УДК 656.13

Макарова И. В., заведующий кафедрой СТС, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», kamivm@mail.ru.

Мавляутдинова Г.Р., Старший преподаватель кафедры СТС, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», sadygova_1988@mail.ru.

Буйвол П. А., к.т.н., доцент, доцент каф. СТС, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», skyeyes@mail.ru.

Гарявина Е. Е., студент 4 курса, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», eegaryavina@stud.kpfu.ru.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация: Развитие Арктики, обладающей огромными природными ресурсами, является приоритетом в настоящее время для Российской Федерации. Хозяйственно-исследовательская деятельность в Арктической зоне России связана, прежде всего, с поисками месторождений полезных ископаемых и дальнейшей их эксплуатацией. Однако необходимо заранее позаботиться о том, чтобы уникальность ее природно-климатического ландшафта не была нарушена. В статье представлены пути снижения негативной нагрузки на окружающую среду, проанализирована возможность перевода крупных парков техники (карьерные самосвалы) на газомоторное топливо, описана структура разработанной имитационной модели доставки руды карьерными самосвалами на горно-обогатительные комбинаты Арктики при переходе на газомоторное топливо и расчет оптимального размера парка с ее использованием.

Ключевые слова: экологическая безопасность, Арктика, карьерный самосвал, имитационное моделирование.

Введение

Одной из стратегических целей России, является развитие Арктической зоны (АЗР), представляющей значительный потенциал, как в области освоения природных ресурсов, так и для решения задач обеспечения связности

территорий. Арктика обладает огромным ресурсным потенциалом. В Российской Арктике производится 12% ВВП России и обеспечивается около четверти ее экспорта.

Несмотря на суровые климатические условия АЗР, необходимо повышать привлекательность региона. Присутствие жителей в Арктической зоне обеспечивает России возможность осуществлять контроль над этими огромными территориями, при этом важным является экологическая безопасность транспортной системы.

В связи с тем, что проблемы экологии становятся все более актуальными, перспективность применения альтернативных видов топлива в регионе получает все большее значение. Это могут быть как альтернативные источники энергии, так и различные методы снижения токсичности выхлопных газов [1, 2]. Возможности для развития заправочной инфраструктуры и применения экологически чистых видов транспорта в Арктической зоне России имеются, однако, для полноценной реализации этого потенциала необходимо развивать соответствующую технологическую инфраструктуру.

Снижение экологической нагрузки от горнопромышленного комплекса (на примере Мурманской области)

Мурманская область – один из наиболее развитых регионов АЗР. Это обусловлено как наиболее мягким климатом из всех регионов АЗР (незамерзающим Баренцевым морем за счет теплого течения Гольфстрим), так и большим количеством месторождений полезных ископаемых, которые разрабатываются уже в течение десятилетий [3]. Поскольку добыча рудных полезных ископаемых ведется открытым (карьерным) способом, то возникает целый ряд экологических проблем, которые, в совокупности с природно-климатическими особенностями региона негативно отражаются на экологии и здоровье работников.

Добыча горной породы и минеральных ресурсов сопровождается выбросами углекислого газа, пыли, углеводородов за счет использования взрывчатых веществ на месторождениях. Избыточное количество пыли мешает

работе операторов и плохо сказывается на здоровье работников. Очистка воздуха от пыли в области карьера положительно сказывается на условиях работы, также увеличивается долговечность двигателей самосвалов. Источниками вредных выбросов, в том числе черного углерода, который значительно способствуют таянию арктического льда, являются и сами карьерные самосвалы.

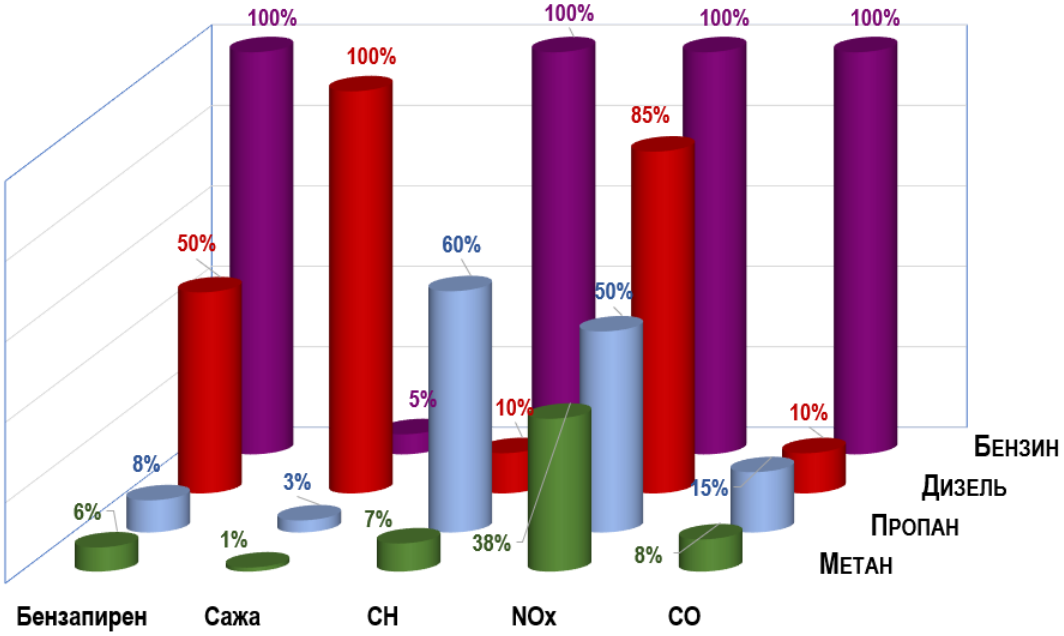

Рис. 1. Сокращение выбросов при использовании газового топлива

Учитывая сложную экологическую ситуацию, необходимо рассматривать возможность перевода автомобильной техники на газомоторное топливо (рис.1). В исследовании [4] рассматривается улучшение экологических характеристик карьерных самосвалов колесного типа грузоподъемностью 120... 130 тонн путем использования газотурбинного двигателя. В статье [5] анализируется работа самосвала БелАЗ на газодизельном топливе, сжигающего сжиженный природный газ. Использование сжиженного природного газа в качестве моторного топлива снижает не только экологическую нагрузку на окружающую среду, но и затраты на топливо. В статье [6] подробно описан способ установки криогенных топливных баков на шахтный самосвал серии БелАЗ 7513 полезной грузоподъёмностью 130 тонн.

Поскольку при работе в карьерах существует риск возникновения опасности для жизни и здоровья водителей, ведутся разработки дистанционно-управляемых автомобилей. В исследованиях [7, 8] обосновывается необходимость создания автономной системы управления самосвалами. Исследование [9] посвящено возможностям снижения эксплуатационных затрат на транспортировку полезных ископаемых путем применения предлагаемой компоновки и количества больших шин при проектировании новых самосвалов, в том числе роботизированных и беспилотных.

Дистанционно управляемый карьерный самосвал позволяет повысить производительность труда, повысить безопасность технологического процесса, снизить влияние человеческого фактора: искусственный интеллект поможет сделать тяжелые и опасные работы в карьере полностью безлюдными.

С добычей полезных ископаемых в карьерах АЗР тесно связано решение проблем их транспортировки от мест добычи до мест переработки. Это расширение сети автомобильных и железных дорог, строительство и реконструкция морских портов, что негативно сказывается на экологическом состоянии региона. Доставка руды и минерального сырья от карьеров до мест складирования и переработки осуществляется автотранспортом, который, согласно статистическим данным, вносит самый существенный вклад в загрязнение окружающей среды. Для того, чтобы снизить это воздействие, можно либо повысить экологическую эффективность самих автотранспортных средств, либо оптимизировать маршруты и сократить их суммарную протяженность.

Еще одним важным вопросом, который необходимо решать при реализации стратегии развития региона, является создание инфраструктуры по эксплуатации автотехники на газомоторном топливе. Для этих целей на первом этапе можно использовать мобильные заправочные установки, а для организации технического обслуживания и ремонта необходимо переоборудование существующих сервисных центров, либо создание новых,

для чего существуют легковозводимые специальные конструкции. Такие мероприятия позволят расширить парк экологичных транспортных средств.

Использование имитационных моделей процесса доставки руды для оценки оптимального количества грузовиков (на примере Кировского филиала АО «Апатит»)

У Кировского филиала АО «Апатит» в распоряжении находятся шесть (Кукисвумчорское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Расвумчорр, Коашвинское и Ньюоркпахксое) рудников и две обслуживающие фабрики (АНОФ-2 и АНОФ-3). Три раза в день рудникам необходимы грузовики для загрузки руды и отправки их на фабрику, где происходит разгрузка.

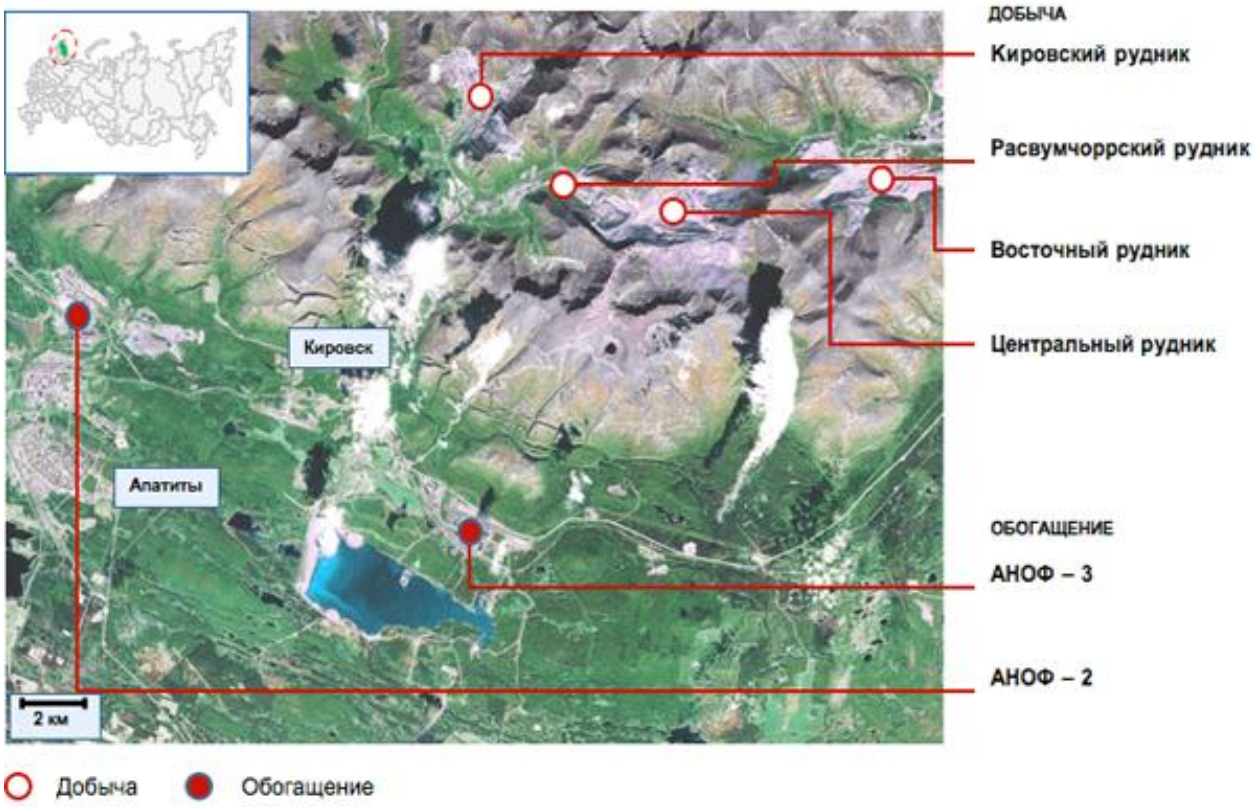

Рис. 2. Кировский филиал АО «Апатит»

Оповещение от рудника на фабрику происходит в форме заказа. После чего свободный грузовик отправляется на рудник, где в течение двух часов он загружается с помощью пяти экскаваторов. По завершению загрузки рудник отправляет сообщение фабрике, и загруженный грузовик отправляется на фабрику и разгружается от одного до двух часов. Для

оценки оптимального количества грузовиков был смоделирован процесс доставки руды. На рисунках 2 и 3 представлены расположения рудников и фабрик.

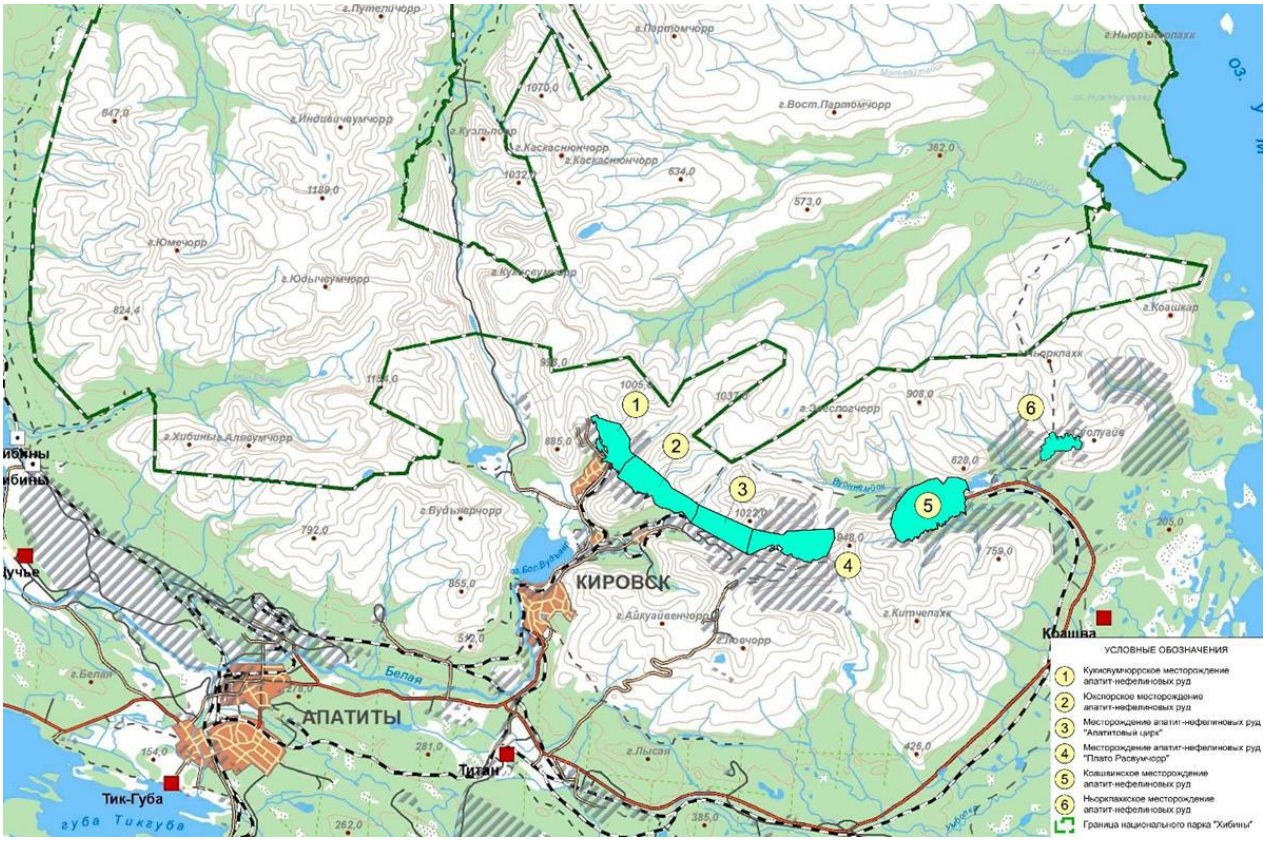

Рис. 3. Схема расположения месторождений апатит-нефелиновых руд

Во время симуляционного эксперимента (рис. 4) на анимации модели, созданной на основе ГИС-карты региона, можно увидеть, как грузовики выезжают с фабрики, доезжают до рудников, загружаются и возвращаются обратно. При изменении масштаба карты видно, что грузовики движутся по реальным маршрутам, которые, как и сама карта, подгружаются из сети во время исполнения модели.

Рис. 4. Симуляционный эксперимент

Важно заметить, что в имитационной модели заложен компонент, в который вложена функция (рис. 5) для передачи на фабрику названия рудника, сделавшего заказ и выбора ближайшего свободного грузовика необходимый для отправки. Данная функция помогает определить оптимальный маршрут от фабрики до рудника и сократить излишний расход топлива.

Действие

```
Order2 order2 = new Order2 (this);
Vehicle2 truck2 = getNearestAgentByRoute(filter(main.vehicle2s,
                  v2 -> v2.inState(Vehicle2.AtFactory2Free)));

if (truck2 != null)
send (order2, truck2);
```

Рис. 5. Функция применяемого компонента

Во время проведения оптимизационного эксперимента на модели (рис. 6) было установлено, что оптимальное количество подвижного состава равно 26 единицам.

Рис. 6. Оптимизационный эксперимент

Выводы

Проведенные исследования показали, что для снижения негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду необходимо совершенствовать управление во всех подсистемах транспортной системы. Одним из таких направлений является использование энергоэффективных транспортных средств. Показано, что при развитии горнопромышленного комплекса, которое является частью стратегических проектов развития АЗР, основным источником загрязнения воздуха и выбросов черного углерода являются карьерные самосвалы, в силу чего, одним из возможных вариантов решения проблемы, является переход на СПГ.

Список использованных источников

1. Ablyazov, T. Development of the Arctic transport infrastructure in the digital economy / T. Ablyazov, V. Asaul // Transportation Research Procedia. – 2021. -Vol. 57. P. 1-8. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.018.

2. Wenz, K.-P. Route prioritization of urban public transportation from conventional to electric buses: A new methodology and a study of case in an intermediate city of Ecuador / K.-P. Wenz, X.Serrano-Guerrero, A. Barragán-Escandón, L.G.González, J-M. Clairand // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2021. - Vol. 148, № 111215. DOI:10.1016/j.rser.2021.111215.

3. Grove, C. Alaska's first electric bus for public transit ready for Anchorage streets / C. Grove // Alaska Public Media. - 2018. Available at: https://www.alaskapublic.org/2018/01/15/alaskas-first-electric-bus-for-public-transit-ready-for-anchorage-streets/.

4. Koptev, V. Structure of energy consumption and improving open-pit dump truck efficiency / V. Koptev, A. Kopteva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. - Vol. 87, Issue 2, № 022010. DOI:10.1088/1755-1315/87/2/022010.

5. Azikhanov, S. Development of the instrumentation system for gas-and-diesel fuelled BelAZ dump truck / S. Azikhanov, A. Bogomolov, G. Dubov, S, Nokhrin // MATEC Web of Conferences. – 2019. - Vol. 297, № 03001. DOI https://doi.org/10.1051/matecconf/201929703001.

6. Dubov, G. Method for installing cryogenic fuel tanks on the deck of BelAZ 7513 mining dump truck / G. Dubov, D. Trukhmanov,S. Nokhrin, A. Sergel // E3S Web of Conferences. – 2020. - Vol. 174, №03016. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017403016.

7. Komatsu, T. Autonomous Driving of Six-Wheeled Dump Truck with a Retrofitted Robot / T. Komatsu, Y. Konno, S. Kiribayashi, K. Nagatani, T. Suzuki, K. Ohno, T. Suzuki, N. Miyamoto, Y. Shibata, K. Asano // Field and Service Robotics. – 2021. - P. 59–72.

8. Allahkarami, Z. Reliability Analysis of Motor System of Dump Truck for Maintenance Management / Z. Allahkarami, A.R. Sayadi, A. Lanke // Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety. – 2015. - P. 681–688.

9. Dubinkin, D. Justification of the Number and Type of Tire Size for a Dump Truck with a Lifting Capacity from 90 to 130 Tons / D. Dubinkin, A. Kulpin, D. Stenin // E3S Web Conf. – 2020. - Vol. 174, № 03015. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20201740301.

Makarova I. V., Head of the STS Chair, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University.

Mavlyautdinova G. R., Senior Lecturer of the STS Chair, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University.

Buyvol P. A., Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the STS Chair, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University.

Garyavina E.E., 4th year bachelor student, Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University.

THE USE OF SIMULATION FOR OPTIMIZATION OF THE TRANSPORT SYSTEM OF THE ARCTIC TERRITORIES

Abstract: The development of the Arctic, which has huge natural resources, is currently a priority for the Russian Federation. Economic research activities in the Russian Arctic zone are primarily associated with the search for mineral deposits and their further exploitation. However, it is necessary to take care in advance that the uniqueness of its natural and climatic landscape is not violated. The article presents ways to reduce the negative impact on the environment, analyzes the possibility of transferring large fleets of equipment (quarry dump trucks) to gas motor fuel, describes the structure of the developed simulation model for the delivery of ore by mining dump trucks to mining and processing plants in the Arctic when switching to gas motor fuel and calculates the optimal size of the fleet with its use.

Key words: environmental safety, Arctic, mining dump truck, simulation.