоуровневая развязка сложной конфигурации «Ольгино» (56.214611, 43.927800), большие величины транспортных потоков, особенно пиковых значений в пятницу вечером, в направлении из Нижнего Новгорода. Ввиду реконструкции, законченной в 2021 г. уровень аварийности нельзя оценить объективно ввиду малого периода в эксплуатации. Данные АДМС могут также использоваться для трасс Р-158, 22К-031, 22К-0125.

4. Многоуровневая развязка Комсомольское шоссе – проспект Ленина – большие величины транспортных потоков, большая доля (и количество) ДТП с сопутствующим фактором «Гололедица», в небольшом отдалении располагаются очаги ДТП – пл. Комсомольская и перекресток пр. Ленина – Заречный бульвар.

5. Многоуровневая развязка Московское шоссе – ул. Кузбасская – большие величины транспортных потоков, большая доля (и количество) ДТП с сопутствующим фактором «Заснеженная дорога».

### Заключение

Рассмотрение дополнительного фактора – уровня осадков в зимний период и количества аварий, связанных с данным фактором, позволяет более точно рассчитать необходимое для данного населенного пункта или транспортной агломерации количество АДМС.

В работе рассмотрен подход, позволяющий оптимальным образом расположить АДМС, также разобрано применение данной теории для г. Нижний Новгород. Оптимальное расположение метеостанций позволит собирать наиболее полную информацию о погодных факторах, на основании которой возможно эффективное управление подвижностью ТС при помощи подсистемы косвенного управления транспортными потоками ИТС.

Итоговый вариант расположения АДМС планируется использовать при разработке ИТС в Нижнем Новгороде.

### Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4 (101). С. 72-77.
2. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. Гончаров, А.В. Феджоренко, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 1. С. 150-157.
3. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 1. С. 155-160.
4. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Макаров В.С. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
5. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 1. С. 147.
6. **Елисеев, М.Е.** Статистический и корреляционный анализ погодных факторов в интерактивной информационной системе повышения безопасности дорожного движения / М.Е. Елисеев, Л.Н. Мазунова, И.Н. Елисеева // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2020. № 2 (129). С. 28-41.
7. Интеллектуальные транспортные системы гост 56829-2015 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200128315>.



8. **Kwon T.J.**, Fu L. and Chaozhe J. Road weather information system stations – where and how many to install: a cost benefit analysis approach // Canadian Journal of Civil Engineering. 2014.
9. Расписание погоды .Офиц. сайт. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://rp5.ru>. (дата обращения 25.04.2022).
10. **Eriksson, M.**, and Norrman, J. 2001. Analysis of station locations in a road weather information system. Meteorological Applications, 448(8): 437-448.
11. **Andrey, J.** Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities / J. Andrey, B. Mills, M. Leahy, J. Suggett // Nat. Hazards. 2003. Vol. 28. P. 319-343.
12. **Asano, M.** Characteristics of traffic accidents in cold, snowy Hokkaido, Japan / M. Asano, M. Hirasawa // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2003. Vol. 4. Pp. 1426-1434.
13. **Eliseev, M.E.** Algorithm of automated annotation of areas of roads with increased accidents / M.E. Eliseev, A.S. Blinov, A.V. Lipenkov // MATEC Web of Conferences. 2021. № 334. C. 01007.

***Дата поступления  
в редакцию: 22.05.2022***