



Новая методика расчёта нагрузки на дорожное полотно



Владимир Юрьевич Панков

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (СВФУ), Якутск, Россия.
✉ pankov1956@inbox.ru.

Владимир ПАНКОВ

АННОТАЦИЯ

Необходимым условием интенсивного социально-экономического развития любого региона является наличие развитой транспортно-логистической системы, обеспечивающей круглогодичные грузопассажирские перевозки.

В природно-климатических условиях криолитозоны, неотъемлемой частью которой является территория Арктической зоны Российской Федерации, единственным на сегодняшний день видом континуального транспорта, способного обеспечить круглогодичные перевозки, является автомобильный. Это связано с его компактностью, мобильностью, простотой в управлении и обслуживании, а также относительно низкой ценой как на единичное транспортное средство, так и на транспортные услуги, что предопределяет его использование на региональных и внутригородских перевозках в пределах криолитозоны.

Единственным условием эффективного использования автомобильного транспорта является обеспеченность территорий автомобильными дорогами общего пользования круглогодичного действия, соответствующими по своей конструкции прогнозируемой нагрузке от транспортных средств и интенсивности транспортного потока.

Правительством Российской Федерации принято решение о строительстве у г. Якутска автомобильного мостового перехода через р. Лена, который планируется принять в эксплуатацию в 2024 году. Соответственно, актуальной стано-

вится проблема оценки состояния улично-дорожной сети города с точки зрения возможностей пропуска перспективных транспортных потоков и организации дорожного движения с учётом конструктивных особенностей городских дорог.

Расчёты базовых параметров перспективных грузопассажирских потоков осуществлялись на основе новой авторской методики. На базе укрупнённой модели произведена прогнозная оценка роста относительной интенсивности транспортных потоков и нагрузок на автомобильные дороги г. Якутска после ввода в строй мостового перехода через р. Лена. Рассмотрены разнообразные транспортно-логистические схемы организации дорожного движения. Произведена оценка состояния и конструктивных особенностей дорог на выбранных маршрутах и рассчитана их пропускная способность и предельные нагрузки от транспортных потоков, которые выдержит их конструкция.

Установлено, что дорожная инфраструктура долины Туймаада не в состоянии обеспечить пропуск перспективных грузопотоков, которые будут поступать на левый берег р. Лена по мостовому переходу.

Доказано, что единственным возможным решением подавляющей части возникающих проблем грузовых перевозок является строительство федеральной окружной автомобильной дороги, проходящей, в основном, вне пределов долины р. Лена.

Ключевые слова: криолитозона, долина Туймаада, г. Якутск, городская улично-дорожная сеть, мостовой переход, грузовые перевозки, интенсивность движения, нагрузки на дорожное полотно, транспортные системы, организация дорожного движения.

Для цитирования: Панков В. Ю. Новая методика расчёта нагрузки на дорожное полотно // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 81–95. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-10>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.



ВВЕДЕНИЕ

Постановка проблемы

Необходимым условием интенсивного социально-экономического развития любого региона является наличие развитой транспортно-логистической системы, обеспечивающей беспрепятственный обмен между смежными территориями необходимыми товарами, материалами, ресурсами, средствами производства и рабочей силой. Для административных единиц (государств, областей, районов), занимающих большие площади и характеризующихся сложными природно-климатическими условиями, важнейшей составляющей транспортно-логистических систем являются пути сообщения. В процессе развития человеческой цивилизации для общественно значимых грузопассажирских перевозок на дальние расстояния разработаны три вида технических транспортных систем – воздушные, водные и наземные. Каждый из этих видов требует строительства специфических путей сообщения, имеет свою структуру и инженерно-технические особенности, которые формируются с учётом, в первую очередь, объёма и состава перевозимых грузов, технической конфигурации транспортных систем, природно-климатических условий, а также социально-экономического состояния территории. В зависимости от этих факторов разрабатывается оптимальная транспортно-логистическая схема, предполагающая наиболее эффективное использование, по крайней мере, в экономическом аспекте, тех или иных разновидностей транспортных средств.

В силу исторически сформировавшейся структуры мировой транспортной сети ни один вид транспорта не в состоянии обеспечить в масштабах планеты полный цикл перевозки социально значимых объёмов грузов из пункта отправления до пункта назначения и, тем более, от производителя до потребителя. Глобальное перемещение значимых объёмов грузов всегда сопряжено с применением минимум двух видов транспортных систем, двух типов погрузочно-разгрузочных систем (кроме контейнерных перевозок) и двух специализированных инфраструктурных комплексов – путей сообщения. Наиболее часто применяемые пары транспортных средств общеизвестны: воздушный – автомобильный, железнодорожный – автомобильный, водный – автомобильный, автомобильный – ав-

томобильный. Обязательное присутствие в любой транспортной цепочке автомобильного транспорта связано с его компактностью, мобильностью, простотой в управлении и обслуживании, а также относительно низкой ценой как на единичное транспортное средство, так и на транспортные услуги. Эти особенности определяют безальтернативность автомобильного транспорта для грузовых внутригородских перевозок. С другой стороны, они же обеспечивают его привлекательность для использования в межрегиональных перевозках малых партий специфических по конфигурации и составу грузов. Единственным условием эффективного использования автомобильного транспорта является обеспеченность территорий автомобильными дорогами, соответствующими по своей конструкции прогнозируемой нагрузке от транспортных средств и интенсивности транспортного потока.

Данные подходы приобретают реальное практическое значение при реализации крупных инфраструктурных проектов и требуют разработки соответствующей методологии. Особенно это актуально в сложных физико-географических и климатических условиях. В этом плане характерным примером является комплексный проект улучшения связанности транспортной сети Республики Саха (Якутия) с федеральной автодорожной сетью.

В конце 2019 года Правительством Российской Федерации принято решение о строительстве мостового автомобильного перехода через реку Лена в непосредственной близости от столицы Республики Саха (Якутия) – города Якутска. Введение в эксплуатацию мостового перехода намечено на 2024 год. Его строительство приведёт к существенным изменениям в транспортно-логистической системе азиатской части Российской Федерации. Однако, в силу физико-географического положения и особенностей градостроительства в экстремальных природно-климатических условиях принципиальными, в эксплуатационном аспекте, эти изменения будут только для дорожно-транспортной сети речной долины Туймаада, по которой проложены автомобильные дороги федерального, регионального и муниципального значения, включая город Якутск. В связи с реализацией данного проекта необходимо на примере укрупнённой модели провести общий анализ возможностей дорожной системы городской

агломерации «Город Якутск» и сопредельных территорий по перераспределению и транзиту грузов после ввода в строй мостового перехода через р. Лена с целью выявления её перспективной пропускной способности (интенсивность движения) и устойчивости конструктивных элементов дорог под воздействием нагрузки от колёс автомобилей на дорожные одежды.

Систематического изучения дорожной инфраструктуры долины Туймаада в плане роста интенсивности движения и нагрузок не проводилось. Вопрос интенсивности движения рассматривался в качестве второстепенного при изучении возможности использования интеллектуальных транспортных систем на отдельных участках дорог г. Якутска [1]. Проблемы проектирования, физико-механические свойства и инженерно-геологические процессы в грунтах земляной насыпи, а также вопросы поведения материалов дорожных одежд при низких температурах автодорог криолитозоны в целом обсуждались в ряде работ [2–14].

Проблема устойчивости конструктивных элементов автодорог криолитозоны под воздействием нагрузок в научных источниках широко не рассматривается. Аналогичная ситуация сложилась и с научными исследованиями влияния нагрузки на дороги в более благоприятных природно-климатических условиях второй–пятой дорожно-климатических зон. Можно допустить, что на заинтересованность научного сообщества в общем анализе воздействия нагрузки от транспортных систем на дорожное полотно оказывают определённое влияние ограничения, налагаемые существующей нормативной базой дорожно-строительной отрасли.

В Российской Федерации расчёт нормативной нагрузки на дорожное полотно регламентируется ГОСТ 52748-2007 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения»¹. Анализ базовых положений данного норматива выявляет, на взгляд автора, некоторую формализован-

ность и в какой-то мере даже несоответствие реалиям грузопассажирских перевозок и известным физическим знаниям. Заложенные в норматив параметры в некоторой части неприемлемы для проведения проектно-изыскательских, строительных, эксплуатационных работ и, тем более, для построения моделей и осуществления прогнозных оценок грузопассажирских перевозок. Например, формулы расчёта нагрузки от легковых автомобилей (нагрузка АК) разработаны на базе «модельной тележки» со следующими параметрами: давление одной оси (для дорог IV категории) – 10,2 тонны (при ускорении свободного падения $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$) при ширине одного колеса 60 сантиметров. Среди технических средств отсутствуют легковые автомобили, имеющие вес 20,4 тонны (!). При этом каждое колесо такого автомобиля оказывает нагрузку на дорожное полотно около 510 килограмм (5 кН). То есть все четыре колеса оказывают нагрузку в 2040 килограмм. Несоответствие между весовыми параметрами модельной тележки и её весовой нагрузкой на дорожную одежду свидетельствует о проведении при подготовке документа некорректных расчётов, ставших основой базовых параметров нормативного документа. Нормативный вес грузового автомобиля (нагрузка НК) согласно параметрам этого же нормативного документа составляет около 73,5 тонн.

Выявленное несовершенство нормативной базы дорожно-строительной отрасли в части определения нагрузок предопределяет, по мнению автора, необходимость разработки новой унифицированной методики расчёта нагрузки, позволяющей использовать расчётные данные по любым видам или типам автомобильного транспорта, для всех классов дорог. Получаемые данные должны быть адаптированы к разнообразным транспортно-логистическим построениям и нормативной документации, что позволит осуществлять построение прогнозных моделей, включая математические.

Основной задачей работы является прогнозная оценка роста интенсивности движения и нагрузок на дороги, которые сформируются в пределах Городского округа «Город Якутск» после завершения строительства мостового перехода через р. Лена.

Для осуществления расчётов необходимо разработать укрупнённую модель грузопас-

¹ ГОСТ 52748-2007 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200057497>. Доступ 22.08.2021.



сажирских перевозок, учитывающую природно-климатические и инженерно-геологические условия, а также особенности дорожной инфраструктуры долины Туймаада, где расположена столица Республики Саха (Якутия).

Характеристика района и его дорожной инфраструктуры

Территориально район находится в юго-западной части Центрально-Якутской равнины. Рельеф равнинный, эрозионно-аккумулятивного типа.

Городской округ «Город Якутск» расположен в Центральной Якутии на левобережье реки Лена. Морфология района определяется его приуроченностью к речной долине (урочищу) «Туймаада». С севера долина ограничена Кангаласским мысом, а с юга – Табагинским. Протяжённость долины около 80 км. Площадь более 300 кв. км.

Долина, за исключением современной антропогенной нагрузки, сформирована в процессе эрозионно-аккумулятивной деятельности реки Лена. Представляет собой равнину, понижающуюся в северном направлении. Речные террасы выражены слабо, в основном из-за интенсивного техногенного преобразования ландшафта. Рельеф района однороден и сформирован аккумулятивными, местами эрозионно-денудационными процессами, типичен для речных долин равнинных рек. Фиксируются многочисленные озера старичного типа, местами пересыхающие в летний период или заросшие, а также небольшие термокарстовые озера. Заболоченность редка. Абсолютные отметки местности, не подвергшейся антропогенному воздействию, от 85 м до 101 м.²

Климат резко континентальный с ярко выраженными антициклональными условиями погоды, резкой сменой сезонов, высокой инсоляцией в летний период, жарким летом, очень морозной сухой безоблачной зимой. Зима продолжается в течение 204–215 дней. Минимальная зимняя температура минус 56–58°C. Максимумы летней – 38–39°C. Среднегодовая температура – минус 9,1°C. По

² Топографическая карта масштаба 1:200 000. Источник открытого доступа.

³ СП 131.13330.2018 «СНИП 23-01-99* Строительная климатология». [Электронный ресурс]: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/d4f/SP-131.pdf>. Доступ 22.08.2021.

природно-климатическим условиям район относится к северной строительно-климатической зоне с наиболее суровыми условиями, климатический подрайон IA³.

Верхнечетвертичные отложения долины Туймаада представлены аллювием двух нижних террас р. Лена – Сангьяхтахойской и Якутской [15]. Все отложения исследуемого района находятся в мерзлом состоянии. В гидрологическом плане относятся к аллювиальным отложениям Хатаской впадины Приленского криоартезианского бассейна [16; 17]. Мощность многолетнемерзлых пород в урочище Туймаада составляет 350–400 м. Согласно разрозненным данным проектно-изыскательских работ на участках, не подвергшихся антропогенному воздействию, глубина слоя сезонного оттаивания находится в пределах 3,3–4,2 м. По данным полевых экспедиционных наблюдений в пределах городской застройки глубина слоя сезонного оттаивания находится в интервале 6,0–9,0 м.

В административных границах г. Якутска присутствуют многочисленные озера, ручьи, а также р. Шестаковка. Как показывают многолетние гидрологические наблюдения, уровни их водной поверхности в летний период не подвержены существенному снижению, что свидетельствует о высокой обводнённости грунтов городской территории. Это подтверждают немногочисленные данные лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов (фондовые материалы). Установлено, что влажность большинства исследованных грунтов основания земляного полотна городских дорог превышает значение влажности на границе текучести. Кроме того, на отдельных участках дорог, проложенных в пределах первой речной террасы, фиксируются погребённые русла или рукава р. Лена, в которых даже в зимнее время сохраняется течение. Таким образом, можно утверждать, что дорожная инфраструктура г. Якутска формируется большей частью на грунтах первой подзоны первой дорожно-климатической зоны, для которой отсутствуют нормативные строительные документы. Следовательно, строительство, эксплуатация, ремонт и реконструкция городских дорог и магистралей осуществляется в соответствии с нормативными требованиями, разработанными для второй подзоны первой дорожно-климатической зоны, что многократно снижает устойчивость их конструктивных

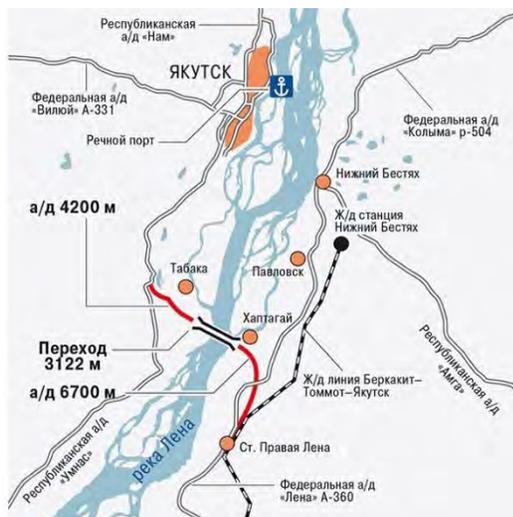


Рис. 1. Схема района (без п. Жатай) с проектным положением мостового перехода через р. Лена. [Электронный ресурс]: https://icdn.lenta.ru/images/2019/11/29/14/20191129142456692/preview_df519b35497e2cba89f41562385e4511/. Доступн 22.08.2021.

элементов и вызывает ускоренный процесс деформации земляного полотна и разрушения дорожных одежд [5–8].

Кроме городского округа «Город Якутск», наиболее значимым, в рамках обсуждаемой темы, поселением долины Туймаада является посёлок Жатай, представляющий собой самостоятельную административную единицу. Он расположен в 17 км к северу от столицы.

По данным на 2021 год население г. Якутска составляло 330615 человек, а п. Жатай⁴ – 10511 человек.

Наиболее крупными промышленными объектами долины Туймаада являются Якутский аэропорт, Якутский домостроительный комбинат, Якутский речной порт, Якутский комбинат строительных материалов и конструкций, Якутский завод железобетонных изделий, две тепловых электростанции, Якутская нефтебаза (п. Жатай), Жатайский судоремонтно-судостроительный завод (п. Жатай), Территория опережающего социально-экономического развития «Кангалассы».

На противоположном от г. Якутска берегу р. Лена располагается несколько поселений, наиболее значимым из которых, в транспортно-логистическом плане, является посёлок Нижний Бестях⁵, с населением 4387 человек (по данным на 2021 год). Его значимость

связана с тем, что посёлок является конечным пунктом железной дороги «Беркамит–Томмот–Якутск», связывающей Южную и Центральную Якутию. В посёлке и его окрестностях построен Нижнебестяхский транспортно-логистический центр круглогодичной переработки грузов, поступающих по железной дороге (рис. 1).

Долина Туймаада с сопредельными правобережными территориями формирует основу так называемого Якутского транспортно-логистического узла – важнейшего инфраструктурного транспортного объекта Центральной Якутии. Это обусловлено следующими факторами:

1. Город Якутск расположен на левом берегу важнейшей водной транспортной артерии Якутии – реке Лена.

2. В долине Туймаада непосредственно на г. Якутск замыкаются федеральная автомобильная дорога (ФАД) А-331 «Виллюй» (Тулун, Иркутская область–Якутск, протяжённость 3000 км), республиканская автомобильная дорога «Умнас» (Якутск–Покровск–Олёкминск–Дабан–Чапаево–Турукта–Ленск, 1216 км), республиканская автомобильная дорога «Нам» (Якутск–Намцы–Булуc, 160 км).

3. Нижний Бестях (правый берег р. Лена) является пунктом стыковки ФАД А-360 «Лена» (Невер–Якутск, 1157 км), ФАД Р-504 «Колыма» (Магадан–Якутск, 2021 км), республиканской автомобильной дороги «Амга» (Нижний Бестях–Амга–Усть-Мая–Эльдикан–Югорёнок, 702 км) и железной дороги

⁴ Соответственно, сайт «города-россия.рф»: gorodarus.ru.zhataj.html.

⁵ Численность населения села Бестях Жиганского улуса Республики Саха (Якутия). [Электронный ресурс]: <https://bdex.ru/naselenie/respublika-saha-yakutiya/n/jiganskiy/bestyah/>. Доступн 22.08.2021.



Беркакит–Томмот–Якутск, протяжённостью около 900 км.

Несмотря на формальное обозначение одним из конечных пунктов ФАД «Лена» и «Колыма» г. Якутска, дороги до города не доходят. Они заканчиваются на правом берегу р. Лена. Транспортировка грузов до правого берега осуществляется летом с помощью паромов, а зимой – ледовых переправ. При этом в межсезонные периоды (ледоход, ледостав) транспортировка значимых объёмов грузов через р. Лена прекращается. Длительность перерыва для грузовых автомобилей массой более 20 тонн может составлять до трёх и более месяцев.

По функционирующей на сегодняшний день транспортно-логистической схеме подавляющая часть грузов, поступающих в долину Туймаада по паромным и ледовым переправам, а также в Якутский речной порт, перевозится автомобильным транспортом по городской уличной сети. Главными пунктами назначения являются складские помещения, основные из которых локализованы на южной и западной окраинах г. Якутска. Значительная доля грузов уходит транзитом через столицу на ФАД А-331 «Виллой» (рис. 1). Исключение составляют только горючесмазочные материалы (ГСМ). Они завозятся в г. Якутск исключительно в летний период речными наливными судами. Разгрузка ГСМ, предназначенных для Центральной Якутии, осуществляется непосредственно с судов на терминале Якутской нефтебазы в п. Жатай. Через г. Якутск транзитом на ФАД А-331 «Виллой» проходят только ГСМ, предназначенные для районов и улусов левобережья р. Лена.

Массовые грузовые перевозки в Якутском транспортно-логистическом узле осуществляются исключительно через территорию городского округа и по городским дорогам. При этом в транспортном каркасе города Якутска существует всего несколько дорог, по которым, в рамках действующих нормативов, приведённых в СНиП 02.07.01-89 «Градостроительство»⁶, могут передвигаться большегрузные автомобили. К ним относится трасса, проходящая через город с востока (далее Восточный городской коридор, ВГК) по надпойменной речной террасе (вторая

пойменная) – Новопортовское шоссе–ул. Чернышевского–ул. Хабарова–ул. Богдана Чижика–ул. 50 лет Советской Армии–ул. Васильева–РАД Нам. На западной окраине (далее Западный городской коридор, ЗГК) находится несколько разрозненных дорог, позволяющих осуществлять грузовые перевозки в субмеридиональном направлении – ул. Автодорожная–ул. Красильникова–ул. Лермонтова–ул. Кеши Алексева–ул. Чайковского–ул. Винокурова–Вилуйский тракт–Окружное шоссе–РАД Нам.

На основании вышеизложенного, возможно обсуждение только двух схем перемещения грузов, поступающих по железной дороге, в пределах долины Туймаада (рис. 1):

Схема 1. Подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км)–РАД «Умнас» (около 30 км)–граница ГО «Город Якутск»–ЗГК–промзона и складские терминалы западной окраины г. Якутска–транзитные грузы на ФАД А-331 «Виллой».

Схема 2. Подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км)–РАД «Умнас» (около 30 км)–граница ГО «Город Якутск»–ВГК–РАД «Нам»–Якутская нефтебаза (пос. Жатай).

В обе схемы включен один и тот же участок дороги протяжённостью около 35 км – подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км)–РАД «Умнас», что связано с его безальтернативностью в сложившейся дорожной инфраструктуре долины Туймаада.

МЕТОДОЛОГИЯ

В связи с возникшей проблемой отсутствия корректной нормативной документации по определению нагрузки на дорожные одежды от потока автомобилей и составления прогнозов по динамике её изменения, автором разработана собственная система оценки нагрузки. В её основу заложен принцип расчёта осевой нагрузки любого автотранспортного средства, приведённой к осевой нагрузке так называемого «нормативного приведённого легкового автомобиля» (нормативное требование дорожно-строительной отрасли). Нормативная осевая нагрузка от приведённого легкового автомобиля определяется на основе категории дороги или её участка (табл. 1). Категория дороги указывается в паспорте дороги (фондовые материалы) или нормативных документах. Далее производится оценка существующего или перспективного грузопассажирского потока. Оценивается

⁶ [Электронный ресурс]: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854799.pdf>. Доступ 22.08.2021.

Определение категории дороги по интенсивности движения*

Категория дороги	Расчётная интенсивность движения, авт./сут.	
	в транспортных единицах	приведённая к легковому автомобилю
1-а	Свыше 7000	Свыше 14000
1-б	Свыше 7000	Свыше 14000
II	3000-7000	6000-14000
III	1000-3000	2000-6000
IV	100-1000	200-2000
V	Менее 100	Менее 200

* По: СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги». [Электронный ресурс]: docs.cntd.ru/document/1200095524/. Доступ 22.08.2021.

общий объём структуры грузопассажирских перевозок. Определяются технические характеристики транспортных средств, которые будут задействованы на перевозках. Рассчитывается реальная осевая нагрузка существующего или перспективного транспортного потока с учётом видов перевозимых грузов (насыпные, наливные, габаритные, пищевые продукты, удобрения и т.д.) и пассажиров. Полученные данные приводятся к нормативной осевой нагрузке нормативного приведённого легкового автомобиля.

В укрупнённой модели/схеме грузовых перевозок принято, что структура грузов для каждого из городских коридоров имеет свою специфику. По ВГК транзитом до Якутской нефтебазы (п. Жатай) перевозятся исключительно горюче-смазочные материалы и нефтепродукты (далее ГСМ). По западному городскому коридору перевозятся все остальные грузы. К ним относятся грузы, следующие транзитом на ФАД А-331 «Виллой», а также предназначенные для размещения на складских площадях Хатынг-Юряхского и Окружного шоссе. Согласно классификации городских улиц и дорог (СНиП 02.07.01-89 «Градостроительство») все дороги ВГК и ЗГК относятся к II категории – «Магистральные улицы». В соответствии с технической классификацией (табл. 1), которая устанавливается в зависимости от интенсивности движения, все участки дорог обоих коридоров относятся к IV категории. Реальная расчётная интенсивность движения на дорогах общего пользования четвёртой категории, приведённая к легковому автомобилю, по которой проектируется конструкция дороги, составляет 200–2000 нормативных легковых автомобилей в сутки в обоих направлениях.

При этом, в соответствии с особенностями нормативной базы, автомобильные дороги IV

категории и городские магистральные дороги строятся, в основном, под осевую нагрузку до шести тонн.

Основной проблемой, которую необходимо решить в процессе моделирования, является определение возможностей городской дорожной инфраструктуры по обеспечению беспрепятственного пропуска грузов, которые будут поступать на левый берег р. Лена после строительства мостового перехода, с учётом развития на перспективу 20 лет. Для построения и расчёта укрупнённой модели необходимо определить её базовые параметры, включающие:

1. Определение каналов транспортировки грузов через городскую инфраструктуру и их технических возможностей (интенсивность и нагрузка) по обеспечению грузоперевозок.
2. Оценку роста объёма грузооборота после строительства мостового перехода через р. Лена по отдельным видам грузов.
3. Выбор технических систем, участвующих в транспортировке грузов, и вычисление нормативного роста интенсивности движения, а также оказываемой ими физической нагрузки на городские дороги.

Полученные результаты по росту интенсивности движения и нагрузки на городских дорогах при сопоставлении с реально существующими техническими возможностями городской дорожной инфраструктуры позволят провести оценку перспективных направлений модернизации или реконструкции дорожной инфраструктуры долины Туймаада.

Как было показано выше, в силу особенностей исторического развития городской застройки транспортировка грузов возможна только сквозь городскую территорию и исключительно по двум маршрутам – восточному и западному городским коридорам (соответственно, ВГК и ЗГК). Перевозка грузов



может осуществляться по двум схемам. Обе схемы имеют общий участок – подход к мостовому переходу через р. Лена (4,2 км) – РАД «Умнас» (около 30 км) – граница ГО «Город Якутск». По восточному коридору предполагается транспортировка исключительно ГСМ, а по западному – всех остальных грузов. Все дороги, включённые в схемы, относятся к IV категории с нормативной максимальной допустимой осевой нагрузкой шесть тонн.

Проведем расчёт более приближенной к реальности нагрузки на дорожную одежду от нормативного/приведённого легкового автомобиля, который заложен в базис укрупнённой модели. Параметры для расчёта:

- вес нормативного автомобиля – 1500 кг (14715 Н при $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$);
- количество осей – 2;
- количество колёс – 4;
- ширина одной шины – 0,145 м;
- протяжённость площадки касания шины с дорожной одеждой по оси движения автомобиля – 0,1 м.

Принятая ширина шины 145 мм соответствует минимальной ширине шин, выпускаемых отечественной промышленностью для автомобилей эконом-класса, что позволяет определить максимально возможную нагрузку от колеса приведённого автомобиля на дорожную конструкцию.

Площадь (S) площадки касания шины с дорогой составляет $0,0145 \text{ м}^2$. На одно колесо приходится 375 кг веса автомобиля, что составляет 3678,75 Н ($P_{\text{авт.}}$). Определяем нагрузку (P), создаваемую одним колесом нормативного легкового автомобиля на дорожную одежду:

$$P = P_{\text{авт.}} / S = 3678,75 \text{ Н} / 0,0145 \text{ м}^2 = 253706,89655 \text{ Па} \approx 253,707 \text{ кПа.}$$

Для сравнения определим давление колеса «модельной тележки» ($P_{\text{н}}$), приведённой в ГОСТ 52748-2007⁷, на площадку касания $0,0145 \text{ м}^2$:

$$P = P_{\text{н}} / S = 500 \text{ Н} / 0,0145 \text{ м}^2 = 34482,75862 \text{ Па} \approx 34,482 \text{ кПа.}$$

Таким образом, давление на дорожную одежду колеса «модельной тележки» ГОСТа более чем в семь раз меньше давления колеса

нормативного автомобиля. Соответственно, применение рекомендаций данного нормативного документа при практических расчётах приведёт к непредсказуемым результатам в плане устойчивости и безопасности автодорог.

Следует особо подчеркнуть, что выражение осевой нагрузки в ньютонах, принятое в нормативной документации, имеет очень маленькую значимость при практических расчётах нагрузки на дорожные одежды. Осевая нагрузка, выраженная в ньютонах, фиксируется только специальным оборудованием в ходе достаточно громоздкой процедуры и только с целью стандартизации данных замеров (например, под воздействием статического или динамического штампов) при проверке качества дорожных одежд. Значения осевого давления, выраженные в ньютонах, не изменяются при вариациях ускорения свободного падения в различных точках земной поверхности. В этом аспекте измеренное осевое давление отражает силу воздействия оси автомобиля на штوك измерительного прибора и никоим образом не связано с воздействием автомобиля на дорожное полотно. Воздействие веса автомобиля на дорожную одежду передаётся колесами через площадку касания и должно выражаться в паскалях (Н/м^2). В реальных условиях при получении данных оперативного контроля за дорожным движением определение параметров площадки касания каждого колеса всех автомобилей невозможно. Факторами, влияющими на размер площадки касания, выступают: тип автомобиля, вид и качество шин, их ширина и рабочее давление, количество груза, температура воздуха и т. п. Соответственно, в практике дорожного контроля нагрузки от автомобилей на конструкционные элементы автомобильных дорог повсеместно используются килограммы. Это значение отражает вес автомобиля и легко фиксируется на постах весового контроля даже у движущихся автомобилей. Соответственно, при расчётах нагрузок в рамках укрупнённой модели в качестве единицы измерения применяется килограмм.

У дорог II–V категорий обозначен верхний предел допустимой интенсивности движения. Предполагается, что конструкция дороги определённой категории рассчитана на прохождение по ней именно этого максимального количества автомобилей за сутки. Данные по интенсивности движения в транспортных

⁷ ГОСТ 52748-2007 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения». [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200057497/>. Доступ 22.08.2021.

единицах не позволяют идентифицировать вес каждой единицы. Напомним существенные для расчётов параметры приведённого легкового автомобиля:

- вес – 1500 кг;
- и количество осей – 2.

Рассчитаем:

1. Общую нормативную приведённую суточную нагрузку на дорожную одежду (P1), представляющую собой произведение максимальной суточной нормативной интенсивности приведённых легковых автомобилей на массу одного приведённого автомобиля.

Для дорог IV категории:

$$P1(IV) = 2000 \text{ авт./сут.} \times 1500 \text{ кг} = 3\,000\,000 \text{ кг/сут.} = 3\,000 \text{ т/сут.}$$

2. Единичную нормативную осевую нагрузку от приведённого автомобиля (P2), получаемую путём деления массы одного автомобиля на количество осей.

Для дорог любой категории:

$$P2 = 1500 \text{ кг}/2 = 750 \text{ кг.}$$

3. Количество нормативных осевых воздействий (N1), определяющееся путём перемножения количества нормативных приведённых легковых автомобилей на количество осей.

Для дорог IV категории:

$$N1 = 2000 \text{ авт./сут.} \times 2 = 4000.$$

Этот показатель безразмерный. Его можно использовать при определении дополнительных нагрузок на дорожные одежды, возникающих при действии импульса силы на неровностях или выбоинах, а также центробежных сил и сдвиговых усилий в материалах дорожных одежд на поворотах.

Обозначенные параметры – нормативные, т.е. рассчитанные по нормативным требованиям к интенсивности движения. В то же время, аналогичные расчёты можно произвести и для модельных или реальных колёсных транспортных средств. Вычислив среднюю осевую нагрузку (P3) технического транспортного средства по методике P2, необходимо определить коэффициент приведения (M1) средней осевой нагрузки технического средства к единичной нормативной осевой нагрузке от приведённого автомобиля по формуле: $M1 = P3 / P2$. (1)

Коэффициент приведения показывает, какому количеству единичных нормативных осевых нагрузок от приведённого автомобиля соответствует средняя осевая нагрузка рассматриваемого технического средства, и поз-

воляет вести сравнительный анализ относительных изменений нагрузки по отношению к нормативной. Для любого колёсного транспортного средства, также, как и для приведённого, вычисляются общая суточная нагрузка на дорожную одежду (P4), количество осевых воздействий (N2), которое можно привести к нормативному легковому автомобилю по формуле $N1 = N2 \times M1$. Предлагаемые единицы измерения позволяют в рамках действующей нормативной документации количественно оценить интенсивность нагрузки и её временные колебания для любой дороги в целом, отдельных участков или произвольных поперечных профилей. При этом появляется возможность оценки воздействия любых видов транспортных средств, включая мотоциклы, велосипеды и т.п.

Исходя из нормативной интенсивности движения для дорог IV категории (200–2000 авт./сут.) и веса нормативного автомобиля (1500 кг) определяем максимально допустимую общую нормативную приведённую суточную нагрузку на дорожную одежду.

$$P1_{\text{max}} = 2000 \text{ авт./сут.} \times 2 \times 750 \text{ кг} = 3\,000\,000 \text{ кг/сут.} = 3\,000 \text{ т/сут.}$$

Нормативная приведённая осевая нагрузка (общая и единичная) показывает какое осевое давление оказывает нормативный автомобиль или поток автомобилей на дорожную одежду как в статическом состоянии, так и на всей протяжённости своего движения. Воздействие же на дорожную одежду осуществляется колёсами через площадку касания. При этом основная доля нагрузки приходится на колею движения в пределах дорожной полосы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После введения в эксплуатацию мостового перехода через р. Лена транспортный поток г. Якутска будет складываться из трёх составляющих: существующего на сегодняшний день, перенаправленного с зимних ледовых и летних паромных переправ, а также транспортных средств, перевозящих грузы, поступающих по железной дороге (основной поток).

Принято считать, что существующая интенсивность движения не превышает нормативную и составляет 2000 приведённых автомобилей в сутки. Нормативная осевая нагрузка на дорожную одежду, включая транспортные потоки ледовых и паромных переправ, – 3 000 тонн





Таблица 2

Интенсивность перераспределённого транспортного потока и его нормативная суточная приведённая осевая нагрузка в перспективе на 2044 год [таблица составлена автором с использованием в столбце 2 данных⁸]

Тип транспорта	Интенсивность движения авт./сутки, едн./привед.	Снаряжённая масса, кг	Масса с грузом или пассажирами, кг	Кол-во осей, шт.	P4 / N2, т/к-во	M1 / N1
1	2	3	4	5	6	7
Легковые автомобили	4550*/4550	1500	1500	2	6750/9100	1/9100
Автобусы	185*/629	17930	23130	2	4279/370	15,42/5705
Грузовые автомобили по грузоподъёмности:						
До 5 тонн	445*/890	2500	7500	2	3338/890	5/4450
от 5 т до 12 т	450*/1080	6000	18000	3	8100/1350	8/10800
от 12 т до 20 т	275*/715	7000	24000	4	6600/1100	8/8800
свыше 20 т	495*/1485	7000	30000	5	14850/2475	8/19880
Итого	6400*/9349	–	–	–	43917/15285	-/58735

* Данные ООО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры».

в сутки. Количество суточных нормативных осевых воздействий (N1) – 4000.

Оценка интенсивности перераспределённого потока, с перспективой на 2044 г., произведена Научно-исследовательским и проектным институтом территориального развития и транспортной инфраструктуры⁸. Эта оценка представлена в табл. 2, которая расширена расчётными данными автора по нормативной приведённой интенсивности и нормативной приведённой осевой нагрузке.

Весь перераспределённый поток в рассчитываемой модели проходит по маршруту схемы № 1.

Расчёт прогноза движения, проведённого Научно-исследовательским и проектным институтом территориального развития и транспортной инфраструктуры, в соответствии с поставленными перед ним задачами был ориентирован исключительно на определение интенсивности потока. В нём отсутствуют какие-либо прогнозы и данные по изменению нагрузки на дорожные одежды. Соответственно, не принимается во внимание количество груза/пассажиров в транспортных единицах.

⁸ Примечание: Транспортная модель проекта строительства мостового перехода через реку Лена в районе г. Якутска. Этап 1. ООО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры». Санкт-Петербург, 2018, 93 с.

В связи с этим приведём базовые параметры вычисления приведённой осевой нагрузки для различных типов транспортных средств, представленных в табл. 2:

- Легковые автомобили. Характеристики соответствуют параметрам нормативного приведённого автомобиля – масса 1500 кг, две оси.

- Определение осевой нагрузки автобусов проводилось для наиболее распространённой марки, курсирующей на пригородных маршрутах. Марка – ЛиАЗ 525657. Снаряжённая масса – 17930 кг. Количество осей – 2. Максимальное количество пассажиров – 104. В расчётах принята загрузка в 50 % при нормативном весе одного условного пассажира 100 кг.

- Грузовые автомобили грузоподъёмностью до 5 т. Снаряжённая масса – 2500 кг. Общая масса – 7500 кг. Количество осей – 2.

- Для автомобилей грузоподъёмностью более пяти тонн характеристики определялись исходя из максимального допустимого осевого давления для дорог принятой категории (6000 кг) и количества осей. По нормативной максимальной грузоподъёмности для автомобилей грузоподъёмностью от 12 до 20 т и выше 20 т – с учётом снаряжённой массы возможного шасси – определялась масса снаряжённого автомобиля. Для перераспределённого потока принципиальное значение

имеет только полная масса транспортного средства.

- Грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 12 т. Осей – 3. Максимально допустимая общая масса – 18000 кг. Снаряжённая масса – 6000 кг.

- Грузовые автомобили грузоподъемностью от 12 до 20 т. Осей – 4. Максимально допустимая общая масса – 24000 кг. Снаряжённая масса – 7000 кг.

- Грузовые автомобили грузоподъемностью более 20 т. Осей – 5. Максимально допустимая полная масса – 30000 кг. Снаряжённая масса – 7000 кг.

В основном потоке грузооборота между пунктом отправления и г. Якутском будут формироваться два принципиально отличающихся вектора движения. С грузовых терминалов станции Нижний Бестях до пунктов назначения автомобили перемещаются с полной загрузкой, а из долины Туймаада до терминалов – преимущественно с массой снаряжённого состояния (порожние). Соответственно, для расчётов интенсивности движения и приведённой осевой нагрузки при движении автомобилей до станции Нижний Бестях необходимы конкретные данные по весу транспортных средств в снаряжённом состоянии.

Для расчётов параметров основного потока выбрано шасси типа КамАЗ 65201-63. Количество осей – 4. Снаряжённая масса – 11250 кг.

Транспортировка нефтепродуктов осуществляется автоцистерной типа «Сеспель» с полной массой 35400 кг. Снаряжённая масса – 10400 кг. Полезный груз – 25000 кг. Количество осей – 3.

Расчётные характеристики транспортного средства с автоцистерной для перевозки нефтепродуктов: количество осей – 7. Полная масса – 47650 кг. Снаряжённая масса – 21650 кг. Полезный груз – 26000 кг.

Все остальные грузы транспортируются соответствующими им кузовными устройствами с трёхосной тележкой. Полная масса кузовного устройства – 30750 кг, расчётная снаряжённая масса – 8000 кг. Полезный груз – 22750 кг.

Расчётные характеристики транспортного средства для перевозки «сухих» грузов: количество осей – 7. Полная масса – 42000 кг. Снаряжённая масса – 19250 кг. Полезный груз – 22750 кг.

Оценим объём и структуру основного транспортного потока. В соответствии с дан-

ными пресс-службы Акционерной компании «Железные дороги Якутии»⁹, пусковой комплекс Томмот–Нижний Бестях строился с расчётом на пропускную способность шесть млн тонн в год. Принимаем, что два млн тонн направляются в восточном и юго-восточном направлениях по дорогам Р-504 «Колыма» и «Амга». На левобережье через мост будет поступать четыре млн тонн.

В соответствии с официальными документами Правительства Республики Саха (Якутия), в частности Распоряжением Правительства Республики Саха (Якутия) от 29 марта 2019 года № 322-р «Об организации завоза грузов в Республику Саха (Якутия) в навигацию 2019 года (с изменениями на 3 октября 2019 года)» (в ред. распоряжения Правительства Республики Саха (Якутия) от 03.10.2019 № 1264-р)¹⁰ объём «северного завоза» нефтепродуктов в Республику Саха (Якутия) в навигацию 2019 года составлял около 500 тыс. тонн. Потребность Центральной Якутии в горюче-смазочных материалах также составляет около 500 тыс. тонн. Таким образом, в потоке грузов на левобережье один млн тонн будут составлять нефтепродукты и ГСМ и три млн тонн – прочие грузы.

Исходя из структуры и объёма грузов, рассчитаем потребность в технических средствах (N, в штуках) для их транспортировки по формуле:

$$N = \text{объём груза/грузоподъёмность транспортного единицы} \quad (2)$$

Нефтепродукты и ГСМ (N4):

$$N4 = 1\,000\,000\,000 \text{ кг}/25\,000 \text{ кг} = 40\,000 \text{ авт.}$$

Среднегодовая среднесуточная интенсивность ($I_{\text{снеф}}$) автоцистерн:
$$I4 = 40\,000 \text{ авт.} \times 2/365 \text{ суток} = 109,59 \times 2 \text{ авт./сут.} \sim 110 \times 2 \text{ авт./сут.} = 220 \text{ авт./сут.}$$

Прочие грузы (N5):

$$N5 = 3\,000\,000\,000 \text{ кг}/22\,750 \text{ кг} = 131\,868,13 \text{ авт.} \sim 131\,869 \text{ авт.}$$

Среднегодовая среднесуточная интенсивность ($I_{\text{сгруз}}$) грузовиков:

$$I5 = 131\,869 \text{ авт.} \times 2/365 \text{ суток} = 361,28 \times 2 \text{ авт./сут.} \sim 362 \times 2 \text{ авт./сут.} = 724 \text{ авт./сут.}$$

При расчёте интенсивности умножение на два учитывает движение транспортного потока в обоих направлениях.

⁹ Официальный сайт Акционерной компании «Железные дороги Якутии». [Электронный ресурс]: <https://rw-yu.ru/>. Доступ 22.08.2021.

¹⁰ Официальный сайт Правительства Республики Саха (Якутия), <http://docs.cntd.ru/document/561407665>.



Таблица 3

Интенсивность перспективного основного транспортного потока и его нормативная суточная приведённая осевая нагрузка на участке Умнас [составлено автором]

Тип транспорта	Интенсивность движения авт./сут., ед./привед.	Загрузка	Масса одной транспортной единицы, кг	Кол-во осей, шт.	P4 / N2, т/к-во	M1 / N1
1	2	3	4	5	6	7
КамАЗ 65201-63 с автоцистерной типа «Сеспель»	110/330	Полная	47650	7	5241,5/770	9,1/6989
	110/330	Порожнем	21650	7	2381,5/770	4,1/3175
КамАЗ 65201-63 с кузовным устройством	724/2172	Полная	42000	7	30408/5068	8/40544
	724/2172	Порожнем	19250	7	13937/5068	3,7/18752
Итого	1668/5004	–	–	–	51968/11676	-/69460

Таблица 4

Характеристики перспективного транспортного потока на отдельных участках дороги долины Туймаада [составлено автором]

Участок	Интенсивность движения в приведённых автомобилях ($I_{\text{привед}}$), авт./сут.	Прирост к предельно допустимой нормативной (существующей), %	Общая суточная нагрузка на дорожные одежды (P), т	Прирост к предельно допустимой нормативной (существующей), %	Количество нормативных осевых суточных воздействий (N1), шт.	Прирост к предельно допустимым нормативным (существующим), %
1	2	3	4	5	6	7
Умнас	14354	717,8	95885	3196,17	128195	3205
ЗГК	13694	684,7	88262	2942,07	118031	2951
ВГК	660	33	7623	254,1	10164	255
Нам – Якутская нефтебаза	660	33	7623	254,1	10164	255

Интенсивность основного транспортного потока и его нормативная суточная приведённая осевая нагрузка представлены в табл. 3.

Прежде чем начать анализ роста интенсивности движения и нагрузки на дорожное полотно, следует выделить в расчётных схемах транспортировки грузов участки с однородной плотностью движения.

Обе схемы имеют один общий участок – РАД «Умнас»–граница ГО «Город Якутск» протяжённостью около 30 км (далее «участок Умнас»). По нему будут перевозиться все грузы, поступающие на левобережье с моста.

На границе города – кольцевая развязка РАД Умнас, ул. Автодорожная, ул. Красильникова – единый транспортный поток разбивается на два, направляясь по Западному (ЗГК) и Восточному (ВГК) городским коридорам.

В соответствии с рассматриваемой укрупнённой моделью, по Восточному коридору производится транспортировка только неф-

тепродуктов и ГСМ до Якутской нефтебазы в пос. Жатай (схема 2). Все прочие грузы и пассажирские перевозки следуют по Западному коридору (схема 1). Расчётные характеристики перспективных транспортных потоков по отдельным участкам представлены в табл. 4.

Как видно из данных, приведённых в табл. 4, наиболее проблемная ситуация сложится на участке Умнас. Расчётная интенсивность движения на участке с учётом существующего транспортного потока достигнет 16354 приведённых автомобилей в сутки, что соответствует интенсивности движения дорог I категории, точнее – категории I-б (магистральные дороги общего назначения). В то же время общая суточная нагрузка и количество нормативных осевых суточных воздействий на дорожные одежды возрастут примерно в 32 раза. Следует напомнить, что конструкция дорожных одежд и тела земляной насыпи участка Ум-

нас рассчитывалась на основе нормативов для дорог IV категории с учётом перспективы на ближайшие 20 лет. Однако в перспективе рассматривался только транспортный поток левобережья и, скорее всего, учитывалось увеличение грузопотока, связанного с завершением строительства республиканской дороги круглогодичного действия «Умнас» (Якутск–Ленск, 1216 км).

Исходя из проведённых расчётов укрупнённой модели грузопассажирских перевозок и учитывая сегодняшнее состояние дороги на участке Умнас, можно утверждать, что после введения в действие мостового перехода через р. Лена этот участок не сможет обеспечить пропуск транспортного потока с правобережья. Рост интенсивности движения в 7,17 раз приведёт к блокировке движения в обе стороны из-за возникновения пробок, в первую очередь на кольцевой развязке Умнас–Новопокровское шоссе–Автодорожная. При этом общая суточная нагрузка на дорожные одежды достигнет 98885 т при нормативных 3000 т. Примерно в 32 раза возрастёт скорость истирания асфальтобетонного покрытия и интенсивность образования колеи в летний период. В осенне-весенний периоды при насыщении тела земляной насыпи водой (до 100%) при такой нагрузке неизбежны процессы её деформации и просадки. В зимний период, который длится более семи месяцев, когда асфальтобетонные дорожные одежды приобретают повышенную хрупкость [5], рост нормативных осевых суточных воздействий на 3205% (табл. 4, ст. 7) вызовет интенсивное разрушение асфальтобетонного покрытия. Оно будет разрушено за один зимний сезон или будет требовать ежегодного капитального ремонта на всей протяжённости участка, при нормативном сроке межремонтного периода один раз в 12 лет.

Аналогичное положение дел сформируется и в Западном городском коридоре. С учётом существующего городского потока интенсивность движения составит 16694 приведённых автомобилей в сутки, что также соответствует категории Ib. При изменении базовых параметров модели в части равномерного распределения легковых автомобилей перераспределённого потока между ЗГК, ВГК и трассой ул. Автодорожная–ул. Ойунского (табл. 2), а также направления движения автобусов по ул. Автодорожная–ул. Ойунского–Автовокзал, интенсивность на участке ул. Красиль-

никова–ФАД А-331 «Виллой» составит 13031 приведённый автомобиль в сутки. Полученная интенсивность соответствует II категории автодорог.

В Восточном городском коридоре по интенсивности движения и нагрузкам на дорожное полотно, на первый взгляд, складывается достаточно благоприятная обстановка. Если проектирование и строительство дорог коридора учитывали расчётные перспективные потоки, то никаких технических проблем с пропуском грузового транспорта не существует. Однако, в соответствии с моделью, этот грузопоток представлен исключительно автоцистернами, перевозящими нефтепродукты и ГСМ. ВГК и ЗГК проходят исключительно по территории городских жилых застроек. Расчётный годовой объём перевозимых нефтепродуктов и ГСМ – 1 млн тонн. Этот вид грузов относится к особо опасным, и массовая транспортировка таких грузов через жилые сектора городов запрещена. Таким образом, доставка особо опасных грузов от железнодорожной станции до п. Жатай через городскую дорожную инфраструктуру невозможна в принципе.

Транзит через городскую инфраструктуру около трёх млн тонн народно-хозяйственных грузов (без нефтепродуктов) имеет формальное решение. Принимая во внимание имеющиеся на сегодняшний день проблемы городской дорожной инфраструктуры [1], одним из наиболее привычных путей кажется реконструкция комплекса дорог, входящих в схему 1, и доведение их по пропускной способности и допустимой осевой нагрузке до состояния дорог категории Ib. Однако особенности исторически унаследованной схемы жилой застройки и дорожной схемы г. Якутска, качество грунтов оснований и нормативные требования к городским дорогам и магистралям исключают возможность реализации данного проекта даже в отдалённой перспективе.

В то же время, важной проблемой, создающей практически непреодолимый барьер для решения очевидной транспортно-логистической проблемы, является то, что в обсуждаемые схемы транспортировки грузов включены дороги, строительство, ремонт и содержание которых осуществляется за счёт средств бюджетов трёх различных уровней. Подход к мостовому переходу на левом берегу р. Лена, протяжённостью около 4,2 км, будет относиться к федераль-



ному уровню. Участок дороги «Умнас» до границы ГО «Город Якутск» (около 30 км) и участок дороги «Нам» от границы города до границы МО «п. Жатай» (около 17 км) – к республиканскому бюджету. Финансирование дорожных работ в пределах ГО «Город Якутск» и МО «п. Жатай» осуществляется из муниципальных бюджетов. Принимая во внимание нормативные объёмы финансовых средств для дорожного строительства в различных бюджетах и требования к исполнению бюджетного законодательства, найти решение обозначенных выше проблем транспортной инфраструктуры долины Туймаада не представляется возможным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апробация новой методики расчётов нагрузки на дорожное полотно выявила её практическую применимость при оценке существующих и перспективных транспортных потоков по интенсивности движения и нагрузкам на дорожные одежды. Разработанная методика позволяет произвести расчёт реальной нагрузки на конструкцию автомобильной дороги для транспортного потока, состоящего из любого типа транспортных средств. Полученные данные приводятся к нагрузке нормативного приведённого легкового автомобиля. При этом параметры приведённого автомобиля могут быть выбраны применительно к ситуации на конкретной дороге или их сети. В первую очередь это касается его общего веса и загрузки виртуальными пассажирами. В то же время, при разработке методики определение реальной нагрузки от транспортных средств не являлось основной задачей. Основной целью было получение алгоритма расчёта, позволяющего связать данные транспортно-логистических корреспондентских матриц, имеющих в своей основе исключительно экономические критерии оценки (экономическая целесообразность), с конструктивными особенностями автодорог, которые в корреспондентских матрицах не учитываются. Например, если в построенной корреспондентской матрице определяется экономически обоснованная транспортная артерия, по которой будут перевозиться какое-то количество грузов конкретными типами транспортных средств, то предлагаемая методика позволяет опре-

делить соответствие конструкции дороги или дорог в этом транспортном коридоре спрогнозированному в корреспондентской матрице грузовому потоку и типу транспортных систем. Исходя из полученных расчётов, даются обоснованные рекомендации по коррекции логистических путей или капитальному ремонту/реконструкции выбранных транспортных путей, технологиям строительства. Также методика позволяет дать рекомендации по необходимым изменениям и оптимизации структуры действующего и перспективного парка автомобильных транспортных средств (по грузоподъёмности, количеству осей, маршрутам движения и т. п.), организации транспортных потоков в зависимости от конструктивных особенностей автомобильных дорог, организации и размещению транспортно-логистических центров или баз (складирование, весовой контроль, погрузочно-разгрузочные работы, СТО, заправочные станции, паркинги, кемпинги и т. п.). Немаловажным свойством методики выступает возможность производства независимого автоматизированного расчёта и цифрового моделирования направленности и объёмов грузопассажирских перевозок в пределах городской улично-дорожной сети, с учётом её конструктивных особенностей.

На основе апробации разработанной методики при расчёте перспективной нагрузки на улично-дорожную сеть Городского округа «Город Якутск», которая возникнет после строительства мостового перехода через р. Лена, можно сделать следующие выводы:

1. Дорожная инфраструктура долины Туймаада не в состоянии обеспечить пропуск перспективных грузопотоков, которые будут поступать на левый берег р. Лена по мостовому переходу.

2. Реконструкция базовых автомобильных дорог и доведение их состояния и качества по пропускной способности и допустимым нагрузкам до уровня категории дорог 1б, в первую очередь в пределах границ Городского округа «Город Якутск» и МО «п. Жатай», невозможны по ряду объективных причин.

3. Единственно возможным решением подавляющей части возникающих проблем является строительство федеральной окружной автомобильной дороги, проходя-

щей в основном вне пределов долины Туймаада. В качестве наиболее перспективного направления предлагается трасса по так называемому «коренному берегу»: «мостовой переход левобережья–ФАД «Виллой»–Маганский тракт–РАД «Нам»–Якутская нефтебаза (п. Жатай)».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ivanova, A. E., Filippov, D. V. Creation background of the Yakutsk city intelligent transport system. Amazonia Investiga, 2019, Vol. 8, No. 23, pp. 419–430. [Электронный ресурс]: <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/download/886/827/> Доступ 07.02.2022.

2. Габышев М. В. Исследование температурного растрескивания асфальтобетонных покрытий // Сборник материалов Всероссийского форума «Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера» и Недели студенческой науки Автодорожного факультета СВФУ. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. – С. 92–97. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36522161&selid=36748529>. Доступ 07.02.2022.

3. Габышев М. В., Лебедев М. П., Степанов С. П., Сивцев П. В. Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния дорожной одежды в условиях крайнего Севера // V Международная конференция-школа по химической технологии ХТ'16 // Сборник тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – Том 3. – ВГТУ, 2016. – С. 163–164. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26265098>. Доступ 07.02.2022.

4. Габышев М. В. О возникновении температурных трещин в асфальтобетонном покрытии в условиях Крайнего Севера // Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 60-летию со дня образования Якутского государственного университета (СВФУ). – СВФУ, 2016. – Том 1. – Секции 1–3. – С. 29–33. [Электронный ресурс]: [https://nti.s-vfu.ru/downloads/nauka/Материалы_XVII_VНПК_\(том_1\).pdf](https://nti.s-vfu.ru/downloads/nauka/Материалы_XVII_VНПК_(том_1).pdf). Доступ 07.02.2022.

5. Габышев М. В., Едисеев О. С. Анализ зависимости температурного растрескивания и модуля упругости асфальтобетонных покрытий // Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 11 (1023) – С. 29–37. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41313294>. Доступ 07.02.2022.

6. Николаева Г. О., Соловьёв Д. Б. Характеристика процессов морозного пучения грунтов земляного полотна автомобильных дорог Центральной Якутии // Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 11 (1023). – С. 56–59. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=41313294>. Доступ 07.02.2022.

7. Николаева Г. О. Исследование влагопроводных свойств грунтов земляного полотна автомобильных дорог Центральной Якутии // Транспорт. – 2018. – № 6. – С. 347–351. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36905519>. Доступ 07.02.2022.

8. Шестернев Д. М., Острельдина Т. В. К методике исследований гидротермических деформаций на автомобильных дорогах криолитозоны // Наука и образование. – 2017. – № 1. – С. 57–62. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28856021>. Доступ 07.02.2022.

9. Atabekov, K. K., Nikolaeva, G. O., Sarymsakov, B. A., Maksimovich, K. Yu., Voinash, S. A., Kamenchukov, A. V., Sokolova, V. A. Decrease in average traffic speed and increase in harmful emissions of vehicles at unregulated pedestrian crossings in cities. Journal of Physics: Conference Series, 2020, Vol. 1679, Iss. 5, 1679 052055. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/5/052055.

10. Каменчуков А. В., Николаева Г. О., Горшков Н. И., Ловцов А. Д. Оценка устойчивости откосов системы «земляное полотно – дорожная одежда» с нарушенной структурой // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2020. – Том 7. – № 4. [Электронный ресурс]: <https://t-s.today/05sats420.html>. Доступ 07.02.2022.

11. Kamenchukov, A. V., Nikolaeva, G. O. Research on the Hydraulic Conductivity Properties of the Soil Subgrade of the Central Yakutia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, Vol. 1079, Chapter 1, 1079 022069. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/2/022069.

12. Kamenchukov, A. V., Nikolaeva, G. O., Ukrainskiy, I. S. Improving the stability of high embankment slopes on weak foundations. E3S Web Conf., 2021, Vol. 244, XXII International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies (EMMFT-2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202124405018.

13. Rudov, S. E., Grigorev, I. V., Kunickaya, O. A., Druzyanova, V. P., Pekhutova, A. S., Ivanov, A. P., Ivanov, A. K., Okhlopko, M. K., Pankov, V. Yu., Borovikov, R. G. Specific features of accounting of state of the massive of the frozen soil grounds under cyclic loads. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 25 (Suppl. 2), 2019, pp. 1–15. [Электронный ресурс]: <https://www.agrojournal.org/25/02s-23.pdf>. Доступ 07.02.2022.

14. Pankov, V. Yu. Assessment of the Throughput and Stability of Highways in the Permafrost Zone on the Example of the City of Yakutsk. Trans Tech Publications Inc., Switzerland, Advanced Engineering Forum, 2021, Vol. 45.

15. Геология СССР. Том XVIII. Западная часть Якутской АССР. Часть I. Геологическое описание. Книга I / Под ред. академика А. В. Сидоренко. – М.: Недра, 1970. – 536 с. [Электронный ресурс]: https://www.studmed.ru/geologiya-sssr-tom-xviii-zapadnaya-chast-yakutskoy-assr-chast-1-geologicheskoe-opisanie-kniga-1_33bb3c64d1a.html. Доступ 07.02.2022.

16. Карта Мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири / Под ред. академика М. П. Мельникова. – 1984.

17. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / Под ред. академика М. П. Мельникова. – Новосибирск: Наука, 1984. – 189 с. ●

Информация об авторе:

Панков Владимир Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, магистр управления на транспорте, доцент Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова, Якутск, Россия, pankov1956@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022, актуализирована 28.01.2022, одобрена после рецензирования 18.02.2022, принята к публикации 22.02.2022.

От редакции. Публикуемая статья открывает возможности для научной дискуссии, в том числе с учётом мнения автора о необходимости разработки и/или уточнения ряда параметров нормативных документов в части автодорожного строительства, сформулированных им предложений в части расчёта нагрузки на дорожное полотно и по поводу сопряжённых с проектом строительства мостового перехода через р. Лена вопросов развития обходов и улично-дорожной сети города Якутска. Публикации на эту тему могут быть продолжены при поступлении мнений, альтернативных высказанным автором или, напротив, в их развитие.

