

## Автоматизация управления подъемно-транспортными механизмами при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

А.В. Абузов<sup>1</sup>, Я.А. Абузов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

<sup>2</sup>Гимназия №7, г. Хабаровск

**Аннотация:** В данной статье представлены результаты исследований возможного использования подъемно-транспортных канатных комплексов при ликвидации последствий чрезвычайных и экологических ситуаций. Рассмотрены преимущества использования самопередвигающихся транспортно-грузовых кареток на базе мягких пневматических опор при выполнении спасательных работ. Описан алгоритм программного комплекса, предназначенного для автоматизации управления процессом работы транспортно-грузовой каретки, использующейся для подъема и перемещения груза по заранее заданным координатам. Для реализации функционирования программного комплекса применялась методика обработки входящих/уходящих данных, потоки ввода/вывода, центры сбора информации по технологии Java TCP/IP. Приведен пример графического интерфейса работы программного комплекса.

**Ключевые слова:** программный комплекс, автоматизация управления, подъемно-транспортный механизм, протокол, JAVA, алгоритм, экологические последствия, канатный комплекс, локальные координаты.

### Введение

В настоящий период времени с активным развитием технологического процесса все чаще встает вопрос об оперативности и безопасности выполнения грузовых операций, связанных с подъемом и перемещением различных грузов. При этом все чаще потребности человека концентрируются именно в тех направлениях, где стандартные средства транспорта с участием человека-оператора не в состоянии проводить работу или же выполняют её с явным ущербом для экологии, здоровья окружающих или выхода из строя эксплуатируемой техники.

К примерам таких направлений, нуждающихся во внедрении новых видов техники и механизмов, можно отнести работы, связанные с ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций, где при разборе завалов от действий взрыва или землетрясений, требуется более бережные и в то же

время оперативные действия по перемещению обрушенных конструкций зданий, объектов [1, 2].

В данном направлении обозначены вопросы, связанные с одновременным обеспечением экологической безопасности и оперативностью работ, решением которых может стать внедрение в процесс автоматизированных механизмов на основе роботизированных систем [3, 4 – 6].

Одним из перспективных механизмов, способным объединить решения для указанных направлений является роботизированная транспортно-грузовая каретка, перемещающаяся по системе подвесных канатов и способная работать с различными технологическими модулями обеспечения [7].

### **Объект исследования**

Разработанный подъёмно-транспортный канатный комплекс для выполнения аварийно-спасательных работ, основные элементы которого представлены автоматизированной кареткой, системой канатов и мягкими пневматическими опорами, способен обеспечить не только мобильность в разборке завалов, но и что важно, безопасность выполняемых работ в виду того, что [8]:

- перемещение транспортно-грузового механизма (каретки) и соответственно груза (разрушенных конструкций), осуществляется по натянутым канатам, расположенных на высоте нескольких метров от поверхности или верхней точки разрушенной конструкции;
  - управление работой каретки ведется дистанционно с использованием систем радио и видео наведения;
  - в качестве высотных мобильных мачт, располагающихся по факту реальных условий и удобств управления, могут выступать стрелы
-

автомобильных кранов, подъемники вышки, а также мягкие пневматические опоры.

- для работы в темное время суток каретка может оснащаться прожекторами.

Общий вид конструкции и основная технологическая схема выполняемых работ представлена на рис. 1.

Однако для выполнения сложных, монотонных грузовых операций помимо стандартного дистанционного управления, в данных механизмах, требуется полностью автоматизированный цикл технологических действий, который позволит не только уменьшить влияние человеческого фактора, но и обеспечить лучшую производительность и безопасность выполняемых работ. Для дистанционного управления в автоматизированном режиме требуется разработка специального программного комплекса, работающего по заданному алгоритму, который обеспечит эффективное управление транспортно-грузовой кареткой и всем циклом выполняемых работ.

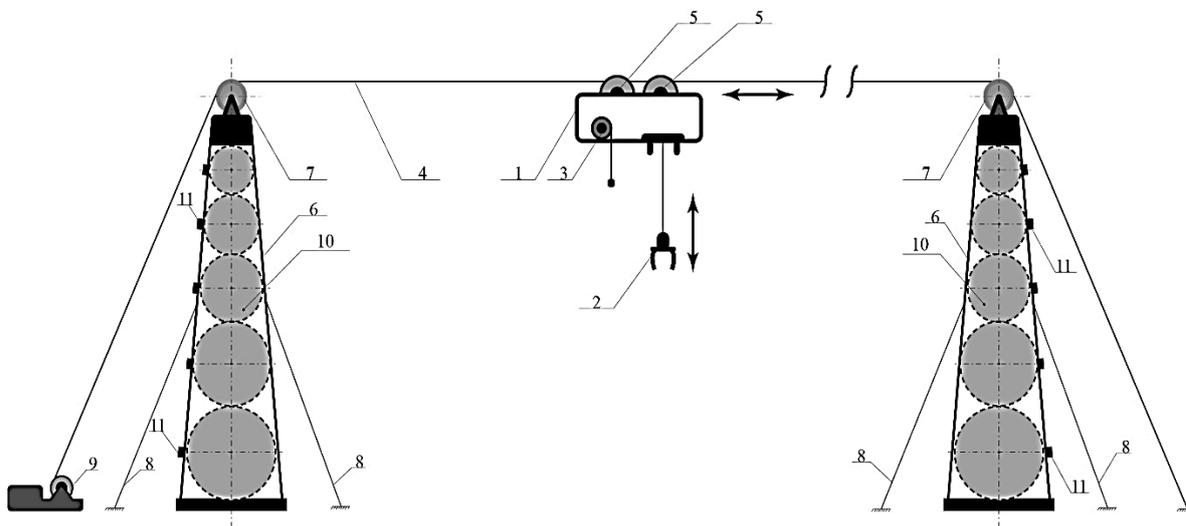


Рис. 1. – Подъемно-транспортный канатный комплекс:

1- автоматизированная каретка; 2 – захватное устройство; 3 – барабан лебедки; 4 – несущий канат; 5 – шкивы; 6 – мягкая пневматическая опора; 7 – поворотный шкив; 8 – растяжки; 9 – наземная лебедка; 10 – внутренние сферы; 11 – клапан воздушный.

### Результаты исследования и их обсуждение

Разработанная и созданная экспериментальная модель спасательной транспортно-грузовой каретки, способна работать в автоматическом режиме (рис. 2).

Основной принцип автоматического режима заключается в том, что расстояния до места нахождения груза, расположенного внизу под трассой движения каретки, задаются заранее в системе координат  $(X, Y)$  в специально разработанного для этих целей программного продукта, который передаёт систему команд для выполнения алгоритма движения каретки в основной микроконтроллер. При этом ось трасы движения каретки и соответственно несущий канат совпадают с осью  $X$  системы координат, что существенно облегчает процесс вычисления расстояния и необходимой скорости перемещения [9].

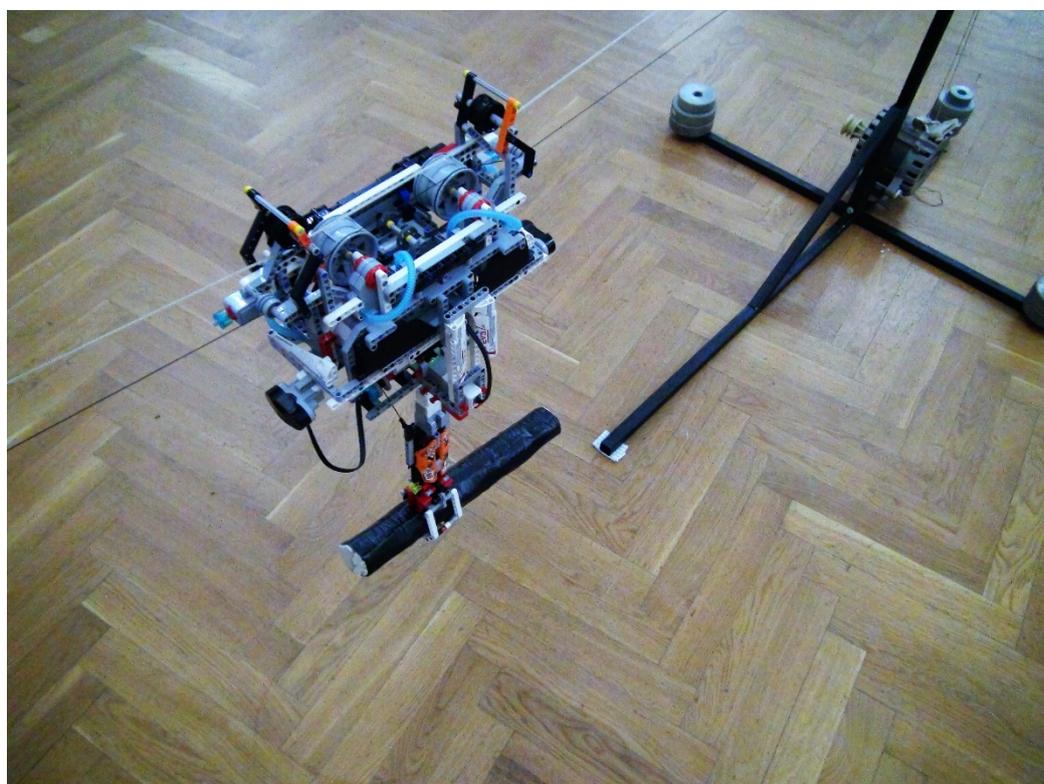


Рис. 2. – Общий вид спасательной транспортно-грузовой каретки

Для разработки первого этапа программного алгоритма работы каретки были заданы следующие условия:

1. Точки местонахождения груза  $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$  находятся на равноудаленном расстоянии друг от друга, соответственно расстояние между точками  $l=const$  и при движении от  $A_0$  к последующей точки каретка проезжает расстояние  $l, 2l, 3l \dots nl$  (рис. 3а);
2. Точки местонахождения груза  $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$  находятся на разном расстоянии друг от друга, и могут иметь заранее известные (заданные) значения  $l_1, l_2, l_3 \dots l_n$ , соответственно расстояние между точками  $l \neq const$  и при движении к последующей точки  $A$  происходит последовательное увеличение расстояния от предыдущей точки  $A$  на  $l_1, l_2, l_3 \dots l_n$  (рис. 3б);
3. Количество рабочих циклов  $N$  переноса груза из точек  $A_1-A_n$  в начальную точку  $A_0$  зависит от количественных показателей груза и грузоподъемности каретки, и соответственно для каждой точки  $A_n$  могут *всегда* иметь:
  - а) одинаковые значения  $N_1$  или  $N_2 \dots$  или  $N_n$ , при этом учетная запись будет иметь вид  $A_1 - N_1, A_2 - N_1, A_n - N_1$  или  $A_1 - N_{n=const}, A_2 - N_{n=const}, A_n - N_{n=const}$  (рис. 3в);
  - б) разные значения  $N_1, N_2 \dots N_n$ , при этом учетная запись может иметь один из вариантов вида  $A_1 - N_3, A_2 - N_1, A_n - N_2$  или  $(A_1, A_2, A_3 \dots A_n) - N_{n \neq const}$  (рис. 3г);
- 4) Время рабочего цикла  $T_u$  может быть:
  - а) одинаковым при условии, что  $l=const$ ;
  - б) разным при условии, что  $l \neq const$

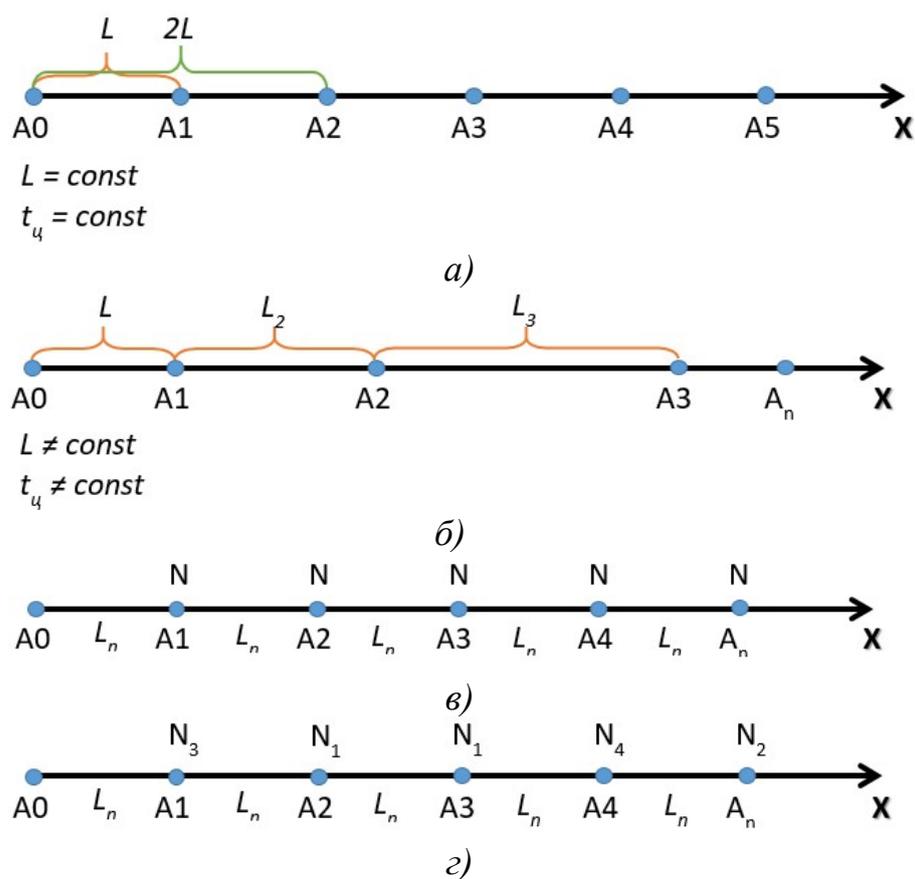


Рис. 3. – Алгоритмы перемещения объекта для микроконтроллера каретки

Написание программного кода для движения объекта (каретки) по заданному маршруту с фиксированием пройденного расстояния трассы « $S$ » относительно заданной сетки координат « $XY$ », изначально требует текущей частоты оборотов « $\omega$ » ведущего шкива, вращение которого обеспечивает перемещение каретки по канату с заданной скоростью. Эта скорость задаётся с помощью ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально-дифференцирующий), её также можно изменять в процессе движения. ПИД-регулятор также позволяет осуществлять плавный разгон и плавное торможение, поэтому необходимо учитывать, что начало и конец пути – равноускоренное/равнозамедленное движение [10].

Частоту оборотов « $\omega$ » ведущего шкива считает микроконтроллер (далее МК) с помощью датчика оборота двигателя. В МК задана формула ПИД-

регулятора и коэффициенты каждой его составляющей (пропорциональной, интегральной и дифференцирующей). МК с помощью ПИД регулирует обороты двигателя в реальном времени. Это нужно для поддержания постоянной скорости во время всего движения, которая задается заранее в зависимости от технических характеристик каретки. Цикл процесса перемещения каретки представлен на рис. 4:

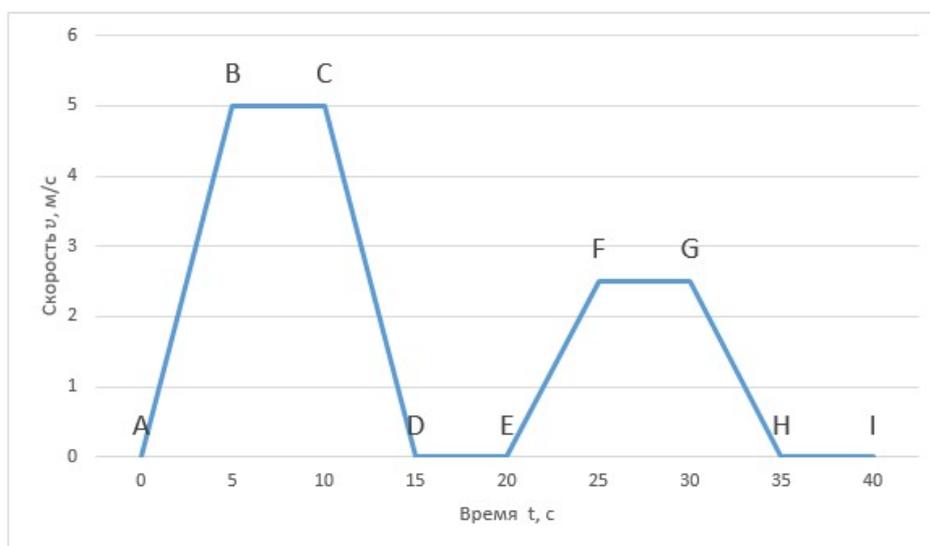


Рис. 4. – Пример графика цикла перемещения каретки.

Полным циклом перемещения называется последовательность действий, которые совершают следующие перемещения:  $x_0 \rightarrow x_n \rightarrow x_0$  (на графике от  $A \rightarrow DE \rightarrow HI$ ), где  $x_0$  - начальная (домашняя) точка,  $x_n$  - точка следующего местонахождения груза. Действия, которые совершаются в цикле:

- 1) Начало движения и разгон каретки ( $A \rightarrow B$ ). Рассчитывается линейная скорость  $v$  каретки по формуле  $v = 2\pi R\nu$ , где  $R$  – радиус шкива,  $\nu$  – частота оборотов шкива, получаемая с датчика оборотов двигателя. Далее рассчитывается ускорение  $a$  при разгоне по формуле  $a = \frac{v-v_0}{t}$ , где  $v_0 = 0$ ,  $t$  – время с момента старта движения.

Также рассчитывается расстояние  $S_0$ , которое необходимо для

разгона/торможения по формуле  $v^2 - v_0^2 = 2aS_0$ , где  $v_0 = 0$ ,  $a$  – ускорение при разгоне. Данные расчеты продолжаются до достижения необходимой скорости  $v_n$ .

- 2) После достижения скорости  $v_n$  (точка  $B$ ), каретка уже проедет расстояние  $S_0$  и будет двигаться равномерно ( $B \rightarrow C$ ) с данной скоростью  $v_n$ . Для вычисления текущего пройденного расстояния  $S$  воспользуемся данной формулой:  $S = 2\pi Rn$ , где  $n$  – количество оборотов, совершенных шкивом, это значение можно получить из промежуточных расчетов частоты оборотов шкива  $\nu$ ,  $R$  – радиус шкива [11].
- 3) Каретка будет двигаться до точки  $x_n$  –  $S_0$ , где  $x_n$  – точка местонахождения груза, после достижения данной точки начинается процесс торможения (точка  $C$ ), тормозной путь также составит  $S_0$  ( $C \rightarrow D$ , при этом ускорение при торможении равно ускорению при разгоне, время затраченное на торможение также равно времени, которое было затрачено на разгон).
- 4) Каретка забирает груз ( $D \rightarrow E$ ). Основной МК посылает необходимые команды МК модуля, который установлен на каретку.
- 5) Далее повторяются пункты 1-3, но местом назначения будет уже домашняя точка  $x_0$ , а не  $x_n$ . Необходимая скорость движения уменьшается в 1,5-2 раза во избежание критических нагрузок на канат. По прибытию в точку  $x_0$  каретка опустит груз и цикл начнется с начала (при этом следующей точкой будет  $x_{n+1}$ ).

Вышеописанная последовательность действий, была преобразована в блок-схему алгоритма программного комплекса (рис. 5).

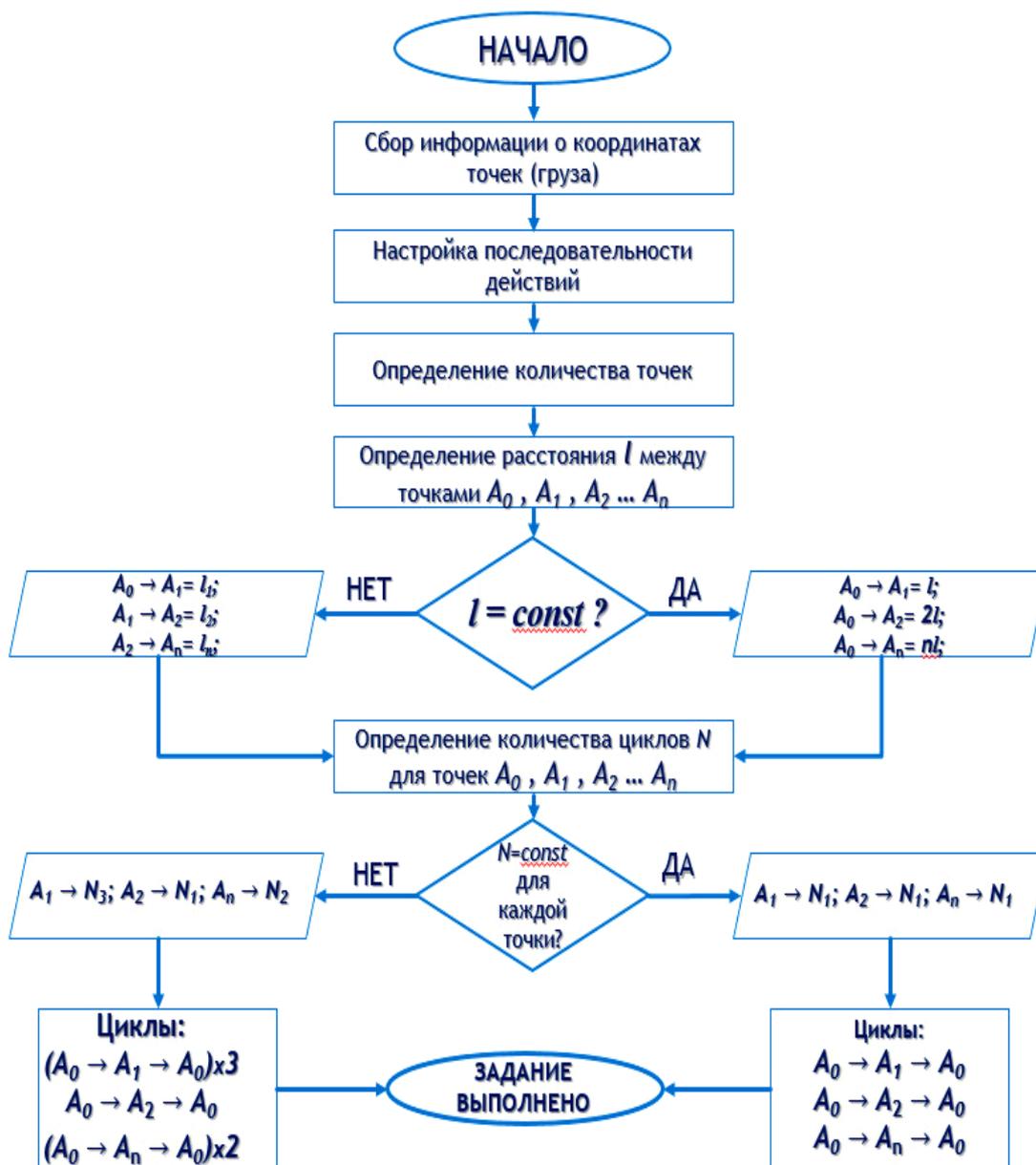


Рис. 5. – Блок-схема алгоритма программного комплекса, отражающего последовательность действий транспортно-грузовой каретки.

Данный алгоритм и все его составляющие являются прошивкой главного МК каретки, который имеет свой ID и связывается с ПК с помощью беспроводной сети.

Для моделирования трассы перемещения каретки была создана координатная прямая с размещенными на ней рабочими точками. Данные точек хранятся в специальном списке (ArrayList), к которому можно

получить доступ для дальнейших действий. Точки имеют свой порядковый номер и обозначаются разными цветами, например, точки старта/остановки (start/stop) и точки местонахождения груза (simple), что можно настраивать.

Далее была разработана система настройки расстояния между точками, которое для точности эксперимента, можно задавать с точностью до 0,1 метра. Значения расстояний также могут храниться в специальном списке, с возможностью получения к нему доступа.

Следующим этапом были использованы функции сохранения и открытия файла, который содержит информацию о координатной прямой. Для этого были реализованы методы для сбора всех данных в единое целое и методы для установки данных, полученных из файла. Для составления последовательности передвижения каретки был разработан блок настройки, обеспечивающий возможность, как автоматического, так и ручного режима работы. При этом последовательность перемещения отображается на экране в окне настройки. Информация о процессе передвижения также храниться в списке, к которому можно будет получить доступ. Пример заданной последовательности передвижения каретки представлен на рис. 6.

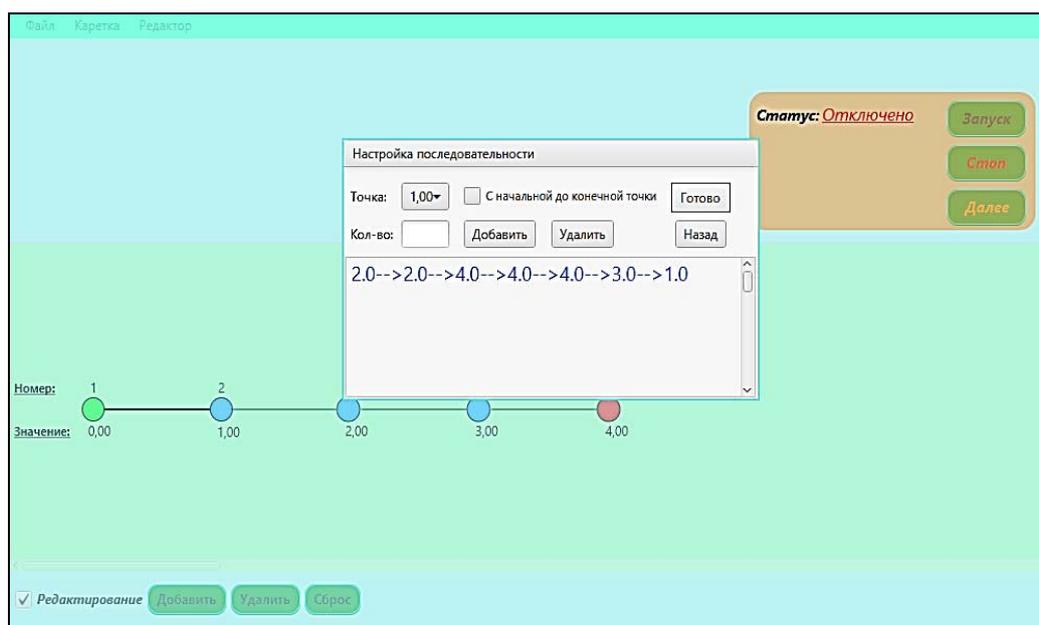


Рис 6. – Пример заданной последовательности передвижения каретки

Для соединения с кареткой был разработан специальный протокол передачи данных и система поддержания соединения. Для этого использовалась технология Java TCP/IP [12]. Были реализованы различные методы обработки входящих/исходящих данных, потоки ввода/вывода, центры сбора информации. Для подключения к каретке использовался её ID (порт). В случае обрыва соединения система имеет функцию оповещения.

Отображение процесса перемещения и текущего местоположения каретки на координатной прямой осуществляется за счет разработанного блока анимации.

Так как реальная транспортно-грузовая каретка может быть оснащена различными модулями, а каждый из них имеет свои особенности в программной реализации, то в настоящий момент ведется разработка универсальной программы, способной управлять любыми модулями или иными устройствами, которые участвуют в работе транспортно-грузовой канатной системы.

Для этого в настоящий программный комплекс была заложена основа динамического расширения с помощью плагинов, которые может создать любой разработчик собственного модуля или иного устройства, с помощью специального API (набор библиотек, объектов и методов для работы с логикой программы и её интерфейсом). Файл плагина (расширение .jar) помещается в специальную папку (.../plugins/), откуда потом он будет загружен системой еще до открытия интерфейса программы. Таких плагинов может быть много. Они будут динамически расширять функционал программы, не изменяя её основной код. API постепенно совершенствуется, появляются новые функции и возможности, при этом API предоставляет доступ только к определенным объектам и методам программы, в целях безопасности. Плагины могут немного изменить интерфейс, но не могут изменить базовые функции или константы программы. К примеру, может

---

добавиться окно, где будет отображаться видео с камеры каретки или окно управления манипулятором с захватным устройством.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты:

1. Разработана и создана экспериментальная модель транспортно-грузовой каретки с программным управлением, которая может применяться для повышения знаний студентов, с целью обеспечения эффективного учебного и исследовательского процесса в области автоматизации и экологической безопасности. Использование данной модели в практических целях позволит повысить надежность реальных механизмов при сложных условиях функционирования.
2. Разработан программный комплекс, предназначенный для автоматизации процесса управления работой экспериментальной моделью транспортно-грузовой каретки в режиме локальных координат. Программный комплекс снабжен графическим интерфейсом, позволяющим эффективно взаимодействовать с программным обеспечением.
3. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019661248 «Программный комплекс для управления автоматизацией работ транспортно-грузовой каретки».

### **Литература**

1. Справочник спасателя: Книга 2: Спасательные работы при ликвидации последствий землетрясений, взрывов, бурь, смерчей и тайфунов / ВНИИ ГОЧС. М., 2006. 180 с.: ил.

2. Шойгу С.К., Саков Г.П., Цивилев М.П., Поляков И.С. и др. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: учебник в 3 - х частях: часть 2. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: в 3 - х книгах: книга 1. Способы и средства ликвидации чрезвычайных ситуаций. М.: ЗАО “ПАПИРУС”, 1998. 298 с.

3. Казаков Н.В., Абузов А.В. Автоматизированные системы управления процессами промышленного лесопользования // Инженерный вестник Дона. 2014. №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2426](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2426).

4. Marsh, R.E. Fenceless Animal Control System Using GPS Location Information. U.S. Patent 5868100 A, 9 February 1999.

5. Raimondo Gallo, Stefano Grigolato, Raffaele Cavalli, Fabrizio Mazzetto. GNSS-based operational monitoring devices for forest logging operation chains // Journal of Agricultural Engineering. 2013. volume XLIV(s2): e27. URL: [pdfs.semanticscholar.org/c26d/a8e988ef354367f875e6e67b6092a9ae75f9.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/c26d/a8e988ef354367f875e6e67b6092a9ae75f9.pdf)

6. Strandgard, M.; Mitchell, R. Automated time study of forwarders using GPS and a vibration sensor. Croat. J. For. Eng. J. Theory Appl. For. Eng. 2015, № 36, pp. 175–184.

7. Патарая Д.И. Расчет и проектирование канатных систем на примере подвесных дорог. Тбилиси: Изд-во Мецниереба, 1991. 103 с.

8. Абузов А.В. Подъемно-транспортная система для ликвидации последствий разрушений объектов жилой и промышленной инфраструктуры // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур = アムール川流域における現代の森林利用の原理 : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 4 мая 2018 г.) / [отв. ред. П. Б. Рябухин]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. Вып. 7. С. 85-88.

9. Абузов А.В., Абузов Я.А. Патент на полезную модель № 156189 Российская Федерация МПК В61В 7/00. Экспериментальная модель для

исследований технических параметров самопередвигающейся трелевочной каретки / заявитель и патентообладатель Тихоокеанский государственный университет. – № 2015118961/11; заявл. 20.05.2015. опубл.: 10.11.2015 Бюл. №31.

10. Притыкин Ф.Н. Виртуальное моделирование движений роботов, имеющих различную структуру кинематических цепей. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 172 с.

11. Гузенков П. Г. Детали машин. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1982. 352 с. Шилдт Герберт. Java 8. Полное руководство. 9-е изд.: Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. 1376 с.: ил. – Парал. тит. англ.

12. Шилдт Герберт. Java 8. Полное руководство. 9-е изд.: Пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. 1376 с.: ил. – Парал. тит. англ.

### References

1. Spravochnik spasatelya: Kniga 2: Spasatel`ny`e raboty` pri likvidacii posledstvij zemletryasenij, vzry`vov, bur`, smerchej i tajfunov [Rescue Guide: Book 2: Rescue Work in the Aftermath of Earthquakes, Explosions, Storms, Tornadoes, and Typhoons] VNII GOChS. M., 2006. 180 p.:

2. Shojgu S.K., Sakov G.P., Civilev M.P., Polyakov I.S. i dr. Obespechenie meropriyatij i dejstvij sil likvidacii chrezvy`chajny`x situacij: uchebnik v 3 - x chastyax: chast` 2. Inzhenernoje obespechenie meropriyatij i dejstvij sil likvidacii chrezvy`chajny`x situacij: v 3 - x knigax: kniga 1. Sposoby` i sredstva likvidacii chrezvy`chajny`x situacij. [Provision of measures and actions for emergency response forces: a textbook in 3 parts: part 2. Engineering support of measures and actions of emergency response forces: in 3 books: book 1. Methods and means of emergency response]. M. ZAO "PAPIRUS", 1998. 298 p.

3. Kazakov N.V., Abuzov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2426.

---

4. Marsh, R.E. Fenceless Animal Control System Using GPS Location Information. U.S. Patent 5868100 A, 9 February 1999.

5. Raimondo Gallo, Stefano Grigolato, Raffaele Cavalli, Fabrizio Mazzetto. GNSS-based operational monitoring devices for forest logging operation chains Journal of Agricultural Engineering. 2013. volume XLIV(s2): e27. URL: [pdfs.semanticscholar.org/c26d/a8e988ef354367f875e6e67b6092a9ae75f9.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/c26d/a8e988ef354367f875e6e67b6092a9ae75f9.pdf)

6. Strandgard, M.; Mitchell, R. Automated time study of forwarders using GPS and a vibration sensor. Croat. J. For. Eng. J. Theory Appl. For. Eng. 2015, № 36, pp. 175–184.

7. Pataraya D.I. Raschet i proektirovanie kanatny`x sistem na primere podvesny`x dorog. [Calculation and design of cable systems on the example of cableways]. Tbilisi: Izd-vo Meczniereba, 1991. 103 p.

8. Abuzov A.V. Filosofiya sovremennogo prirodopol`zovaniya v bassejne reki Amur Амурской области. [Philosophy of modern nature management in the Amur basin]. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Xabarovsk, 4 maya 2018 g.) [otv. red. P. B. Ryabuxin]. Xabarovsk: Izd-vo Tixookeanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2018. Vy`p. 7. pp. 85-88.

9. Abuzov A.V., Abuzov Ya.A. Patent na poleznuyu model` № 156189 Rossijskaya Federaciya MPK V61V 7/00. E`ksperimental'naya model` dlya issledovaniy texniche-skix parametrov samoperedvigayushhejsya trelevochnoj karetki zayavitel` i patentoobladatel` Tixookeanskij gosudarstvennyj universitet. [An experimental model for studying the technical parameters of a self-propelled logging carriage]. № 2015118961/11; zayavl. 20.05.2015. opubl.: 10.11.2015 Byul. №31.

10. Prity`kin F.N. Virtual`noe modelirovanie dvizhenij robotov, imeyushhix razlichnuyu strukturu kinematicheskix cepej. [Virtual simulation of the movements of robots having a different structure of kinematic chains]. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2014. 172 p.



11. Guzenkov P. G. Detali mashin. [Machine parts. Tutorial.] Uchebnoe posobie. M.: Vy`sshaya shkola, 1982. 352 p. Shildt Gerbert. Java 8. Polnoe rukovodstvo. 9-e izd.: Per. s angl. M.: OOO «I.D. Vil`yams», 2017. 1376 p.

12. Shildt Gerbert. Java 8. Polnoe rukovodstvo. 9-e izd.: Per. s angl. M.: OOO «I.D. Vil`yams», 2017. 1376 p. Paral. tit. angl. [Java 8. Complete Guide. 9th ed.: Translation from English.]