

УДК 623.674

## О проведении экспериментальных исследований по определению времени выполнения операций обезвреживания взрывоопасных предметов с применением робототехнических средств

ISSN 1996-8493  
DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73  
© Технологии гражданской безопасности, 2022

**С.С. Носков, Д.С. Найденов, А.Ю. Баранник, Е.А. Дудоров**

### **Аннотация**

Приведена методика проведения экспериментальных исследований по определению времени выполнения отдельных операций взрывотехнических работ с применением робототехнических средств. Представлены результаты обработки полученных в ходе натурального эксперимента данных в виде эмпирических зависимостей времени выполнения операций взрывотехнических работ от ряда факторов, таких как расстояние от робота до взрывоопасного предмета и площадки складирования, скорость перемещения, радиус действия и грузоподъемность рабочего оборудования робота, глубина залегания и масса боеприпаса.

**Ключевые слова:** робототехническое средство; взрывоопасный предмет; взрывотехнические работы; операция; время выполнения операции; регрессионный анализ; эмпирические зависимости.

## About Carrying out Experimental Studies to Determine Operations Execution Time for the Explosive Objects Neutralization with the Use of Robotic Tools

ISSN 1996-8493  
DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73  
© Civil Security Technology, 2022

**S. Noskov, D. Naidenov, A. Barannik, E. Dudorov**

### **Abstract**

The method of conducting experimental studies to determine execution time of explosive works separate operations with the use of robotic means is given. The processing data results obtained during the field experiment in the form of empirical dependences of performing explosive operations time on a number of factors, such as the distance from the robot to the explosive object and the storage site, the speed of movement, the range and load capacity of the robot's working equipment, the depth and mass of ammunition are presented.

**Key words:** robotic tools; explosive object; explosive works; operation; operation execution time; regression analysis; empirical dependencies.

20.07.2022

Обеспечение безопасности личного состава, привлекаемого к проведению взрывотехнических работ (ВзТР), на всех этапах работы со взрывоопасными предметами (ВОП) является приоритетной задачей при организации ВзТР. Применение робототехнических средств при работе с ВОП, позволяющее исключить присутствие человека в опасной для него зоне, является на сегодняшний день самым эффективным решением [1, 2, 3].

Одним из показателей, требующих определения при планировании ВзТР с применением робототехнических средств (РТС), является время выполнения операции ВзТР [4, 5]. Под «операцией ВзТР с применением РТС» следует понимать законченную часть взрывотехнических работ, выполняемую на одном участке местности одним РТС с использованием одного вида рабочего оборудования. Примерами операций ВзТР являются:

- проведение разведки местности с использованием технического зрения РТС для обнаружения ВОП;
- траление участка местности при сплошном разминировании с использованием бойковых тралов РТС;
- погрузка ВОП на транспортное средство с использованием манипулятора РТС и т.д.

Время выполнения некоторых операций ВзТР определяется, исходя из объема работы, которую нужно выполнить, и производительности РТС [6, 7, 8], т.е.:

$$t_{ij} = \frac{Q_i}{q_{ij}}, \tag{1}$$

где:

- $t_{ij}$  — время выполнения  $i$ -ой операции ВзТР  $j$ -ым РТС, час;
- $Q_i$  — объем  $i$ -ой операции ВзТР, ед., размерность зависит от вида работы, например: а) разведка маршрута — длина, м; б) разминирование местности — площадь, м<sup>2</sup>; в) земляные работы — объем, м<sup>3</sup>; г) погрузка — масса, кг и т.д.;
- $q_{ij}$  — производительность  $j$ -го РТС при выполнении  $i$ -ой операции ВзТР, ед./час.

Однако, опыт выполнения ВзТР с применением РТС показывает, что часть операций ВзТР не имеет

количественно измеряемого объема. К таким операциям относятся:

- а) разрушение ВОП без детонации на месте обнаружения с применением гидроразрушителя или иного оборудования, закрепленного в манипуляторе РТС;
- б) извлечение ВОП манипулятором РТС;
- в) транспортировка ВОП в захвате манипулятора РТС от места обнаружения к месту погрузки или к месту уничтожения;
- г) погрузка манипулятором РТС взрывоопасного предмета на транспортное средство;
- д) разгрузка манипулятором РТС взрывоопасного предмета с транспортного средства.

Время выполнения указанных операций может зависеть от таких величин, как расстояние от РТС до ВОП, скорость перемещения рабочего оборудования РТС, глубина залегания и масса ВОП, расстояние от РТС до площадки складирования ВОП, радиус действия и грузоподъемность манипулятора РТС. В общем случае время выполнения  $i$ -ой операции ВзТР  $j$ -ым РТС может быть представлено формулой (2).

$$T_{ij} = \tau_i(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7), \tag{2}$$

где:

- $\tau_i(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7)$  — функция времени выполнения  $i$ -ой операции ВзТР  $j$ -ым РТС;
- $y_1$  — расстояние от РТС до ВОП, м;
- $y_2$  — скорость перемещения рабочего оборудования  $j$ -го РТС, м/мин;
- $y_3$  — глубина залегания ВОП, м;
- $y_4$  — масса ВОП, кг;
- $y_5$  — расстояние от РТС до площадки складирования ВОП, м;
- $y_6$  — радиус действия манипулятора  $j$ -го РТС, м;
- $y_7$  — грузоподъемность манипулятора  $j$ -го РТС, кг.

Выполненный предварительный анализ взрывотехнических работ с применением РТС позволил сформулировать гипотезу о влиянии рассматриваемых факторов на время выполнения отдельных операций ВзТР (см. таблицу).

Таблица

**Факторы, предположительно влияющие на время выполнения отдельных операций ВзТР**

Операции ВзТР	Факторы						
	Расстояние от РТС до ВОП, $y_1$	Скорость перемещения рабочего оборудования, $y_2$	Глубина залегания ВОП, $y_3$	Масса ВОП, $y_4$	Расстояние от РТС до площадки складирования ВОП, $y_5$	Радиус действия манипулятора, $y_6$	Грузоподъемность манипулятора, $y_7$
Разрушение ВОП без детонации снаряжения	*	*	*		*		
Извлечение ВОП	*	*	*	*	*	*	*
Транспортировка ВОП к месту погрузки	*	*		*	*		*
Погрузка ВОП в специально оборудованный автотранспорт	*	*	*	*	*	*	*
Разгрузка ВОП		*	*	*		*	*
Транспортировка ВОП к месту уничтожения	*	*		*	*		*
Укладка ВОП на площадке уничтожения		*	*	*			
Закладка детонирующего заряда для уничтожения ВОП	*	*	*		*		

Статистическая информация о времени выполнения перечисленных выше операций ВЗТР была получена в ходе выполнения натурального эксперимента на территории учебного полигона ФГКУ «Центр по проведению спасательных операций особого риска «Лидер» МЧС России с применением робототехнических средств: КРММ-06, Telemax, Teodor, РТС-ТО, Brokk-mini Cat, Brokk-110D, Brokk-180, Brokk-330D, Brokk-800, MV-4. Протоколы испытаний утверждены начальником ЦСООР «Лидер» и размещены в качестве приложений в отчете о научно-практической работе «Экспериментальное исследование по технологии применения робототехнических средств при проведении взрывотехнических работ», выполненной в Академии гражданской защиты МЧС России в 2021 году [9].

Для каждой операции взрывотехнических работ, выполняемой с применением РТС, разработаны методики выполнения опытов, которые включают требования к размещению РТС, расстоянию от РТС до ВОП, глубине залегания ВОП и его массе.

а) Порядок определения времени выполнения операции разрушения ВОП без детонации.

Для определения времени выполнения операции РТС перемещается с исходного рубежа и устанавливает макет разрушителя на ВОП. Последовательно изменяются  $y_1 = L$  — расстояние от РТС до ВОП и  $y_3 = h$  — глубина залегания ВОП (рис. 1).

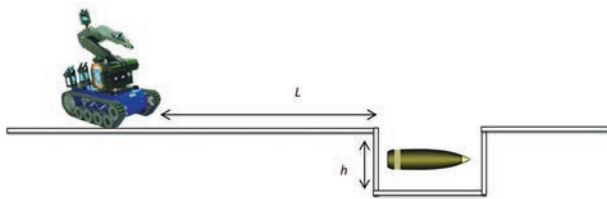


Рис. 1. Размещение робототехнического средства при уничтожении взрывоопасного предмета:  $L$  — расстояние от РТС до ВОП;  $h$  — глубина залегания ВОП

б) Определение времени выполнения операции извлечения ВОП.

Для определения времени выполнения операции РТС перемещается с исходного рубежа, фиксирует в схвате манипулятор ВОП, извлекает и укладывает его на поверхность земли. Последовательно изменяются глубина залегания и масса ВОП (рис. 2).

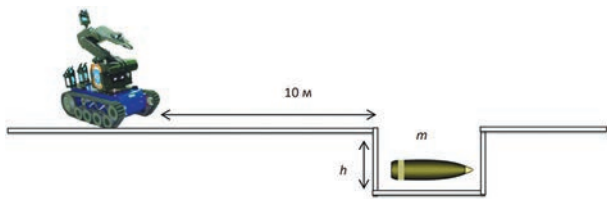


Рис. 2. Размещение РТС при извлечении заглубленного ВОП:  $m$  — масса взрывоопасного предмета;  $h$  — глубина залегания взрывоопасного предмета

в) Определение времени выполнения операции транспортировки ВОП.

Для определения времени выполнения операции РТС перемещает ВОП на установленное расстояние

и укладывает его на специальную площадку. Последовательно изменяются  $y_5 = L$  — расстояние от РТС до площадки складирования ВОП и  $y_4 = m$  — масса ВОП (рис. 3).

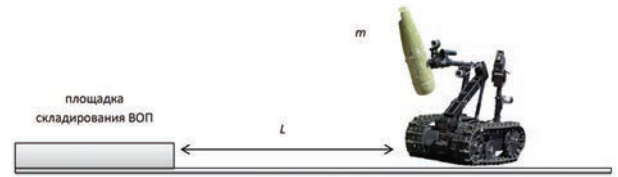


Рис. 3. Размещение РТС при транспортировке ВОП:  $L$  — расстояние от РТС до площадки складирования;  $m$  — масса ВОП

г) Определение времени выполнения операции погрузки ВОП.

Для определения времени выполнения операции РТС перемещает ВОП с площадки складирования ВОП в кузов специально оборудованного автотранспорта. Последовательно изменяется  $y_4 = m$  — масса ВОП.

д) Определение времени выполнения операции разгрузки ВОП.

Для определения времени выполнения операции РТС перемещает ВОП из кузова специально оборудованного автотранспорта на площадку складирования ВОП. Последовательно изменяется  $y_4 = m$  — масса ВОП.

На основе статистических результатов, полученных в ходе натуральных испытаний с применением регрессионного анализа, получены зависимости времени выполнения операций ВЗТР от рассмотренных факторов [10].

По результатам регрессионного анализа получены [9, 10]:

а) зависимость времени выполнения операции разрушения взрывоопасного предмета без детонации представлена в формуле (3):

$$\tau(y_1, y_{2j}) = 120,6 + 0,8 \cdot y_1 - 3,2 \cdot y_{2j}, \quad (3)$$

где:

$\tau(y_1, y_{2j})$  — функция времени выполнения операции разрушения взрывоопасного предмета без детонации, с;

$y_1$  — расстояние от РТС до ВОП, м;

$y_{2j}$  — скорость перемещения рабочего оборудования  $j$ -го РТС, м/мин.

Наибольшее влияние на величину  $\tau(y_1, y_{2j})$  оказывает расстояние от РТС до ВОП. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 96,88% общей вариабельности  $\tau(y_1, y_{2j})$  объясняется изменением факторов  $y_1$  и  $y_{2j}$ . Параметры модели статистически значимы.

б) зависимость времени выполнения операции извлечения взрывоопасного предмета представлена в формуле (4):

$$\tau_i(y_{2j}, y_3, y_4) = 143,7 - 2,9 \cdot y_{2j} + 44,2 \cdot y_3 + 0,2 \cdot y_4, \quad (4)$$

где:

$\tau_i(y_{2j}, y_3, y_4)$  — функция времени выполнения операции извлечения взрывоопасного предмета, с;

$y_3$  — глубина залегания ВОП, м;  
 $y_4$  — масса ВОП, кг.

Наибольшее влияние на результат  $\tau_i(y_{2j}, y_3, y_4)$  оказывает глубина залегания ВОП. Общая вариабельность  $\tau_i(y_{2j}, y_3, y_4)$  при изменении факторов  $y_{2j}, y_3, y_4$  составляет не менее 79,26%.

в) зависимость времени выполнения операции транспортировки взрывоопасного предмета представлена в формуле (5):

$$\tau_i(y_{2j}, y_5) = 72,5 - 1,6 \cdot y_{2j} + 0,5 \cdot y_5, \quad (5)$$

где:

$\tau_i(y_{2j}, y_5)$  — функция времени выполнения операции транспортировки взрывоопасного предмета, с;

$y_5$  — расстояние от РТС до площадки складирования ВОП, м.

Наибольшее влияние на результат  $\tau_i(y_{2j}, y_5)$  оказывает расстояние от РТС до площадки складирования ВОП. Общая вариабельность  $\tau_i(y_{2j}, y_5)$  составляет не менее 94,49%.

г) зависимость времени выполнения операции погрузки взрывоопасного предмета представлена в формуле (6):

$$\tau_i(y_{2j}, y_4) = 60,4 - 1,3 \cdot y_{2j} + 0,2 \cdot y_4, \quad (6)$$

где  $\tau_i(y_{2j}, y_4)$  — функция времени выполнения операции погрузки взрывоопасного предмета, с.

Наибольшее влияние на результат  $\tau_i(y_{2j}, y_4)$  оказывает масса ВОП. Установлено, что в исследуемой

ситуации общая вариабельность  $\tau_i(y_{2j}, y_4)$  составляет 90,66%.

д) зависимость времени выполнения операции разгрузки взрывоопасного предмета представлена в формуле (7):

$$\tau_i(y_{2j}, y_4) = 86,9 - 1,6 \cdot y_{2j} + 0,2 \cdot y_4, \quad (7)$$

где  $\tau_i(y_{2j}, y_4)$  — функция времени выполнения операции разгрузки взрывоопасного предмета, с.

Наибольшее влияние на результат  $\tau_i(y_{2j}, y_4)$  оказывает масса ВОП. Общая вариабельность  $\tau_i(y_{2j}, y_4)$  составляет 82,15%.

Полученные зависимости позволяют определить значения временных промежутков выполнения операций взрывотехнических работ с применением РТС, что, в свою очередь, позволит более качественно распределять РТС по видам ВзТР в соответствии с технологией применения РТС [11] при проведении гуманитарного разминирования, обезвреживания авиационных и других видов боеприпасов. Зависимости, полученные на основе статистических данных натурального эксперимента, могут быть использованы при моделировании применения робототехники специального назначения и в других работах, не связанных с обезвреживанием взрывоопасных предметов.

Представленный подход к определению времени выполнения части операций аварийно-спасательных и других неотложных работ целесообразно использовать при получении исходных данных для распределения задач в зоне ЧС, при групповом применении робототехнических средств и комплексов, в том числе автономных роботов [12].

## Литература

1. Решение коллегии МЧС России от 10 августа 2016 г. № 16/III «О концепции развития робототехнических комплексов (систем) специального назначения в системе МЧС России до 2030 года».
2. Мошков В. Б., Баранник А. Ю. Перспективы развития системы робототехники МЧС России в интересах повышения эффективности ведения аварийно-спасательных работ // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 5. С. 124–126.
3. Лагутина А. В., Баранник А. Ю. Робототехнические комплексы МЧС России // В сб.: «Школа молодых ученых и специалистов МЧС России»: Материалы Юбилейного X форума. СПб, 2020. С. 207–211.
4. Найденов Д. С., Носков С. С., Полевой Е. В., Батырев В. В. Общая структура методики обоснования рационального варианта группировки робототехнических средств специального назначения при проведении взрывотехнических работ // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (47). С. 43–51.
5. Носков С. С., Найденов Д. С., Полевой Е. В., Остапчук Е. Е. Выбор робототехнического средства для ликвидации ЧС / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021662666, 03.08.2021. Заявка № 2021619410 от 16.06.2021.
6. Тараканов Н. Д., Овчинников В. В. Комплексная механизация спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ. М.: Энергоатомиздат, 1984. 54 с.

7. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / В.А. Акатьев, С.С. Волков, В.С. Гаваза и др. / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. 176 с.
8. Пархомчик Э. А., Пономарев А. И. Комплексная методика обоснования рациональной группировки сил и средств, привлекаемой для ликвидации чрезвычайной ситуации в военное время // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 61–67.
9. Найденов Д. С., Носков С. С., Полевой Е. В., Родионов К. Ю. Экспериментальное исследование по технологии применения робототехнических средств при проведении взрывотехнических работ: Отчет о научно-практической работе. Химки: АГЗ МЧС России, 2021. 53 с.
10. Иванов В. В. Статистическая обработка экспериментальных данных: Методические указания / В. В. Иванов, В. И. Мельников. Н. Новгород: НГТУ. 2008. 172 с.
11. Найденов Д. С., Полевой Е. В., Носков С. С., Гудошников А. А., Остапчук Е. Е. Программа формирования группировки робототехнических средств для проведения взрывотехнических работ / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021681998, 28.12.2021. Заявка № 2021681270 от 20.12.2021.
12. Дудоров Е. А., Богданов А. А., Баранник А. Ю., Кузнецова Т. Д. Перспективы применения технологий робототехники в интересах МЧС России // В сб.: «I Международная научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности». М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. С. 54–63.

## Сведения об авторах

**Носков Сергей Семенович:** к. т. н., доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), нач. науч.-исслед. центра.  
Москва, Россия.  
SPIN-код: 4998-8568.

**Найденев Дмитрий Сергеевич:** адъюнкт, Академия гражданской защиты МЧС России.  
Химки, Россия.  
SPIN-код: 7751-0317.

**Баранник Александр Юрьевич:** к. т. н., с. н. с., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), в. н. с. науч.-исслед. центра.  
Москва, Россия.  
SPIN-код: 9462-5588.

**Дудоров Евгений Александрович:** к. т. н., ПАО «НПО «Андроидная техника», исполн. директор.  
Москва, Россия.  
SPIN-код: 4413-5165.

## Information about authors

**Noskov Sergey S.:** PhD (Technical Sc.), Assistant Professor, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Head of Research Center.  
Moscow, Russia.  
SPIN-scientific: 4998-8568.

**Naydenov Dmitry S.:** Adjunct, Academy of Civil Protection EMERCOM of Russia.  
Khimki, Russia.  
SPIN-scientific: 7751-0317.

**Barannik Alexander Y.:** PhD (Technical Sc.), Senior Researcher, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Leading Researcher, Research Center.  
Moscow, Russia.  
SPIN-scientific: 9462-5588.

**Dudorov Evgeny A.:** PhD (Technical Sc.), NPO "Android Technology", Executive Director.  
Moscow, Russia.  
SPIN-scientific: 4413-5165.

## Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
<i>Пучков В.А.</i> Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 4-е, актуализ. и дополн.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29352006">https://elibrary.ru/item.asp?id=29352006</a>
<i>Батырев В.В. и др.</i> Оценка эффективности и качества фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания населения в чрезвычайных ситуациях.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29741192">https://elibrary.ru/item.asp?id=29741192</a>
<i>Талмач М.С. и др.</i> Учебное пособие по дисциплине «Экстремальная психология» для курсантов МЧС России.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29853968">https://elibrary.ru/item.asp?id=29853968</a>
<i>Фалеев М.И. и др.</i> Экономические механизмы ресурсного обеспечения мероприятий по защите населения и территорий от угроз военного, природного и техногенного характера.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=29860580">https://elibrary.ru/item.asp?id=29860580</a>
<i>Акимов В.А.</i> Междисциплинарные исследования проблем безопасности.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=32369931">https://elibrary.ru/item.asp?id=32369931</a>
<i>Артамонов В.С. и др.</i> Историческая пожарно-спасательная энциклопедия.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=32288725">https://elibrary.ru/item.asp?id=32288725</a>
<i>Фалеев М.И. и др.</i> Управление рисками техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (пособие для руководителей муниципальных образований).	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=32726150">https://elibrary.ru/item.asp?id=32726150</a>
<i>Сломянский В.П. и др.</i> Комментарий к Федеральному закону от 12 февраля 1998 года № 28-ФЗ «О гражданской обороне».	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=30601349">https://elibrary.ru/item.asp?id=30601349</a>
<i>Мошков В.Б. и др.</i> Тенденции развития пожарно-спасательной отрасли. Фотокнига.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=32458165">https://elibrary.ru/item.asp?id=32458165</a>
<i>Сосунов И.В. и др.</i> Проблемы защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях в условиях современных вызовов и угроз. Справочное пособие.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=34969240">https://elibrary.ru/item.asp?id=34969240</a>
<i>Батырев В.В. и др.</i> Основы индивидуальной защиты человека от опасных химических и радиоактивных веществ. Монография.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=25637877">http://elibrary.ru/item.asp?id=25637877</a>
<i>Артамонов В.С. и др.</i> Гражданская оборона. Учебник.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=26496217">http://elibrary.ru/item.asp?id=26496217</a>
<i>Акимов В.А. и др.</i> Защита населения и территорий Российской Федерации в условиях изменения климата.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=26013124">http://elibrary.ru/item.asp?id=26013124</a>
<i>Воронов С.И. и др.</i> Страхование от чрезвычайных ситуаций. Монография.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=26244052">http://elibrary.ru/item.asp?id=26244052</a>
<i>Степанов В.Я.</i> Чернобыль: взгляд сквозь годы. Выпуск 6. Сер. Звезда Чернобыля.	<a href="http://elibrary.ru/item.asp?id=25889316">http://elibrary.ru/item.asp?id=25889316</a>