

УДК 538.521

ЗАПУСК ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАКЕТНОМ ТРЕКЕ

© Сергей Иванович Герасимов^{1,2,3,4}, Владимир Иванович Ерофеев³,
Алексей Викторович Зубанков¹, Ирина Александровна Одзерихо^{1,2}

¹Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров Нижегородской обл., Россия

²Саровский физико-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Саров Нижегородской обл., Россия

³Институт проблем машиностроения РАН, Нижний Новгород, Россия

⁴Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

erof.vi@yandex.ru

Аннотация. В работе представлен разработанный способ запуска пиротехнических средств и устройство для его осуществления, предназначенные для обеспечения срабатывания пиротехнических средств при разгоне ракетных поездов по направляющим ракетно-катапультирующего трека до гиперзвуковых скоростей с катапультированием объекта испытания в свободный полет. В основу способа заложен принцип формирования токовых импульсов для срабатывания пиротехнических средств движущихся ступеней ракетного поезда. Представлена система бесконтактного запуска пиротехнических средств, приведена функциональная схема системы запуска. Приведены результаты, полученные в результате проведения экспериментов. Продемонстрировано надежное функционирование системы бесконтактного запуска пиротехнических средств гиперзвуковых ракетных поездов. Представлен анализ полученной информации, показывающий, что данные, зарегистрированные средствами регистрации по всем каналам, хорошо согласуются с расчетными данными, дополняют друг друга, позволяют получать всю информацию о положении ракетного поезда с объектом испытаний в процессе движения по ракетно-катапультирующему треку.

Ключевые слова: пиротехнические средства, бесконтактный запуск, токовый импульс, ракетный поезд, рельсовая направляющая.

Работа выполнена в рамках государственного задания на проведение фундаментальных научных исследований на 2013-2020 гг. по теме № 0035-2014-0402, № госрегистрации 01201458047 и при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-01096).

INITIATION OF PYROTECHNIC MEANS IN ROCKET TRACK EXPERIMENTS

© S.I. Gerasimov^{1,2,3,4}, V.I. Erofeev³, A.V. Zubankov¹, I.A. Odzerikho^{1,2}

¹Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Research Institute of Experimental Physics (RFNC-VNIIEF), Sarov, Nizhny Novgorod region, Russia

²Sarov Physics and Technical Institute of National Research Nuclear University «МЕРФИ», Sarov, Nizhny Novgorod region, Russia

³Mechanical Engineering Research Institute of Russian Academy of Sciences (MERI RAS), Nizhny Novgorod, Russia

⁴Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia
erof.vi@yandex.ru

Abstract. *The paper presents the developed method of initiation of pyrotechnic means and device for its implementation, intended to provide actuation of pyrotechnic means during acceleration of the rocket trains on the rails of rocket catapult track to hypersonic speeds with ejection test subject in free flight. The method is based on the principle of formation of current pulses to trigger pyrotechnics moving stages of a rocket train. The system of noncontact initiation of pyrotechnic means is presented, the functional scheme of system of start-up is resulted. The results obtained in experiments are presented. The reliable functioning of the system of non-contact initiation of pyrotechnic means of hypersonic rocket trains is demonstrated. The analysis of the obtained information is presented, showing that the registered data by means of all registration channels are in good agreement with the calculated data, complement each other, allow to obtain all information about the position of the rocket train with the test subject during the movement along the rocket-ejecting track.*

Key words: *pyrotechnic means, non-contact initiation, the current pulse, rocket train, guide rail.*

Acknowledgements. *The work was carried out within the Russian state task for conducting fundamental scientific research for 2013-2020 on the topic No. 0035-2014-0402, state registration number 01201458047 and the work was supported by RFBR (project 17-08-01096).*

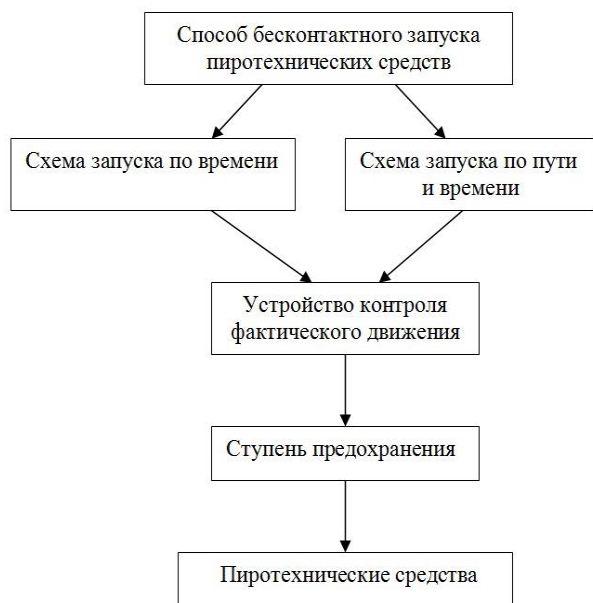
ВВЕДЕНИЕ. Проблема запуска пиротехнических средств (ПС) ракетных поездов (РП) связана как с обеспечением устойчивости высокоскоростного движения по упругой направляющей, так и с непосредственным обеспечением функциональности самого испытания [1-7]. Несвоевременное срабатывание, например, пиротехнических болтов, которыми крепится объект испытания (ОИ) к последней ступени поезда для последующего движения по настильной траектории, может привести к аварийным последствиям.

Запуск в строгой последовательности линейных ступеней ракетных поездов и катапультирование объекта испытаний в свободный полет обеспечивает система запуска пиротехнических устройств ступеней ракетного поезда.

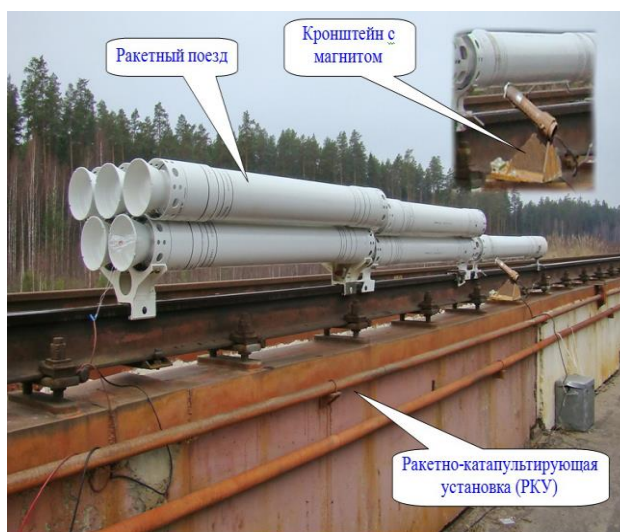
Используемая в настоящее время на ракетных треках система запуска средств катапультирования, в том числе и система запуска пиротехнических узлов ракетного поезда, является системой контактного типа, у которой контактные пластины, электрически связанные с накопителем энергии, устанавливаются неподвижно вдоль рельсовой направляющей, ножевые контакты расположены на борту поезда и электрически соединены с потребителями энергии. Таким образом, применяемая система запуска обеспечивает выдачу исполнительных команд по пути движения РП. Эта система отличается простотой конструктивного исполнения и поэтому нашла широкое применение в опытах на ракетном треке. Данная система надежно работает на скоростях движения поезда меньше 1200 м/с. При больших скоростях надежность системы снижается. Открытые контакты на борту поезда подвергаются воздействию высокоскоростного напора, разогреву и оплавлению режущих кромок контактов. Ударная волна на сверхзвуковом режиме движения поезда воздействует на наземные контактные пластины, деформируя их, что требует принятия специальных мер по их защите. Энергетические возможности ракетных двигателей, используемых в настоящее время и предполагаемых к применению в ближайшее время на ракетном треке, позволяют разгонять объекты испытаний до скоростей 1500÷2100 м/с. Данное обстоятельство требует разработки системы запуска высокоскоростных ступеней поезда и системы отделения ОИ. Требуется проведение высокоскоростных испытаний, что реализуется с помощью отечественных ракетных двигателей. В связи с этим актуальной задачей является создание системы, обеспечивающей бесконтактный запуск ПС РП.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. Рассмотрим способ и бесконтактную систему запуска ПС гиперзвуковых ракетных поездов.

На рис. 1 показан способ обеспечения срабатывания ПС [8]. В основе способа заложен принцип формирования токовых импульсов для срабатывания ПС движущихся ступеней РП. При скоростях движения ступеней РП более 1200 м/с срабатывание ПС происходит от бортового временного устройства в заданный момент времени (запуск по времени). Отделение ОИ (катапультирование ОИ в свободный полет) происходит в заданной координате (запуск по пути) от бортовой схемы, формирующей сигнал запуска ПС, в момент прохода бортовой катушки индукционного датчика мимо установленного на рельсовых направляющих (РН) кронштейна с постоянным магнитом.



а)



б)

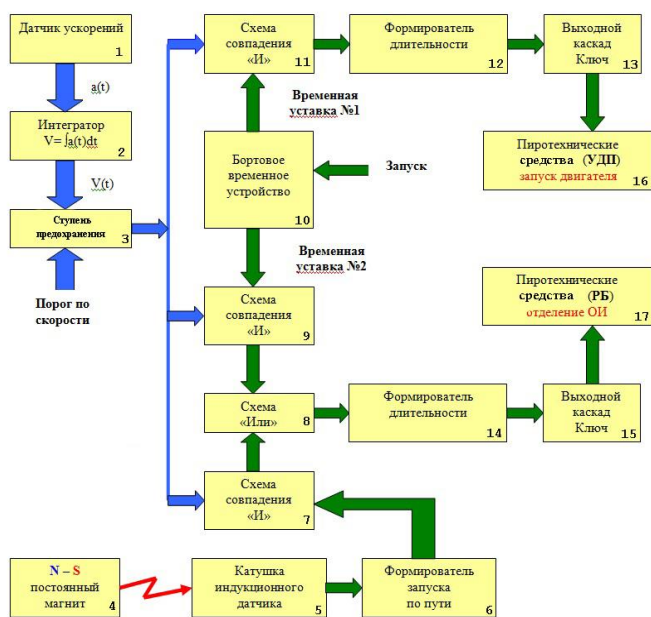
Рис. 1. Способ обеспечения срабатывания ПС: а) блок-схема способа; б) РП на ракетно-катапультирующей установке (фото) [8].

Учитывая ответственность факта катапультирования и повышенные требования к исполнению команды на отделение ОИ, предусмотрено дублирование срабатывания ПС от бортового временного устройства, но с приоритетом запуска по пути.

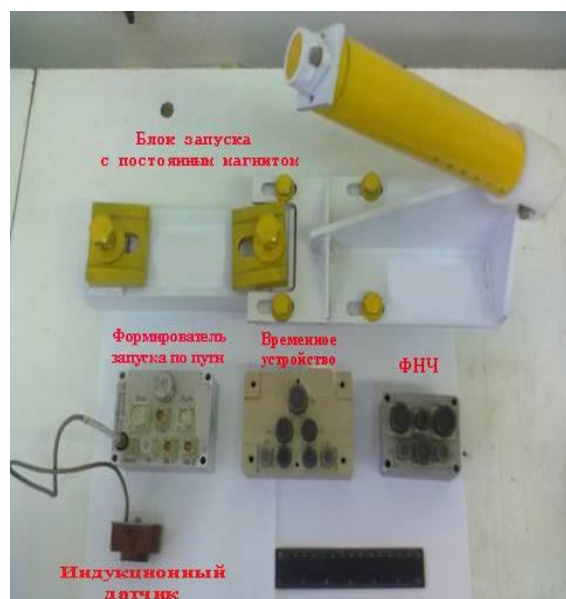
При своей простоте и доступности запуск ПС по времени не является универсальным, менее пригоден, чем запуск по пути, хотя очевидно, что более надежен. Он в полной мере удовлетворяет требованиям запуска ПС разгонных устройств и в практике позволяет решать испытательные задачи, близкие к оптимальным. Но у запуска по времени есть существенный недостаток. При возникновении нештатных ситуаций (взрыв двигателя работающей ступени и т.д.) система запуска по времени обрабатывает и выдает команды на срабатывание ПС в нерегламентированные моменты, что может привести к дополнительным разрушениям.

Для исключения подобных ситуаций в состав системы запуска ПС по времени введена ступень предохранения, блокировка по скорости. Запуск ПС, то есть команда на разрешение запуска соответствующего устройства, произойдет только в том случае, если фактическая скорость движения РП превысит заданный уровень.

Функциональная схема бесконтактной системы запуска ПС гиперзвуковых РП [8] представлена на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Бесконтактная система запуска ПС гиперзвуковых ракетных поездов: а) функциональная схема системы; б) составные элементы системы

Схема запуска ПС по времени состоит из бортового временного устройства (10), схемы «И» (11), формирователя длительности (12) и выходного каскада (13). Бортовое временное устройство (10) имеет два идентичных независимых канала управления. Временные интервалы (уставки) каждого из каналов задаются отдельно в зависимости от исходных данных, полученных по результатам предварительных расчетов.

В состав схемы запуска ПС по пути входят постоянный магнит (4), индукционный датчик (5), формирователь запуска по пути (6), схема «И» (7), схема «ИЛИ» (8), формирователь длительности (14) и выходной каскад (15).

Постоянный магнит (4) в составе блока запуска устанавливается неподвижно на рельсовой направляющей ракетного трека, а индукционный датчик (5) и аппаратура запуска - на борту РП (рис. 1).

Бесконтактный запуск ПС обеспечивается следующим образом.

При установке ракетного поезда на стартовой позиции в исходном состоянии все бортовые цепи обесточены, а цепи управления ПС закорочены с помощью ступени предохранения (блокировки) и закоротки «Пуск». Срабатывание ступени предохранения (блокировки) происходит при достижении фактической скорости более 1200 м/с. Бортовое питание осуществляется от бортового источника тока. Задействование бортового источника тока происходит дистанционно от пульта управления опытом на стартовой позиции.

При разгоне РП, по достижению фактической скорости более 1200 м/с (2), срабатывает ступень предохранения (3) и информационный сигнал поступает на первые входы элементов «И» (7), (9), (11) соответственно. По истечению первой временной уставки, срабатывает первый канал бортового временного устройства (10) и положительный импульс поступает на второй вход схемы «И» (11), которая переключается в единичное состояние. После чего

импульс поступает на вход формирователя длительности (12), формируется, поступает на выходной каскад (13) и на пиротехнические средства (16), предназначенные для запуска двигателя последней ступени.

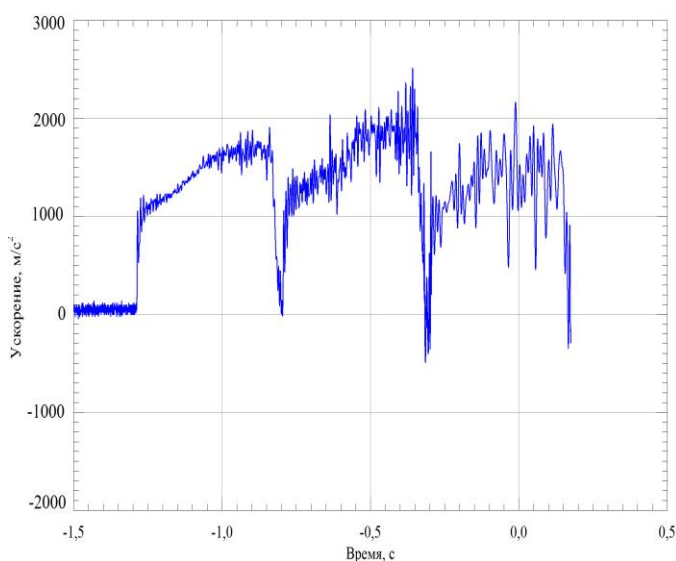
В момент прохождения центра индукционного датчика (5) мимо постоянного магнита (4), в датчике (5) вырабатывается электрический сигнал, который поступает на вход формирователя запуска по пути (6). Сигнал формируется в положительный импульс с заданными параметрами (длительности, амплитуды) и поступает на выход формирователя (6) и на второй вход схемы «И» (7), которая переключается в единичное состояние. При этом происходит подключение к первому входу схемы «ИЛИ» (8). С выхода схемы «ИЛИ» (8) сигнал поступает на вход формирователя длительности (14), формируется, поступает на выходной каскад (15) и на пиротехнические средства (17), предназначенные для отделения ОИ.

По истечении второй временной уставки, срабатывает второй канал бортового временного устройства (10) и положительный импульс поступает на второй вход схемы «И» (9), которая переключается в единичное состояние. После чего импульс поступает на второй вход схемы «ИЛИ» (8), далее на вход формирователя длительности (14), формируется, поступает на выходной каскад (15) и на пиротехнические средства (17), предназначенные для отделения ОИ.

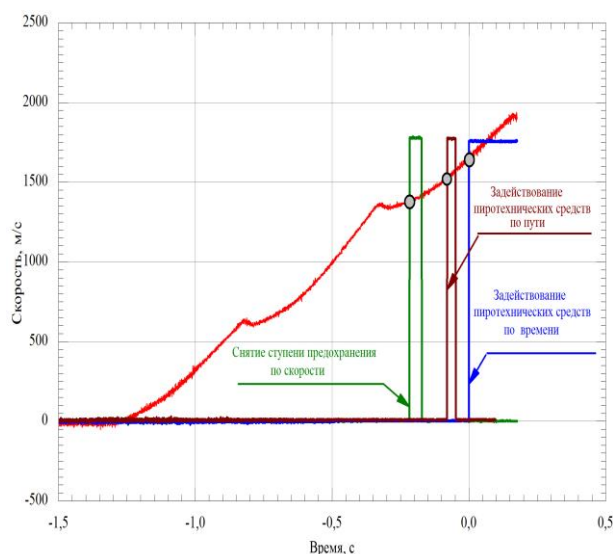
Временная уставка второго канала бортового временного устройства (10) подбирается таким образом, чтобы в первую очередь обрабатывался запуск системы отделения ОИ по пути, а затем по времени.

За счет такого резервирования достигается надежность и высокая функциональная эффективность бесконтактного запуска ПС гиперзвуковых РП.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. На ракетном треке проведены эксперименты по исследованию бесконтактной системы запуска ПС при высокоскоростных испытаниях. В ряде опытов РП оснащался радиотелеметрическим модулем из состава РТС «НИВА», с использованием которого проводились бортовые измерения линейных ускорений, угловых скоростей и информационных сигналов с помощью наземных приемно-регистрирующих пунктов. В качестве примера полученной радиотелеметрической информации на рис. 3 представлены зависимости ускорения, скорости и информационных сигналов от времени движения РП, а на рис. 4 - фотографии грузовой ступени РП с ОИ [9, 10].

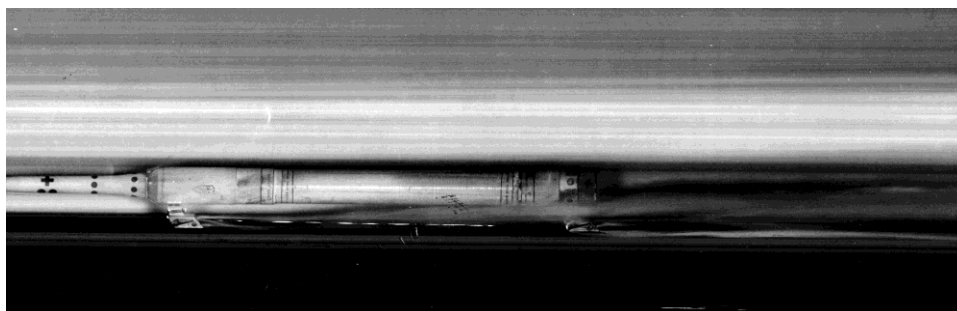


а)

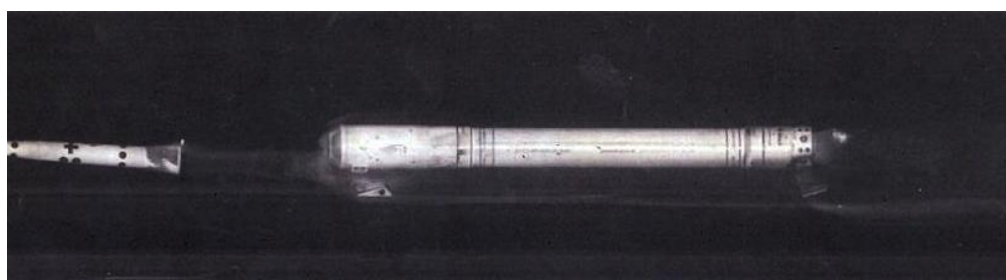


б)

Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований бесконтактной системы запуска ПС: а) зависимость ускорения РП от времени; б) зависимость скорости РП от времени.



а)



б)

Рис. 4. Фотографии грузовой ступени РП с ОИ: а) грузовая ступень РП с ОИ; б) разделение грузовой ступени РП и ОИ

Анализ полученной информации показал, что данные, зарегистрированные средствами регистрации по всем каналам, хорошо согласуются с расчетными данными, дополняют друг друга, позволяют получать всю информацию о положении РП с ОИ в процессе движения по ракетно-катапультирующему треку и более полно проанализировать результаты испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Создана бесконтактная система запуска ПС ступеней РП при гиперзвуковых скоростях их движения. В ходе проведенных испытаний отработана не только конструкция системы запуска ПС в целом и его составных частей, но и методика обеспечения срабатывания ПС. Результаты, полученные в процессе экспериментальных исследований, продемонстрировали надежное функционирование системы бесконтактного запуска ПС гиперзвуковых ракетных поездов.

Список литературы

1. Lamb J. L. Critical Velocities for Rocket Sled Excitation of Rail Resonance // Johns Hopkins APL technical digest. - V. 21, No 3 (2000). - P. 448-458.
2. Файков Ю.И. Методы и средства наземной обработки боевого оснащения ракетного оружия. Избранные статьи и доклады. - Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2008.
3. Файков Ю.И., Дудай В.И., Никулин В.М., Шляпников Г.П. Испытания ракетной и авиационной техники на ракетном треке. // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. - 2006. - №5. - С. 11-14.
4. Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Лисенкова Е.Е.. Задачи волновой динамики систем, несущих движущиеся нагрузки, и их применение к испытаниям на ракетном треке // Сборник трудов 3 Международной Школы-конференции «Нелинейная динамика машин» School-NDM 2016, Институт машиноведения РАН им. А.А. Благодирова. – Москва. – 2016. - С.45-54.
5. Бутова С.В., Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Камчатный В.Г. Устойчивость движения высокоскоростных объектов по направляющим ракетного трека // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2015. - № 1. - С. 3-8.
6. Герасимов С.И., Ерофеев В.И.. Расчет изгибно-крутильных колебаний рельсовой направляющей ракетного трека // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2016. - № 3. - С.25-27.
7. Бутова С.В., Герасимов С.И., Ерофеев В.И., Камчатный В.Г., Одзериho И.А. Термомеханические и деформационные процессы при высокоскоростном скольжении нагрузок по рельсовым направляющим ракетного трека // Вестник научно-технического развития. - 2017. - №10 (122). - С.3-7.
8. Зубанков А.В., Николаев В.А., Кортюков И.И., Кирдяшкин Ю.А., Страбыкин В.В., Хайруллин М.А. «Способ запуска пиротехнических устройств и устройство для его осуществления» // Бюллетень №6, патент №2476712 опубликован 27.02.2013.
9. Герасимов С.И., Лысенков В.Е. Система запуска и управления оптико-физической аппаратурой на аэробаллистической трассе. Фундаментальные основы баллистического проектирования // Труды четвертой Всероссийской научно-технической конференции. Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ». - Санкт-Петербург. - 2015. - №29. - С. 162-174.
10. Герасимов С.И., Бутова С.В. Съёмка движущегося ракетного поезда // Научная визуализация. - 2015. - Т. 7, № 2. - С. 12–20.

Дата поступления: 27 мая 2018 г.