

Механизмы качества планирования маршрутов



Владимир УМАНСКИЙ
Vladimir I. UMANSKY

Сергей ДОЛГАНЮК
Sergey I. DOLGANUK



Уманский Владимир Ильич — доктор технических наук, генеральный директор ЗАО «ИнтехГеоТранс». Долганюк Сергей Иванович — кандидат технических наук, заместитель начальника отдела автоматизации управления локомотивами на станции ОАО «НННЛС».

Значение интеллектуальных станционных систем для повышения качественных показателей поездной и маневровой работы. Сравнительный анализ возможностей автоматизированного управления и диспетчера-оператора, дежурного по станции. Особенности механизмов принятия управляющих решений.

Ключевые слова: железная дорога, интеллектуальная система, станция, эффективность, маршрут движения, поезд, маневровый состав.

Интелектуальная станционная система (ИСС) на крупных станциях железных дорог может включать в себя несколько подсистем, основными из которых являются интеллектуальные подсистемы дежурных по станции (ИССДСП), единолично распоряжающихся перемещениями подвижного состава по путям в выделенном станционном районе.

1.

Дежурный по станции (ДСП) принимает управляющие решения U (ДСП) на основе накопленного опыта и интуиции. Процесс рождения решений можно представить функционалом следующего вида:

$$U(\text{ДСП}) = P_{\text{ДСП}}(x_1, x_2 \dots x_n), \quad (1)$$

где $P_{\text{ДСП}}$ — оператор, наделяемый методами и технологией принятия управляющих решений ДСП;

$x_1, x_2 \dots x_n$ — параметры, учитываемые ДСП при принятии управляющего решения, в том числе:

x_1 — местоположение объекта управления (поезда, локомотива, маневрового состава, вагона, хозяйственной единицы);

x_2 — свобода пути для предстоящего маршрута передвижения;

x_3 — время выполнения предстоящего маршрута передвижения;

x_4 — наличие враждебных маршрутов,

x_5 — комплекс параметров, используемых для определения очередности выполнения враждебных маршрутов;

и т.д.

n — общее число учитываемых параметров.

Принятие управляющего решения интеллектуальной станционной системой выражается функционалом:

$$U(\text{ИССДСП}) = P_{\text{ИСС}}(y_1, y_2 \dots y), \quad (2)$$

где $P_{\text{ИСС}}$ — оператор с комплексом алгоритмического и программного обеспечения, на основе которого реализуется принятие управляющих решений в ИССДСП;

$y_1, y_2 \dots y_m$ — параметры, учитываемые в ИССДСП при принятии управляющих решений;

m — общее число учитываемых параметров.

Параметры $y_1, y_2 \dots y_m$ частично совпадают с параметрами $x_1, x_2 \dots x_n$, но их значения рассчитываются существенно точнее.

Например, ДСП может определять местоположение находящегося на станционном пути локомотива с точностью, соответствующей длине изолированной секции этого пути, а система ИССДСП при использовании спутниковых технологий (СТ) — с точностью до нескольких метров или даже в пределах одного метра.

Число учитываемых параметров в интеллектуальной системе, как правило, больше, чем число параметров, учитываемых дежурным по станции, т.е. $m > n$. Например, при определении времени движения маневрового состава по некоторому маршруту интеллектуальная система может учитывать дополнительные параметры — силу тяги локомотива и массу состава.

При определении местоположения локомотива информация на табло по изолированным секциям выдает ДСП лишь один параметр — «локомотив находится на данной изолированной секции». В системе ИССДСП при использовании СТ образуется еще один параметр — «локомотив находится на некоторой координате данной изолированной секции».

Увеличение числа учитываемых параметров и точности их определения считается одним из преимуществ интеллектуальных станционных систем управления при планировании поездных и маневровых маршрутов.

В ИССДСП также существенно изменяются алгоритмы принятия управляющих решений по сравнению с теми алгоритмами, которые физически может реализовать человек, в данном случае ДСП. Это значит, что операторы $P_{\text{ДСП}}$ и $P_{\text{ИСС}}$ не являются идентичными.

Особое значение имеет тот факт, что оптимальное планирование враждебных поездных и маневровых маршрутов на загруженных станциях требует постоянного прогнозного планирования их выполнения на 20–30 мин вперед. Для некоторых ситуаций, впрочем, продолжительность такого планирования может достигать и 50–60 мин. При обычно высоком уровне загрузки на крупных станциях рабочего времени ДСП человек, управляющий объектом (человек-оператор), не имеет времени для тщательного обдумывания ситуации и сравнения различных вариантов выполнения враждебных маршрутов. Поэтому решения принимаются быстро, практически на интуитивном уровне.

Конечно, накопленный опыт позволяет ДСП принимать более или менее приемлемые решения, но потери здесь неизбежны. Хорошо известен и тот факт, что отличные друг от друга по своим индивидуальным качествам дежурные по станции работают лучше или хуже. Это определяется различными человеческими способностями и реакциями в процессе принятия управляющих решений в сложных ситуациях.

Правильно построенная система ИССДСП может обеспечить стабильное получение оптимальных или близких к оптимальным управляющих решений.

2.

Представляет интерес проведение на предпроектном этапе логического сравнения функционалов (1) и (2).

Такое сравнение, с одной стороны, может показать каким образом расширение учитываемых параметров, повышение точности их определения и изменение алгоритмов принятия управляющих решений будет влиять на качество управления поездными и маневровыми маршрутами. С другой стороны,



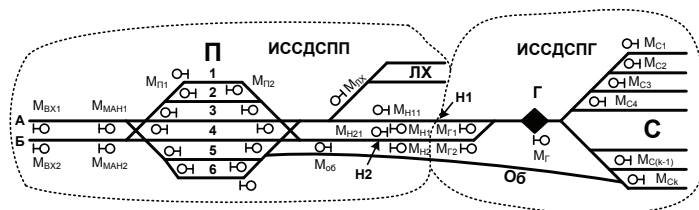


Рис. 1. Схема путевого развития комплекса прибытия-расформирования нечетной системы двусторонней сортировочной станции с зонами ответственности интеллектуальной станционной системы ИССДСПП и ИССДСПГ. Обозначения: $M_{C1}, \dots, M_{Ck}$ – маневровые сигналы для выезда с сортировочных путей (1 к); M_{Γ} – горочный светофор; $M_{\Gamma 1}, M_{\Gamma 2}$ – маневровые светофоры для выхода с путей надвига к горбу горки, M_{H1}, M_{H2} – маневровые сигналы для выхода на путь надвига, M_{H11}, M_{H21} – маневровые сигналы для выхода с путей надвига на пути парка П; $M_{ЛХ}$ – маневровый сигнал на пути, ведущем в ЛХ; M_{O6} – маневровый сигнал для выхода с обходного пути на пути (путь) парка П; $M_{П2}$ – маневровые сигналы для выхода с путей парка П на надвигные пути и на путь ведущий в ЛХ и при возможности на обходной путь; $M_{П1}$ – маневровые сигналы для выхода с путей парка П во входную горловину парка П; $M_{МАН1}, M_{МАН2}$ – маневровые сигналы для следования на пути парка П; $M_{ВХ1}, M_{ВХ2}$ – входные сигналы; O_6 – обходной путь, H1 – первый путь надвига, H2 – второй путь надвига.

подобный логический анализ способен указать на востребованность некоторых дополнительных параметров, а также выявить направления развития структуры алгоритмов принятия управляющих решений. Покажем это на примерах.

ИССДСП должна в автоматизированном режиме вырабатывать управляющие решения (которые в настоящее время принимает человек-оператор, ДСП) следующих видов:

- решение на текущий момент и прогнозируемый период времени о перечне всех выполняемых по путевому развитию подсистемы передвижений (от начальной до конечной точек) поездов, локомотивов, маневровых составов и хозяйственных единиц (дрезин, снегоуборочных машин и пр.) – как находящихся в пределах подсистемы, так и вне ее;

- определение очередности передвижений подвижных единиц;
- выбор маршрута следования для каждого передвижения;
- определение текущего времени открытия поездных и маневровых сигналов;
- определение текущего времени окончания каждого передвижения по заданному маршруту.

ИСС и соответственно вся станционная интеллектуальная система будут эффективны только в том случае, если управляющие решения, вырабатываемые в автоматизированном режиме, окажутся лучше решений, предлагаемых человеком-оператором, а именно ДСП. Это может быть достигнуто на основе учета в ИССДСП большего числа параметров, чем способен принять во внимание человек-оператор, при более точном

учете параметров, определяющих работу той или иной подсистемы ИСС, а также при использовании лучших алгоритмов принятия управляющих решений.

Логический анализ работы станций на основе сравнения функционалов (1) и (2) показывает, что достижение такого положения вполне реально, особенно при наличии спутниковых технологий для контроля за местоположением подвижных единиц, даже если отсутствуют в них системы точного определения местоположения вагонов на станционных путях.

На рис. 1 представлена схема путевого развития комплекса прибытия-расформирования нечетной системы двусторонней сортировочной станции, включающей парк прибытия (П), сортировочную горку (Г), сортировочный парк (С), а также соединительные пути между ними и локомотивным хозяйством (ЛХ). Транзитный поездопоток с переработкой поступает с двух направлений, располагающих ближайшими к сортировочной системе станциями А и Б. Имеется шесть путей в парке прибытия, два надвигных пути и обходной путь (O_6) из сортировочного парка в парк прибытия в обход сортировочной горки. Назначение поездных и маневровых сигналов, а также некоторых путей приведены в подрисунковой подписи.

В комплексе прибытия-расформирования могут функционировать две подсистемы ИСС: управления работой парка прибытия – ИССДСПП (1) и управления работой сортировочной горки – ИССДСПГ (2). Зоны их ответственности показаны на рис. 1, в каждой из этих зон передвижениями подвиж-

ных единиц управляет отдельный дежурный по станции или отдельная подсистема ИСС.

3.

Сравним условия принятия некоторых управляющих решений человеком-оператором (ДСП) и интеллектуальной подсистемой ИСС – ИССДСПП.

Человек-оператор (или – при внедрении интеллектуальной станционной системы – ИССДСПП) принимают управляющие решения по следующим основным передвижениям:

- 1) прибытие поездов со станций А и Б;
- 2) пропуск поездного локомотива после отцепки от состава в ЛХ;
- 3) заезд маневрового локомотива после отпуска состава в парк прибытия для надвига очередного состава;
- 4) надвиг и роспуск состава.

Целевой функцией в работе комплекса прибытия-расформирования является минимизация времени нахождения составов прибывающих поездов в парке прибытия:

$$t_{np} \rightarrow \min. \quad (3)$$

В качестве ограничений выступают:

– преимущество поездных маршрутов перед маневровыми

$$z_{np} \rightarrow z_{man}, \quad (4)$$

где z_{np} – операции по приему поездов в парк прибытия при наличии в нем свободных путей; z_{man} – операции по выполнению маневровых маршрутов (ограничение (4) минимизирует простои поездов на подходах к станции);

– недопустимость времени нахождения поездных локомотивов (ПЛ) в парке прибытия t_{nl}^n более некоторого нормативного значения t_{nl}^n –

$$t_{nl}^n \leq t_{nl}^n. \quad (5)$$

Реализация целевой функции (3) достигается за счет создания наилучших условий для выполнения передвижений подвижных единиц. Такими условиями (назовем их «условиями обеспечения качества» работы подсистемы станции) являются:

– достижение максимальной параллельности выполнения основных передвижений;

– минимизация перерывов между последующими передвижениями и ожиданий их выполнения вследствие враждебности маршрутов и по другим причинам;

– возможность реализации максимальных скоростей движения подвижных единиц.

При этом само качество управления, численно выражаемое величиной t_{np}^n ,

в основном определяется тем, какие возможности имеют человек-оператор или интеллектуальная подсистема ИССДСПП для реализации указанных «условий обеспечения качества».

Это позволяет логически сравнивать их возможности по качеству выполнения целевой функции (3) еще на предпроектном этапе.

Выполним такое логическое сравнение, например, для передвижения «прибытие поезда со станции А в парк прибытия П при наличии в нем свободных путей».

В соответствии с ограничением (4) данное передвижение является преимущественным и определять очередность выполнения рассматриваемых передвижений не требуется. Поэтому в этом случае нужно принять три управляющих решения – по выбору маршрута следования, определению времени открытия входного сигнала $M_{вх1}$ и времени окончания передвижения.

Маршрут следования поезда должен выбираться при принятии таких решений с учетом двух мотивированных положений.

Первое положение – обеспечение максимальной параллельности операций во входной горловине парка П.

Если, например, в период времени прибытия поезда предполагается выполнение передвижения маневрового локомотива (операция «заезд») с 5-го пути на 4-й (на котором расположен состав для надвига и отпуска), то поезд следует принять на путях 1–3. Данное управляющее решение очевидно и, видимо, будет одинаковым у человека-оператора и ИССДСПП. В входной горловине парка прибытия (рис. 1) количество передвижений, выполняемых в параллельном режиме, невелико, и соответственно возможности человека-оператора и ИССДСПП по реализации «условий обеспечения качества» различаются незначительно. Поэтому при выполнении первого положения качество управления при выборе маршрута для прибывающего поезда с переходом от системы управления человеком-оператором





ром к интеллектуальной системе изменится несущественно.

Вообще следует заметить, что эффект интеллектуализации процессов управления тем выше, чем больше вариантов имеется при выборе управляющих решений.

Второе положение при выборе маршрута прибытия поезда заключается в обеспечении максимальной параллельности операций в предгорочной горловине.

Прежде всего это означает, что составы должны надвигаться на горку с максимальной параллельностью, чтобы после окончания роспуска одного состава с минимальным перерывом начинался роспуск следующего состава. Для этого прием поездов на пути парка П должен регулироваться так, чтобы при роспуске состава, например, с использованием пути надвига Н1 (рис. 1) в максимальной степени имелась возможность осуществлять параллельный надвиг другого состава по пути надвига Н2. Однако в предгорочной горловине выполняются еще и операции — пропуск поездных локомотивов в ЛХ и заезд маневровых локомотивов в парк П. Определить в этих условиях, на какой путь парка П следует принять поезд, чтобы в последующем (через несколько десятков минут) оказалась максимальной параллельность выполнения операций в предгорочной горловине, можно только методом имитационного моделирования процесса работы комплекса — причем не менее чем на 30–60 мин. вперед. Конечно, человеку-оператору выполнить такое невозможно.

Отсюда выходит, что выбор пути в парке прибытия и маршрута приема поезда, при условии выполнения целевой функции (3), требует постоянной работы имитационной модели рассматриваемого комплекса. И если модель правильно отражает реальные условия, то ИССДСПП получает существенное преимущество перед человеком-оператором.

4.

Следующим управляющим решением, которое требуется принять для операции «прибытие поезда», становится определение текущего времени открытия входного сигнала $M_{пл}$.

При принятии этого решения надо учитывать, что возможна враждебность маршрута прибытия поезда по отношению

к маршрутам заезда маневровых локомотивов, а также маршрутам передвижений хозяйственных единиц. В более сложных станционных стрелочных горловинах вероятность появления большого количества враждебных маршрутов еще выше.

Поскольку маршрут прибытия поезда является преимущественным, то с начала его приготовления (с последующим открытием входного сигнала) все передвижения во входной горловине по этому маршруту должны быть прекращены.

По совокупности подобных причин при наличии передвижений с враждебными маршрутами входной сигнал для приема поезда желательно открывать как можно позднее, чтобы успеть выполнить другие передвижения. Но это надо делать так, чтобы не допустить задержки поезда у входного сигнала.

Сегодня человек-оператор принимает решение о времени открытия входного сигнала на основе нескольких данных: об отправлении поезда с соседней станции (в нашем случае со станции А) и предполагаемой скорости его движения; поступлении поезда на предвходные участки (по индикации на табло); примерном времени выполнения имеющихся враждебных передвижений, месте расположения маневровых локомотивов и хозяйственных единиц (по индикации на табло) с точностью до длины изолированного участка пути и предположении о скорости их движения.

Определить с высокой точностью необходимый момент открытия входного сигнала, чтобы в максимальной степени осуществить выполнение других передвижений с враждебными маршрутами, не допуская при этом задержки прибывающего поезда у входного сигнала, человек-оператор опять же не в состоянии.

Если на станции введена строгая ответственность за допускаемые дежурными задержки поездов на подходах, то человек-оператор будет страховать и стараться открыть входной сигнал пораньше, чтобы не задержать поезд на подходе к станции. В этом случае могут иметь место необоснованные задержки выполнения других передвижений с использованием входной горловины.

Если же ответственность за задержки поездов не является строгой, то человек-

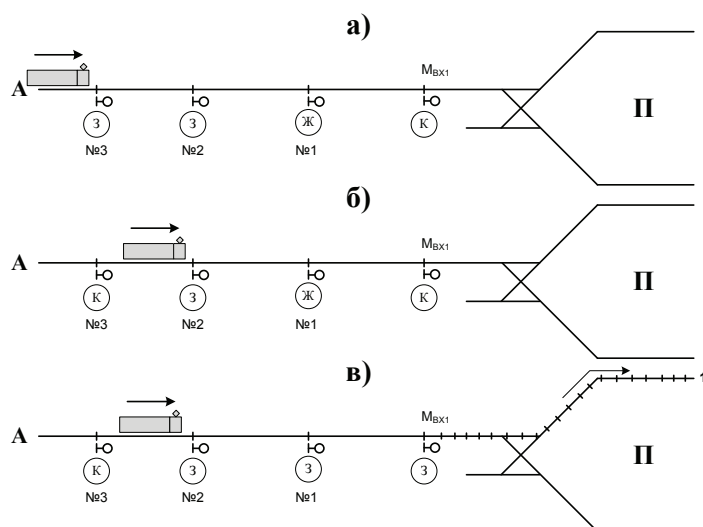


Рис. 2. Схема определения момента открытия входного сигнала $M_{вх1}$. Обозначения: № 1, № 2, № 3 – проходные светофоры на перегоне; показания светофоров: К – красный, Ж – желтый, З – зеленый.

оператор будет стараться успеть выполнить до приема поезда другие нужные передвижения, в том числе и за счет некоторой, по возможности минимальной, задержки поездов на подходе к станции.

И в том, и в другом случаях целевая функция (1) не выполняется.

Между тем, в интеллектуальной подсистеме ИССДСПП имеется возможность с высокой точностью рассчитать текущее время начала приготовления маршрута приема поезда с последующим открытием входного сигнала.

Схема определения момента открытия входного сигнала для поезда, прибывающего в парк П со станции А, представлена на рис. 2. Известно, что при трехзначной автоблокировке должно соблюдаться требование движения поезда «под зеленый на зеленый». При закрытом показании входного сигнала $M_{вх1}$ этому требованию отвечает предельное положение поезда, изображенное на рис. 2б. Открытие входного сигнала в этот текущий момент времени $T_{№2}$ обеспечивает выполнение указанного требования (рис. 2в). Следовательно, текущий момент окончания выполнения маневровых передвижений с занятием

стрелочных переводов и отрезков путей по маршруту прибытия поезда во входной горловине равен:

$$T_{ок} = T_{№2} - t_m, \quad (6)$$

где $T_{№2}$ – текущее время подхода прибывающего поезда к проходному сигналу № 2; t_m – время приготовления маршрута для прибывающего поезда.

В интеллектуальных системах должно быть обеспечено определение местонахождения поездных и маневровых локомотивов с использованием спутниковых технологий. Поэтому величина $T_{№2}$ может считаться известной. А время t_m определяется технологическим временем перевода стрелок по маршруту прибытия поезда.

Если до прибытия поезда (с использованием всего маршрута или некоторой его части) желательно выполнить враждебное маневровое передвижение, то это допустимо при выполнении условия (рис. 3):

$$T_{н.вр}^{max} \leq T_{№2} - t_m - t_{м.вр}, \quad (7)$$

где $T_{н.вр}^{max}$ – максимальное текущее время начала выполнения враждебного маршрута; $t_{м.вр}$ – продолжительность выполнения враждебного маршрута.

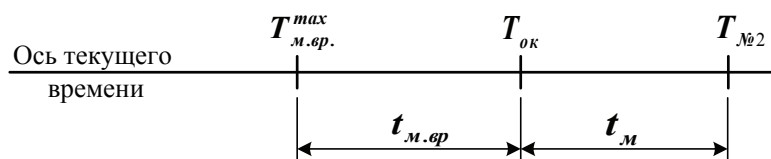


Рис. 3. Определение значения максимального текущего времени начала выполнения враждебного маршрута.





Величина $t_{м.вр}$ в интеллектуальной системе может определяться с высокой точностью при использовании спутниковых технологий для позиционирования маневровых локомотивов. При наличии нескольких враждебных маршрутов подсистемой ИССДСПП выполняется анализ их продолжительности и принимается управляющее решение: какой или какие маршруты будут выполняться до наступления момента ($T_{№2} - t_m$).

Из этого логического анализа понятно, что при принятии управляющего решения по передвижению «прибытие поезда» подсистема ИССДСПП имеет большие преимущества перед человеком-оператором. При ее реализации, во-первых, будут безусловно исключены необоснованные задержки прибывающих поездов перед входными сигналами и, во-вторых, минимизированы потери времени в периоды выполнения враждебных маршрутов, количество которых на загруженных станциях весьма велико.

И, наконец, третьим управляющим решением для передвижения «прибытие поезда» является решение о моменте окончания передвижения. Этим моментом становится освобождение изолированных секций во входной горловине парка П последней осью вагона прибывающего поезда. С участием подсистемы ИССДСПП в этот момент автоматически, с минимальным временем реакции подсистемы начинается приготовление маршрута для очередного передвижения (конечно, при его наличии). Когда процесс зависит от человека-оператора, время реакции может увеличиваться вследствие физиологических возможно-

стей индивида. Это особенно проявляется, если на станции выполняется несколько маршрутов с близким текущим временем их окончания.

Следовательно, по третьему управляющему решению при выполнении передвижения «прибытие поезда» подсистема ИССДСПП имеет преимущество, хотя и небольшое, по сравнению с человеком-оператором.

ВЫВОДЫ

Из материалов исследования вытекает, что для эффективного функционирования интеллектуальных станционных систем, наряду с их инновационным техническим обеспечением (в первую очередь использованием СТ для точного отражения текущей ситуации на станции), необходима разработка имитационных моделей работы станции, способных за счет точного прогнозирования продолжительности поездных и маневровых передвижений обеспечивать качественные результаты станционной деятельности при различной очередности операций на внутренних путях. Это особенно важно для загруженных станций.

Реализация оговоренных условий позволит сохранить преимущество интеллектуальной станционной системы перед человеком-оператором (ДСП). Это будет выражаться в исключении необоснованных задержек поездов на подходах к станции и снижении времени нахождения вагонов на ее путях благодаря уменьшению продолжительности межоперационных перерывов и повышению уровня параллельности выполнения операций. ●

TECHNIQUE TO INCREASE QUALITY OF ROUTES PLANNING

Umansky, Vladimir I. – D.Sc. (Tech), director general of IntechGeoTrans, close corporation.

Dolganuk, Sergey I. – Ph. D. (Tech), vice head of the section of automation of locomotive at-station-control of JSC NIIAS (Research & Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications on Railway Transport).

The authors outline the importance of intellectual railway station systems for improving of quality rates of train operations and switching service. They propose a comparative analysis of capacity of computer-aided controlling and of an oversee, a duty yardmaster. They point out the specific mechanisms of decision-making.

Key words: railway, intellectual system, station, efficiency, itinerary, train, switching train.

Координаты авторов (contact information): Уманский В. И. – umanvi@yandex.ru, Долганюк С. И. – a.lutay@gismps.ru.



ДИРИЖАБЛЬ МОЖЕТ СТАТЬ «АТЛАНТОМ»



В СКОЛКОВО БУДЕТ СОЗДАН ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ НОВОГО ТИПА.

Для реализации идеи ведущий российский и один из мировых лидеров отрасли «Воздухоплавательный центр «Авгурь» учредил дочернее предприятие – ОКБ «Атлант», получившее статус резидента Фонда «Сколково».

Профильным экспертам фонда был представлен проект аэростатического транспортного летательного аппарата нового типа – «АТЛАНТ». Это комбинированное воздушное судно, сочетающее в себе лучшие качества дирижабля, самолета, вертолета и судна на воздушной подушке, будет обладать уникальными свойствами по грузоподъемности – до 250 т, дальностью полета до 5 тыс. км. и возможностью взлета и посадки с любой поверхности, включая водную.

Проект получил наивысший положительный балл экспертного совета. На начальном этапе государство, в лице фонда «Сколково» берет на себя 75% всех расходов на его реализацию. На завершающей стадии – испытания и ввод аппарата в эксплуатацию – участие госбюджета снизится до 25%. Остальные средства поступят от частных инвесторов.

Уникальные возможности «Атлантов» позволят создать инновационную транспортно-логистическую систему, которая сделает экономически целесообразной разработку малых и средних месторождений полезных ископаемых, обеспечит бесперебойное круглогодичное снабжение отдаленных регионов и в конечном итоге придаст дополнительный импульс развитию Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера.

Алексей МИТРОФАНОВ,
PR-директор ЗАО
«Воздухоплавательный центр
«Авгурь»

