



Алгоритм оптимизации формирования «технологических окон» с использованием спутниковых технологий

Р.П. Романенко

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

Аннотация: В работе разработан алгоритм проведения «технологического окна» с использованием спутниковых технологий, представлена технология производства работ.

Ключевые слова: технологическое окно, спутниковая технология, специальный самоходный подвижной состав, перегон, станция примыкания, технология работ, алгоритм, телеграмма, проект геодезических работ, расписание движения, поездной диспетчер, транспортное состояние.

В настоящее время отечественная глобальная навигационная система (далее ГЛОНАСС) находит все большее применение. Не явился исключением и железнодорожный транспорт, где спутниковые технологии применены на подвижных объектах. Железнодорожный транспорт является многочисленным потребителем приемной аппаратуры спутниковых навигационных систем, конкурируя только с автотранспортом. В настоящее время ОАО «Российские железные дороги» продолжают работу по развитию перевозочных процессов и логистических операций с применением спутниковых систем управления и контроля. Также ведется и внедрение данных систем на подвижном составе.

Также немаловажным является использование спутниковых технологий в период подготовки и проведения «технологических окон» по капитальному ремонту объектов инфраструктуры, что позволит повысить качество управления движением, организовать мониторинг состояния подвижного состава, инфраструктуры железных дорог, предоставить новые сервисы в области транспорта, повысить уровень безопасности перевозок, достигнуть более высокого уровня контроля за соблюдением технологических регламентов, получения оперативной и достоверной информации о месте нахождения специального самоходного подвижного

состава (далее ССПС), выполнения сроков подвода ССПС к месту работы, соблюдения технологического графика ремонтных работ в масштабе реального времени, снижения влияния человеческого фактора при получении информации о ходе работ и параметрах движения используемой техники.

Для качественного проведения «технологического окна» с использованием спутниковых технологий необходимо разработать специальный алгоритм, включающий в себя не только требования безопасности движения, но и специфику обмена оперативной информацией с учетом получаемых данных с бортовой аппаратуры ГЛОНАСС, установленной на ССПС. Первым шагом для рассмотрения необходимости создания и применения алгоритма является получение соответствующей телеграммы-разрешения. Как правило, в ней указывается: вид работ, время начала и окончания «окна», номер пути, отдельные пункты, ограничивающие перегон, перегонное время хода поездов, изменение расписания движения поездов, порядок отправления и возвращения хозяйственных поездов, требование безопасности при выполнении работ и пропуска поездов, фамилия и должность руководителя работ, а при необходимости осуществления технического надзора, фамилии и должности работников, осуществляющих его.

Далее, исходя из содержания телеграммы, выясним, сколько подвижных единиц необходимо для выполнения запланированного вида работ согласно технологии производства работ. Если требуется более одной подвижной единицы, то в алгоритме предусмотрим генерирование необходимой последовательности отправки ССПС со станции примыкания на полигон «окна». После определения необходимого количества подвижных единиц приступим к первой стадии подготовки к проведению ремонтных работ – нахождению техники на станции примыкания. В случае ее отсутствия посредством данных спутниковой навигации вычислим ориентировочное

время прибытия и с учетом продолжительности «окна», вида работ, допустимого интервала времени прибытия к полигону «окна» (t_1), примем решение об отмене (срыве) «окна» или допущении его позднего начала. При нахождении путеремонтной техники на станции примыкания потребуется проверить ее техническую готовность к выдвигению на перегон к полигону «окна». При неблагоприятной ситуации (не готовности) выясняется необходимое время для полной готовности. Если это время превысит допустимое (t_2), то высока вероятность «срыва окна», а если менее, то – «позднее начало окна».

С наступлением срока начала работ поездной диспетчер (далее ДНЦ) выдаст приказ о закрытии пути перегона и, исходя из требований безопасности движения, произведет проверку отсутствия на нем подвижного состава, далее выдаст дежурным по станциям, ограничивающим перегон, и руководителю работ приказ о закрытии перегона (пути).

При получении разрешения о начале производства работ персоналу ССПС потребуется ввести в бортовую спутниковую навигационную систему информацию о наименовании (четный или нечетный) пути перегона. Далее первый подвижный объект отправится к «полигону окна». По прибытию на место производства работ путеремонтная техника будет переведена из транспортного состояния в рабочее и начнется непосредственно выполнение работ.

Одновременно с выполнением работ первым ССПС с учетом технологии работ и получаемой оперативной информации спутниковой навигации необходимо подготовить следующий (l -й) ССПС. По завершении всеми подвижными объектами полного объема работ путеремонтная техника переведется из рабочего состояния в транспортное положение и выдвинется с «полигона окна» на станцию примыкания.

На основании вышеизложенных последовательностей и условий алгоритм проведения технологического «окна» представлен на рис.1.

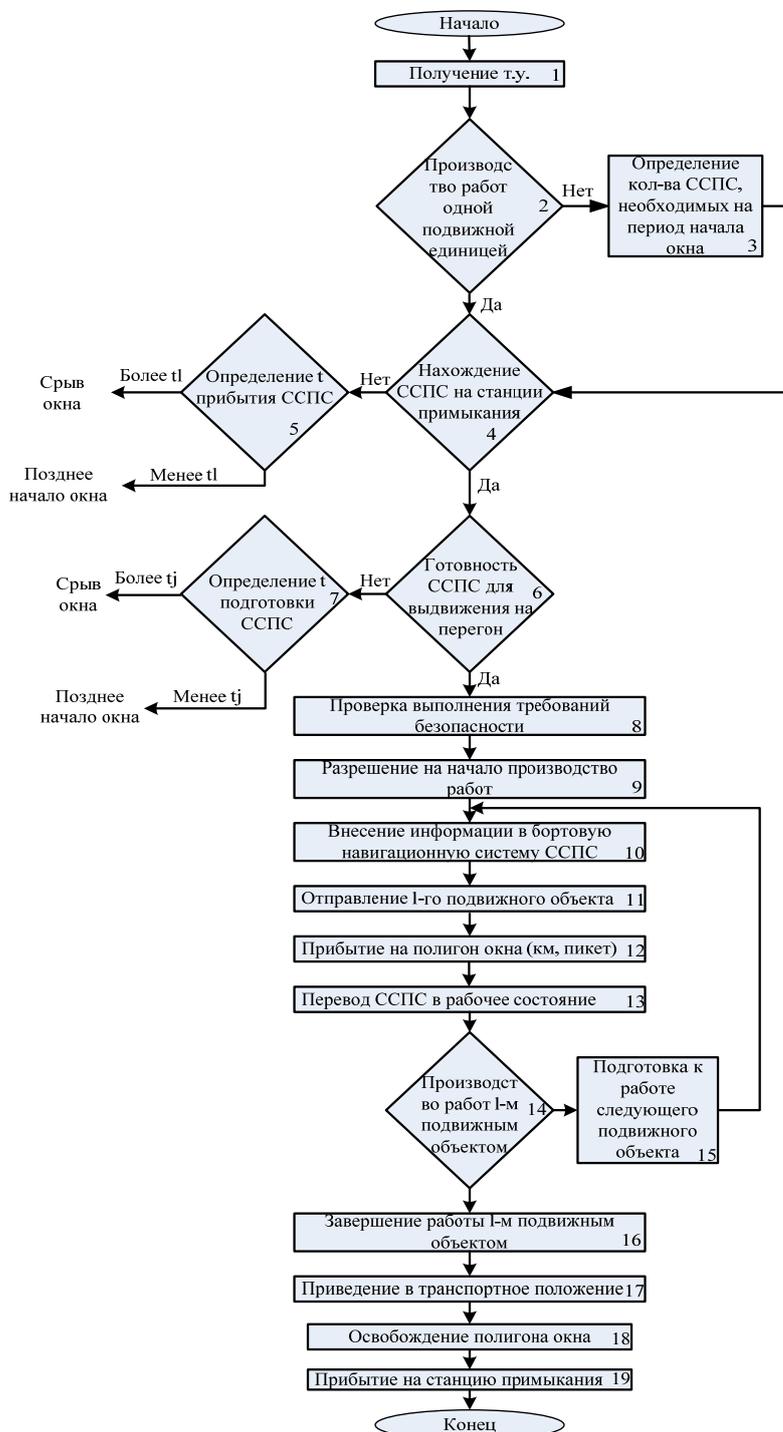


Рис. 1. – Алгоритм проведения «технологического окна» с использованием спутниковых технологий

Отличительной особенностью данного разработанного алгоритма является введение первоначальной информации в бортовую систему подвижного объекта (блок 10), автоматическое прогнозирование ситуации перед началом производства работ (блоки 5 и 7). Наибольший вклад в преимущества данного алгоритма вносит блок 14, в котором осуществляется считывание технических параметров всех рабочих органов ССПС в процессе производства работ. Преимущества применения разработанного алгоритма с использованием спутниковой навигации представлены в таблице №1.

Таблица № 1

Преимущества применения алгоритма с использованием спутниковой навигации

№ п/п	Параметр	Алгоритм без применения ГЛОНАСС	Алгоритм с применением ГЛОНАСС
1	Определение времени прибытия на станцию примыкания	Не автоматически с точностью до десятков минут	Автоматически с точностью до 3,6 мин
2	Определение фактического прибытия на полигон «окна»	Точность от 300 м до 2700 м (исходя из длины рельсовой цепи)	Точность до 1 м
3	Фиксация начала и завершения производства работ	По докладу руководителя работ	Автоматически в режиме реального времени
4	Оперативный контроль выполнения регламента работ	Только в случае присутствия контролирующих лиц	Автоматически в режиме реального времени
5	Расчет времени выдвигания $i+1$ ССПС	Не производится	Производится автоматически

Из выше представленной таблицы видно, что использование алгоритма с применением спутниковой навигации позволяет автоматически и более точно определить время прибытия ССПС на станцию примыкания, зафиксировать прибытие на полигон «окна»; повысить достоверность

информации о начале и завершении производства работ, выполнении технического регламента работ, исключить человеческий фактор; рассчитать время выдвигания следующего подвижного объекта.

Оперативный контроль фактического предоставления окон, хода работ в «окно», своевременного открытия перегонов осуществляют региональные дирекции управления движением и соответствующие региональные дирекции, структурные подразделения которых выполняют работы.

Необходимую продолжительность «технологического окна» определим по формуле:

$$T_{no} = t_{pc} + t_p + t_{mn}, \quad (1)$$

где t_{pc} – время, необходимое для перевода ССПС в рабочее состояние; t_p – время работы ССПС; t_{mn} – время, необходимое для перевода ССПС в транспортное положение и открытия движения на перегоне для графиковых поездов, мин.

Для производства работ в рамках проведения «технологического окна» с применением спутниковой навигации потребуется разработать соответствующую технологию. В ее состав включим:

- разработку для «полигона окна» соответствующего проекта геодезических работ;
 - при необходимости получение необходимых разрешений и допусков на работы на режимных объектах (мосты, ГЭС) и на работу радиостанции в соответствии с действующим законодательством;
 - полевая рекогносцировка, в результате которой сделаем заключения о «полигоне окна», технологии производства работ, особенностях обеспечения измерений. На основании этого разработаем проект полевых работ;
 - планирование сеансов наблюдений;
 - закладка центров;
 - при необходимости организация базовых станций;
-

- для эффективного выполнения топографических или геоинформационных съемок составление таблиц, содержащих коды топографических объектов и печать штрих-кодовых карточек в соответствии с указанным в техническом задании классификатором объектов;

- съемка объектов;
- камеральная обработка, вывод результатов измерений;
- составление технического отчета и оформление необходимой документации;
- полевой контроль;
- сдача материалов.

Рассмотрим полигон «окна» как конечное множество объектов: $\{a_i\} = n$, где a_i – i -й объект участка пути, n – количество объектов, что позволяет представить объединение статической координатной модели полигона «окна» как некоторую систему C_n :

$$X_v = \{ \{x a_i | I = I, n\}; R_a \} \quad (2)$$

где R_a – отношения между объектами пути, состоящие из содержательных R_a^c и пространственных R_a^n , что можно записать как:

$$P_a = \{ R_a^n, R_a^c \}, \quad (3)$$

Функция R_a^n отображает трехмерное пространство как множество векторов с координатами B, L, H :

$$R_a^n = f(B_a, L_a, H_a), \quad (4)$$

Функция R_a^c показывает пространство понятийно-содержательных признаков множеством векторов v , характеризующих объект a_i и связанных с координатами B, L . Поэтому для каждого признака v справедливо выражение:

$$R_a^c = f(B_a, L_a, H_a), \quad (5)$$

В соответствии с (2) – (5) будем иметь:

$$P_a = f(B_a, L_a, H_a, \varpi_a). \quad (6)$$

Модель полигона «окна» M_n также представим в терминах теоретико-множественной функции Φ , которая определена на некотором множестве функций: $M_V = \Phi(\Omega_\alpha, P_\alpha)$,

где W_a – множество объектов пути, представляемых выражением:

$$W_a = \{\alpha\} = \bigcup_{q=1}^Q \bigcup_{j=1}^{l_q} a_{q,j}, \quad (7)$$

где Q – общее число элементов; l_q – число объектов, входящих в q -й элемент.

В ходе оперативного контроля выполнения плана производства ремонтных и строительного-монтажных работ в период производства «технологического окна» особое внимание обратим на:

- выполнение за время предоставления окна соответствующего объема работ, предусмотренного технологий и планом;
- выполнение поездной работы для максимального использования пропускной способности;
- соблюдение вариантного графика движения поездов и плана предоставления окон;
- соблюдение продолжительности окна;
- заблаговременную подготовку и предварительное оснащение материалами и техникой;
- своевременное продвижение ССПС, своевременную доставку исполнителей к месту проведения «окна» и обратно;
- обеспечение технологической связью руководителей работ с причастными исполнителями и работниками движения;
- своевременную выдачу и отмену предупреждений об ограничении скорости.

Передаваемый на верхней рабочей частоте $L1$ (1,6 ГГц) двухкомпонентный навигационный радиосигнал формируется из узкополосного и широкополосного фазоманипулированных шумоподобных радиосигналов, излучаемых «в квадратуре», т.е. со сдвигом фазы на $\pm 90^\circ$.

Узкополосный радиосигнал $L1$ образуется путем манипуляции фазы несущей псевдослучайного кода. Широкополосный радиосигнал $L1$ вырабатывается за счет манипуляции фазы несущей на 1800 псевдослучайной последовательностью с тактовой частотой 5,11 МГц и образующим соответствующему регистру формирующего сдвига полиномом $g(x)=1+X^5+X^9$.

Передача навигационных сообщений осуществляется путем инвертирования псевдослучайных последовательностей обоих сигналов. Несущие частоты $L1$ и $L2$ модулируются двоичной последовательностью, являющуюся результатом сложения по модулю 2 псевдослучайного кода, навигационного сообщения и синхросигнала. Псевдослучайный код является m -последовательностью с полиномом $g(x)=1+X^3+X^5$, со скоростью передачи 511 кбит/с и периодом повторения 1 мс. Скорость передачи навигационного сообщения составляет 50 бит/с, а синхросигнала – 100 бит/с. Излучаемый на нижней рабочей частоте $L2$ однокомпонентный навигационный радиосигнал представляет собой широкополосный шумоподобный радиосигнал, модулированный псевдослучайной последовательностью с тактовой частотой 5,11 МГц не содержащий навигационных данных и без инвертирования символов.

В процессе обмена навигационными сообщениями потребуются учесть ряд особенностей. Для синхронизации часов спутника и бортового оборудования ССПС понадобится оцифровать метки времени космического аппарата. Из-за различия времени на спутниках (в пределах наносекунд) необходимо учесть сдвиг шкалы времени спутника относительно шкалы времени системы ГЛОНАСС. Так как у спутника возможен уход несущей частоты от заданной (это важно при оценке доплеровского сдвига частоты для определения скорости движения ССПС), то потребуются определить относительное отличие несущей частоты излучаемого навигационного

сигнала от номинального значения. Также на точность определения координат влияют незначительные отклонения спутника от заданной траектории, поэтому необходимо будет учитывать эфемериды космического аппарата. Получение всей этой информации позволит в режиме реального времени определять, где находится ССПС и какие у него рабочие параметры в процессе производства работ.

После проведения «технологических окон» необходимо будет произвести анализ их использования, где нужно подробно рассмотреть следующую информацию:

- продолжительность фактически предоставленных окон;
- время закрытия участков путей или перегонов;
- выполненный объем работ;
- выработка за час в период предоставленного окна (наименьшая, средняя, приведенная, наибольшая);
- выработка за сутки закрытого участка пути или перегона: (наименьшая, средняя, приведенная, наибольшая);
- передержки предоставленных окон;
- срывы предоставленных окон;
- количество и продолжительность отмененных окон по основным причинам.

Таким образом, применение спутниковых технологий для организации и проведения «технологических окон» позволит осуществить контроль выполнения сроков подвода ССПС к месту работы, соблюдения технологического графика ремонтных работ в масштабе реального времени, снижения влияния человеческого фактора при получении информации о ходе работ и параметрах движения используемой техники.

Литература

1. Клепач А.П., Проскуряков А.В., Клепач С.А. Железнодорожное бортовое устройство со спутниковой и инерциальной навигационными системами // Железнодорожный транспорт. М.: 2009. №9. С. 41-42.
2. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. С. 37.
3. Гурин С. Е. Контроль свободности участков пути на базе спутниковых радионавигационных систем второго поколения ГЛОНАСС/GPS // Ведомственные корпоративные сети и системы ВКСС-connect. 2002. №1. С. 63.
4. Харисов В.Н., Болдин В.А., Петров А.И. Глобальная Спутниковая Радионавигационная Система ГЛОНАСС. М.: ИПРЖ, 1999. С. 59.
5. Морозов В.Н. Перспективные направления внедрения спутниковых технологий // Железнодорожный транспорт. М.: 2009, №9. С. 16-17.
6. Гапанович В.А. Перспективное использование спутниковых технологий в комплексе антикризисных мер ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. М.: 2009, №9. С. 18-21.
7. Гапанович В.А. Спутниковые технологии в реализации Стратегии - 2030 // Железнодорожный транспорт. М.: 2008, №10. С. 21-24.
8. Бунин А.И., Бройде В.М. Оптимизация работы путевой ремонтной техники в «окна» на основе создания единой системы мониторинга // Железнодорожный транспорт. М.: 2009, №9. С. 56-59.
9. Серeda А.Ю., Детюк К.В. Бортовой информационно-навигационный комплекс КА «Глонасс-К» // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/906/.
10. Щербань И.В., Толмачев С.А., Красников С.О. Универсальная стохастическая модель произвольного движения наземного транспортного



средства // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1812/.

11. Schmidt, G.C. INS/GPS Technology Trends // Draper Laboratory Report P-4036, Cambridge, MA, October 2002. Also in NATO RTO Lecture Series 232, Advances in Navigation Sensors and Integration Technology, October 2003, pp. 1-16.

12. Matthews, A., Patterson, R., Goldman, A., Abbink, H., and Stewart, R., A New Paradigm in Guidance, Navigation, and Control Systems based on Bulk Micromachined Inertial Sensors // AIAA GN&C Conference, Montreal, Canada, August 2000, pp. 122.

References

1. Klepach A.P., Proskurjakov A.V., Klepach S.A. Zheleznodorozhnyj transport. M.: 2009. №9. pp. 41-42.

2. Solov'ev Ju.A. Sistemy sputnikovoj navigacii. [Satellite navigation systems] M.: Jeko-Trendz, 2000. pp. 37.

3. Gurin S. E. Vedomstvennye korporativnye seti i sistemy VKSS-connect. 2002. №1. pp. 63.

4. Harisov V.N., Boldin V.A., Petrov A.I. Global'naja Sputnikovaja Radionavigacionnaja Sistema GLONASS [The global satellite radio navigation system GLONASS]. M.: IPRZh, 1999. pp. 59.

5. Morozov V.N. Zheleznodorozhnyj transport. M.: 2009, №9. pp. 16-17.

6. Gapanovich V.A. Zheleznodorozhnyj transport. M.: 2009, №9. pp. 18-21.

7. Gapanovich V.A. Zheleznodorozhnyj transport. M.: 2008, №10. pp. 21-24.

8. Bunin A.I., Brojde V.M. Zheleznodorozhnyj transport. M.: 2009, №9. pp. 56-59.

9. Sereda A.Ju., Detjuk K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/906/.



10. Shherban' I.V., Tolmachev S.A., Krasnikov S.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1812/.

11. Schmidt, G.C. INS/GPS Technology Trends. Draper Laboratory Report P-4036, Cambridge, MA, October 2002. Also in NATO RTO Lecture Series 232, Advances in Navigation Sensors and Integration Technology, October 2003, pp. 1-16.

12. Matthews, A., Patterson, R., Goldman, A., Abbink, H., and Stewart, R., A New Paradigm in Guidance, Navigation, and Control Systems based on Bulk Micromachined Inertial Sensors. AIAA GN&C Conference, Montreal, Canada, August 2000, pp. 122.