

ISSN 2518-170X (Online),
ISSN 2224-5278 (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР
СЕРИЯСЫ



СЕРИЯ
ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



SERIES
OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

2 (422)

НАУРЫЗ – СӘУІР 2017 ж.
МАРТ – АПРЕЛЬ 2017 г.
MARCH – APRIL 2017

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г.
THE JOURNAL WAS FOUNDED IN 1940.

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы

э. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі

И.К. Бейсембетов

Бас редакторының орынбасары

Жолтаев Г.Ж. проф., геол.-мин. ғ. докторы

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Абаканов Т.Д. проф. (Қазақстан)
Абишева З.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Алиев Т. проф., академик (Әзірбайжан)
Бакиров А.Б. проф., (Қырғыстан)
Беспәев Х.А. проф. (Қазақстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Қазақстан)
Буктуков Н.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Бұлат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Тәжікстан)
Грэвис Р.М. проф. (АҚШ)
Ерғалиев Г.Х. проф., академик (Қазақстан)
Жуков Н.М. проф. (Қазақстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Қазақстан)
Қожахметов С.М. проф., академик (Қазақстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Ресей)
Курскеев А.К. проф., академик (Қазақстан)
Курчавов А.М. проф., (Ресей)
Медеу А.Р. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Мұхамеджанов М.А. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Нигматова С.А. проф. (Қазақстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Қазақстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Қазақстан)
Сейтов Н.С. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (АҚШ)
Штейнер М. проф. (Германия)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология мен техникалық ғылымдар сериясы».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде 30.04.2010 ж. берілген №10892-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18, <http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Редакцияның Қазақстан, 050010, Алматы қ., Қабанбай батыра көш., 69а.

мекенжайы: Қ. И. Сәтбаев атындағы геология ғылымдар институты, 334 бөлме. Тел.: 291-59-38.

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р

д. э. н., профессор, член-корреспондент НАН РК

И. К. Бейсембетов

Заместитель главного редактора

Жолтаев Г.Ж. проф., доктор геол.-мин. наук

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

Абаканов Т.Д. проф. (Казахстан)
Абишева З.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Алиев Т. проф., академик (Азербайджан)
Бакиров А.Б. проф., (Кыргызстан)
Беспаяев Х.А. проф. (Казахстан)
Бишимбаев В.К. проф., академик (Казахстан)
Буктуков Н.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Булат А.Ф. проф., академик (Украина)
Ганиев И.Н. проф., академик (Таджикистан)
Грэвис Р.М. проф. (США)
Ергалиев Г.Х. проф., академик (Казахстан)
Жуков Н.М. проф. (Казахстан)
Кенжалиев Б.К. проф. (Казахстан)
Кожамбетов С.М. проф., академик (Казахстан)
Конторович А.Э. проф., академик (Россия)
Курскеев А.К. проф., академик (Казахстан)
Курчавов А.М. проф., (Россия)
Медеу А.Р. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Мухамеджанов М.А. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Нигматова С.А. проф. (Казахстан)
Оздоев С.М. проф., академик (Казахстан)
Постолатий В. проф., академик (Молдова)
Ракишев Б.Р. проф., академик (Казахстан)
Сейтов Н.С. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Сейтмуратова Э.Ю. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Степанец В.Г. проф., (Германия)
Хамфери Дж.Д. проф. (США)
Штейнер М. проф. (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук».

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

<http://наука-нанрк.kz/geology-technical.kz>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2017

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а.

Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

E d i t o r i n c h i e f

doctor of Economics, professor, corresponding member of NAS RK

I. K. Beisembetov

Deputy editor in chief

Zholtayev G.Zh. prof., dr. geol-min. sc.

E d i t o r i a l b o a r d:

Abakanov T.D. prof. (Kazakhstan)
Abisheva Z.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Aliyev T. prof., academician (Azerbaijan)
Bakirov A.B. prof., (Kyrgyzstan)
Bespayev Kh.A. prof. (Kazakhstan)
Bishimbayev V.K. prof., academician (Kazakhstan)
Buktukov N.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Bulat A.F. prof., academician (Ukraine)
Ganiyev I.N. prof., academician (Tadjikistan)
Gravis R.M. prof. (USA)
Yergaliev G.Kh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhukov N.M. prof. (Kazakhstan)
Kenzhaliyev B.K. prof. (Kazakhstan)
Kozhakhmetov S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Kontorovich A.Ye. prof., academician (Russia)
Kurskeyev A.K. prof., academician (Kazakhstan)
Kurchavov A.M. prof., (Russia)
Medeu A.R. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Muhamedzhanov M.A. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Nigmatova S.A. prof. (Kazakhstan)
Ozdoyev S.M. prof., academician (Kazakhstan)
Postolatii V. prof., academician (Moldova)
Rakishev B.R. prof., academician (Kazakhstan)
Seitov N.S. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Seitmuratova Ye.U. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Stepanets V.G. prof., (Germany)
Humphery G.D. prof. (USA)
Steiner M. prof. (Germany)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences.

ISSN 2518-170X (Online),

ISSN 2224-5278 (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2017

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev
69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 2, Number 422 (2017), 157 – 174

UDC 621.01

**T. T. Kaiym¹, V. F. Gribanov¹, E. S. Temirbekov², S. T. Kaimov³,
Ab. T. Kaimov¹, A. T. Kaimov⁴, G. T. Kaimova⁵, D. D. Abildabekova¹**

¹Kazakh national research technical university named by K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

²Almaty technological university, Almaty, Kazakhstan,

³Kazakh national university named by al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,

⁴Institute of information and computing technologies, Almaty, Kazakhstan,

⁵Kazakh agrarian-technical university named by S. Seifullin, Astana, Kazakhstan.

E-mail: a.kaim94@mail.ru, temirbekove@mail.ru, kayim4444@mail.ru

**THE MODELING OF THE THEORETICAL AND MATHEMATICAL
SYSTEM AND SPECIFICALLY THE STOCHASTIC PROCESSES
OF THE DYNAMICAL SYSTEM AN INNOVATIVE MECHANISM
FOR GRASPING OF THE ROBOT FOR OVERLOADING
THE HIGHLY RADIOACTIVE FIRM WASTE OF FUEL ELEMENT
FROM THE SECONDARY CONTAINER
INTO THE MAIN CONTAINER**

Abstract. In fact, the use of optimal and quasy-optimal algorithms for recursive estimation of kinematic and dynamic parameters of the actuators working is original. Authors give some details which they have studied the kinematic and dynamic parameters of multi-actuators working of the innovative mechanism of grasping and how they will develop the optimal filtering techniques of random perturbations.

This article is interesting and contains some scientific novelties and significance. It considers the mathematical modeling of the geometrical, kinematic and dynamic parameters of the interactions of the grasping mechanism with the environment (highly radioactive firm waste) during their operations for taking consistent design decisions at earlier stages of their development, when several possibilities arise.

Key words: mathematical model, robot, container, radioactive waste, gripper.

Introduction. According to the World Atomic Association, nowadays 449 nuclear reactors are used in all countries of the world, 62 nuclear reactors are under construction and about 150 nuclear reactors are planned for construction. The world leader in nuclear energy is the United States, which have more than 100 nuclear reactors. China is the fastest country which develops "peaceful atom". In China is building 27 nuclear reactors, another 50 nuclear reactors are planned to be built in this country in the future.

During the operation of a nuclear power plant (NPP), solid highly radioactive waste (SHLW) is formed, which are fuel elements (FE) of fuel assemblies of nuclear reactors. The radionuclides contained in SHLW have a harmful effect on the Earth's biosphere and sharply worsen the ecology. At the present time, specialists are planning to dispose of SHLW in the underground storage facilities (cemeteries) of SHLW. During the implementation of this technological operation, FEs are loaded into an intermediate container, which is transported from the NPP to the assembling and transfer point (ATP), built near the underground storage facility (cemetery) of SHLW. The SHLW are overloaded into a cavity formed in the body of the main container (containers), made from a block of strong rock into ATP from the intermediate container SHLW. This technical operation has to be carried out by the worker (workers) manually with the use of special devices, when he (they) is (are) directly near the SHLW. Undoubtedly, this operation does not ensure the required security of the worker (workers).

At the present time, we have created an innovative way of reloading FE and/or FEs and others from the intermediate container with SHLW into the cavity (cavities) of the main container, made from a strong rock block, which implementation has to be carried out using innovative grip of industrial robot (IR) manipulator and the innovative design of the three-phalangeal adaptive gripper – the grip device of the IR manipulator. The innovative design of the three-phalangeal adaptive gripper consists of the following structural elements: a tile-base for fastening the phalanx – grip levers, which is fastened to the end part of the manipulator by a fixing lever. Each gripping flexible grip lever consists, for example, of 3 phalanges: basic, middle and final. All phalanges are joined together by hinges. The lower base of each main phalanx of the gripping flexible grip levers is grasped to the tile-base. Clamping spring is installed between the adjacent phalanges of each grip lever. In the sections of the inner surface of each phalanx of each grip lever the retaining teeth are strengthened.

For the scientific-based choice and justification of constructive, geometric, structural-kinematic and dynamic parameters of the innovative gripper of the IR manipulator, an effective mathematical model of their calculation was developed, taking into account the stochastic processes of its interaction with the object, i.e. with SHLW. The accuracy of determining the geometric, structural-kinematic and dynamic parameters of the three-phalangeal adaptive gripper of the IR manipulator, taking into account the stochastic processes of its interaction with the upper section of the FE, is reached by the estimation on the basis of the determination of the optimal Kalman weight coefficient.

The idea of work. Nowadays, specialists have created an innovative way of reloading of FE and/or FEs and others from the intermediate container with SHLW into the cavity (cavities) of the main container, made from a strong rock block, which implementation has to be carried out using innovative grip of IR manipulator.

For the scientific-based choice and justification of constructive, geometric, structural-kinematic and dynamic parameters of the innovative gripper of the IR manipulator, an effective mathematical model of their calculation was developed, taking into account the stochastic processes of its interaction with the object, i.e. with SHLW [1-4].

An innovative remotely controlled mobile IR (figure 1) with an innovative adaptive grip mechanism consists of support racks 1, a horizontal crossbar 2, a vehicle 3 (wheel, caterpillar, walking, etc.), with attached IR manipulator 4 having a several degrees of freedom of mobility, like a human hand. To the final part of the IR manipulator 4 is attached an innovative gripper 5. FE 6 is extracted from the intermediate container 7 and reloaded into the main container 8 by the innovative gripper 5.

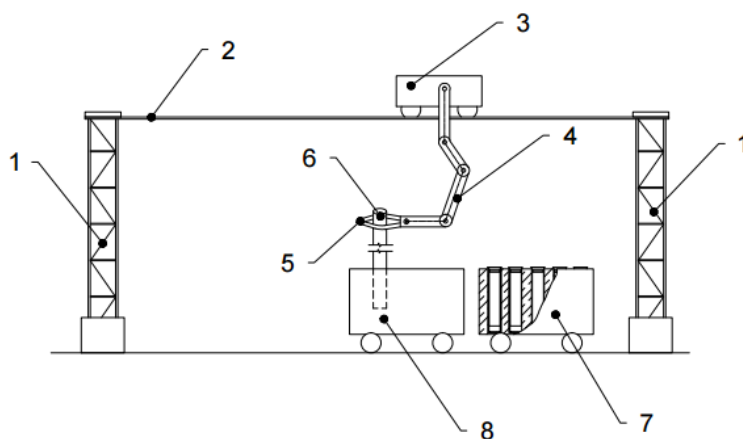


Figure 1 – Scheme of reloading of fuel element (FL) SHLW from the intermediate container into the main container using innovative gripper of industrial robot (IP) manipulator: 1 – support racks; 2 – horizontal crossbar; 3 – vehicle; 4 – manipulator; 5 – innovative gripper; 6 – fuel element (FL); 7 – intermediate container; 8 – main container

On the basis of the analysis of works [5-18], this article proposes an innovative design of the three-phalangeal adaptive grip – gripping device (GD) of the IR manipulator. The innovative design (figure 2) of the three-phalangeal adaptive grip of manipulator consists of the following structural elements: the tile-base 1 for fixing the phalanx – grip levers, which is fastened by the fixing lever 2 to the end part of the manipulator.

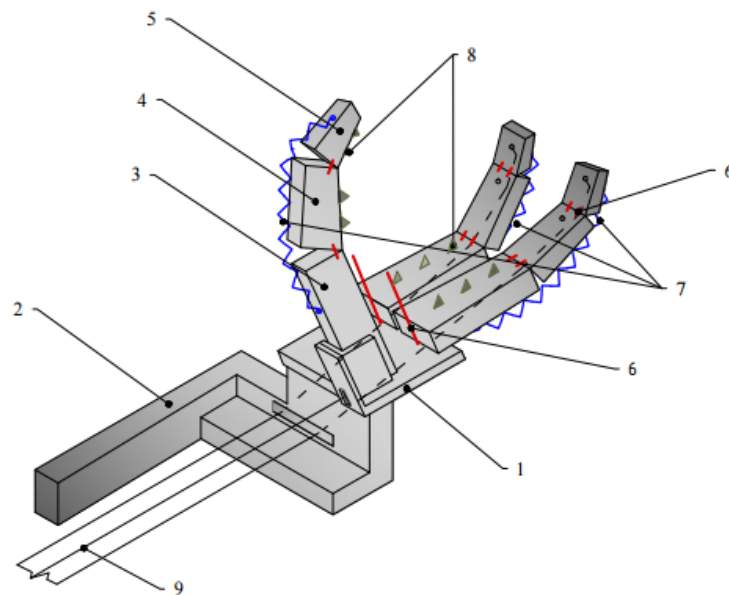


Figure 2 – Three-phalangeal adaptive gripper of the IR manipulator for FE and/or FEs reloading from the intermediate container to the main container for SHLW at its disposal in the underground storage (cemetery) of SHLW: 1 – tile-base for fixing the main phalanx of the lever-gripper; 2 – the mounting arm of the manipulator; 3 – the basic phalanx; 4 – middle phalanx; 5 – final phalanx; 6 – the hinge of fastening of adjacent phalanges; 7 – pulling spring; 8 – retaining tooth; 9 – flexible traction element

GD consists of several constructive elements, the so-called gripping flexible levers – grips, each kinematic scheme is conditionally identified with the functioning of a separate human finger. Each gripping flexible lever – the grip consists, for example, of 3 phalanges: main 3, middle 4 and final 5. All phalanges 3-5 are joined together by hinges 6. The lower base of each main phalanx 3 of the gripping flexible lever – the grip is attached to tile-base 1. The clamping springs 7 are installed between the adjacent phalanges 3-5 of each lever. The holding teeth 8 are strengthened on the inner surface of each phalanx 3-5 of each grip lever.

The gripping of an object, for example, FE, intended to be movement from the intermediate container to the main container for SHLW, is carried out as follows. Gripping flexible levers – grips, for example, three gripping flexible levers – grips are positioned by the "arm" of the IR manipulator above the upper section of FE, located in the intermediate container. Then they move top-down on the body of the upper section of FE and are fixed opposite it in such a way that it is located between the gripping flexible levers – grips. Depending on the specific conditions, for example, on one side of the FE there will be two gripping flexible levers – grips, and on the opposite side of it - one gripping flexible lever – grip. A hole which longitudinal axis coincides with the longitudinal axis of the phalanx is formed in the body of each phalanx 3-5 of each grip lever. After all phalanges 3-5 have been joined together by hinges 6, flexible traction element 9 is placed in each of them. The first flexible traction element 9 is located in the phalanges holes 3-5 from the upper base of the terminal phalanx 5, passing along it in the hole formed in the middle phalanx 4, in the hole formed in the main phalanx 3, and its opposite end is placed beyond its limits. The end of the second flexible traction element 9 is fixed in the upper part of the middle phalanx 4, placed in the hole formed in the body of the main phalanx 3, and the opposite end is located beyond its limits. The end of the third flexible traction element 9 is fixed in the upper part of the main phalanx 3, installed in the hole formed in its body, and its opposite end is located beyond its limits. Each oppositely disposed area of the flexible traction element 9 is fixed to a special actuator installed in the control station of the IR manipulator.

Flexible traction elements 9 are installed in all other gripping flexible lever – grips in the same way [19, 20].

Depending on the specific conditions, one, two or more FEs and/or their parts, etc. can be placed in the cavity, formed in the main container, etc. Placing of FE and/or FEs, etc. in other cavities formed in the main container, is implemented in a similar way.

During technological operation of gripping by gripping flexible levers – the grips of the FE body, the operator at the control point pulls all the flexible traction elements 9 of the gripping flexible levers – the grips for carrying out a pressing of all flexible surfaces of all phalanges 3-5 of gripping flexible levers – the grips to the body of FE and to provide the required force of interaction between the corresponding surfaces of all phalanges 3-5 of gripping flexible levers – the grips and the lateral surfaces of the upper section of FE for its reliable containment and basing.

Then, the FE is lifted upwards from the intermediate container by IR manipulator and the IR manipulator with Fe moves along the transport path to the place of installation of the main container placed on the ATP. It is installed above the corresponding cavity formed in the main container, so that the bottom base of FE is aligned with the area of the upper base of the cavity formed in the main container.

In the next turn, the operator, being at the control point, remotely releases the ends of the flexible traction elements 9 from fixing on a special drive in the control station. Gripping flexible levers – grips are moved away from the body of the FE under the action of the elastic force of special elastic elements-springs 7. At the same time, FE under its own weight is lowered into a cavity formed in the main container. Under the action of the elastic force of the springs 7, each gripping flexible levers – grip is straightened and the longitudinal axis of each of them occupies a horizontal and/or practically horizontal position, returning to the original non-working state.

In order to improve the efficiency of the placement of FE and/or FEs and others in the cavity formed in the main container, a special guide element for example, a funnel made of metal and/or plastic, etc. is pre-installed.

The use of this technological scheme for the reloading of FE and/or FEs and others from the intermediate container into the main container allows ensuring a high degree of safety of the disposal of SHLW and safe working conditions for personnel.

In order to select the optimal structural and kinematic parameters of the constructive elements of the IR manipulator with the gripping flexible lever – grips, the scientific foundations of the simulation of the functioning of the multifunctional gripping flexible lever – grips of the IR manipulator, adapting to the dimensions and shapes of FE, for its safe transfer to the main container; mathematical method for constructing an optimal design for a gripping flexible lever – grip of an IR manipulator for overloading FE and/or FEs and others on the basis of solving the minimax problem of determining its optimal parameters in the compilation of convolution-constraint systems into a generalized criterion for ensuring the reliable retention of FE by gripping flexible lever – grip of the IR manipulator; mathematical model of modeling stochastic processes of a highly efficient and reliable gripping flexible lever – grip of the IR manipulator for FE and/or FEs and others reloading into the main container; software for remote control of the work of the gripping flexible lever – grip of the IR manipulator for FE and/or FEs and others into the main container using network protocols and creating its simulation model were developed.

The force of pressing of the external internal surfaces of each phalanx 3-5 of each lever-gripper to the external confining surface of the upper part of the FE body 10 (figure 3) is determined by the following formula:

$$F = K \cdot G, \quad (1)$$

where P – compressive force, H ; K – coefficient, depending on the characteristics of the materials of the constructive elements of the lever-gripper, G – mass of reloaded FE, kg.

In order to release the upper body of FE 10 from each phalanx 3-5 of each lever-grip on the control panel (in figure 3 it is not shown) by the mechanical arm of the IR manipulator, each end section of the flexible traction element 9 is released from pressure (fixation) on the drive of the control point. In this case, the effort of pressing of each phalanx 3-5 of each lever-grip to the upper body of FE 10 becomes zero. Under the action of the elastic force of the compression-expansion spring 7 and/or the compression-expansion springs 7, the internal external surfaces of each phalanx 3-5 of each lever-grip are moved away from the external confining surface of the upper part of the FE 10.

The force necessary to close all the phalanges of each lever-grip around the upper part of the body of FE is determined by the equation of equilibrium of all forces acting on the grip of the mechanical arm of IR.

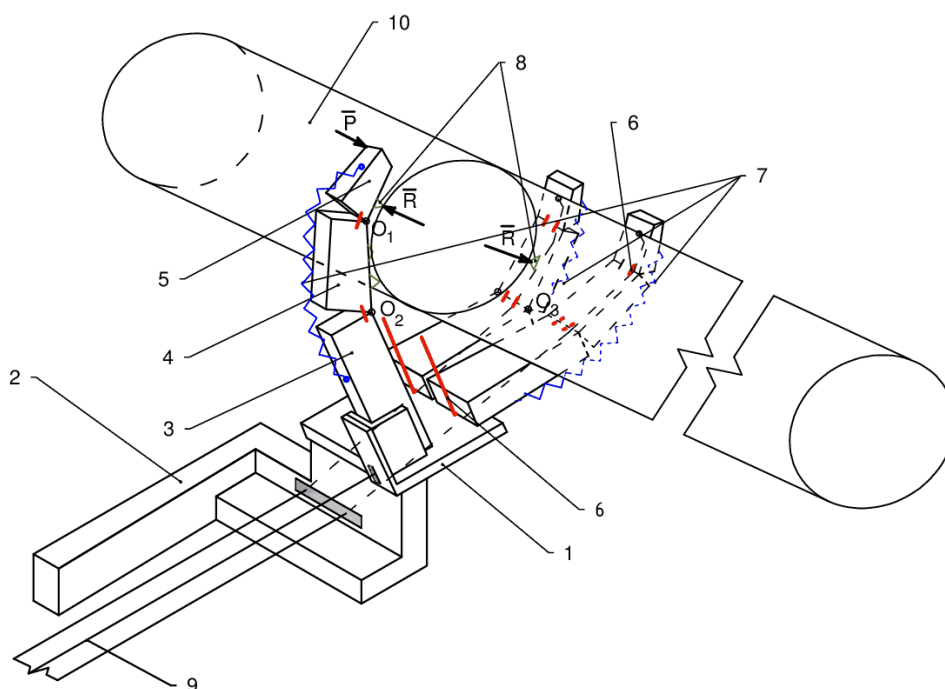


Figure 3 – Three-phalangeal adaptive gripper of the IR manipulator for FE reloading from the intermediate container to the main container for SHLW at its disposal in the underground storage (cemetery) of SHLW: 1– tile-base for fixing the main phalanx of the lever-gripper; 2 – the mounting arm of the manipulator; 3 – the basic phalanx; 4 – middle phalanx; 5 – final phalanx; 6 – the hinge of fastening of adjacent phalanges; 7 – pulling spring; 8 – retaining tooth; 9 – flexible traction element, 10 – FE

The equation of the moments of forces acting on the main, middle and final phalanx of each lever-grip of the mechanical arm of the IR is relative to O and has the form of:

$$\Sigma M_o = 0; \quad (2)$$

$$Pa(\varphi) = Rkb(\varphi) + fRc(\varphi) + mgl(\varphi), \quad (3)$$

where P – force required to reliably capture all the phalanges of each lever-grip of the upper part of the body of FE, N; R – the reaction force from the surface of the upper portion of the FE on the internal surface of each phalanx of each lever-grip, N; a, b, c and l – arms of the forces P and R relative to the hinge axis O of each phalanx of each lever-grip (not shown in figure 3), mm; f – coefficient of friction between the surfaces of the upper part of the FE and the internal surfaces of each phalanx of each lever-grip (as a rule, the coefficient of sliding friction between the surfaces of structural elements made of metals, for example steel, is equal to 0.5).

The force P of pressing each phalanx of each lever-grip to the surface of the upper part of the FE is determined by the formula:

$$P = (a(\varphi))^{-1} \{Rkb(\varphi) + fRc(\varphi) + mgl(\varphi)\}. \quad (4)$$

According to the statistical experimental data, obtained during the investigation of the operation of pressing each phalanx of each lever-grip to the surface of the upper part of FE, carried out under laboratory conditions, the following experimental relationship between the force P and the length of each phalanx of each lever-grip is obtained:

$$P(X) = 3,35X + 0,05, \quad (5)$$

where X – the distance between the point of the conventional axis of the hinge O, located between each two adjacent phalanges, and the contact point of the internal surface of each phalanx of each lever-grip with the bounding surface of the upper section of the FE, mm.

The graph of the relationship between the force P and the distance X between the point of the conventional axis of the hinge O and the contact point of the internal surface of each phalanx of each lever-grip with the bounding surface of the upper section of the FE is shown in figure 4.

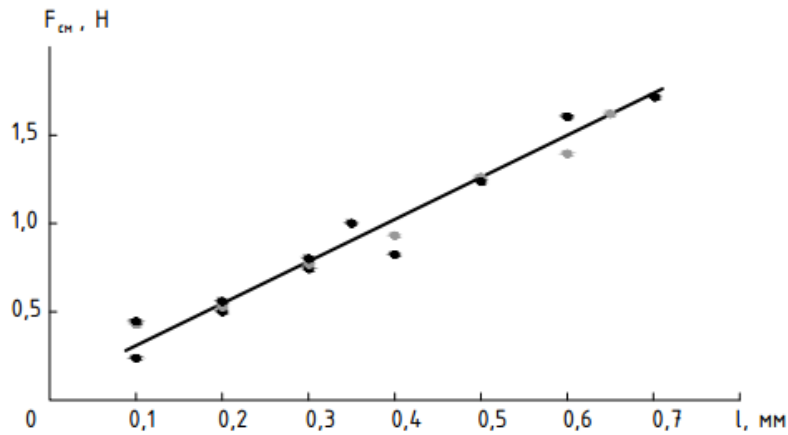


Figure 4 – Graph of the relationship between the force P and the distance X between the point of the conventional axis of the hinge O and the contact point of the internal surface of each phalanx of each lever-grip with the bounding surface of the upper section of the FE

In order to improve the accuracy of determining the geometric, structural kinematic and dynamic parameters of the three-phalangeal adaptive gripper of the IR manipulator, taking into account the stochastic processes of its interaction with the upper section of FE, the method of their estimation is proposed [21, 22].

The value of the force P, i.e. P_k , which interacts with the grip and the upper part of the body of FE, is determined from the following system of equations:

$$\begin{cases} P_{k+1} = P_k + u_k + \gamma_k; & (6) \\ z_k = P_k + \delta_k, & (7) \end{cases}$$

where P_k – value of the force P, determined taking into account the random error of its deviation in the "ideal model"; P_{k+1} – value of the force P, determined taking into account the random error of its deviation in the "ideal model" in another time interval; u_k – value of the force P, controlling the evolution of the matrix of the state of its change, which interacts with the grip and the upper part of the body of FE, which is determined analytically by the formula (3); z_k - value of the force P, determined experimentally taking into account the systematic error caused by the accuracy of the measuring instruments; γ_k and δ_k - respectively, the errors of the mathematical model of analytical calculation and the experimental determination of the force P, measured by technical means of measurement, and which are determined by formulas (6) and (7).

In this case, random errors caused by the deviation of the projected three-phalangeal adaptive mechanism for gripping the IR manipulator from its "ideal" model, and representing random errors, determined by the statistical moments $M\gamma_i$, which magnitude and distribution laws do not depend on time (iteration numbers i); the mean error values are equal to zero: $M\gamma_i = M\delta_i = 0$; the law of distribution of random variables may not be known, but their variances σ_γ^2 и σ_δ^2 are known; it is assumed that all random errors are independent.

It is assumed that the filtered value from the sensor P_i^{opt} is found at the i step, which approximates the true coordinate of the system x_i . The unknown value P_{i+1} is determined by the formula:

$$P_{i+1} = P_{i+1} + u_i + \gamma_i, \quad (8)$$

where u_i – value controlling the evolution of the state matrix of the change of force P.

Therefore, without getting a value from the sensor, it is assumed that at the step $i + 1$ the system evolves according to this law and the sensor will show a value close to the value of $P_i^{opt} + u_i$. On the other hand, at step $i + 1$ there is not an exact indication from the sensor z_{i+1} . The idea is to get the best approximation to the true coordinate P_{i+1} , the so-called "golden" middle is selected between the source z_{i+1} reading from the sensor $P_i^{opt} + u_i$, and its prediction. Kalman K weight coefficient is given to the reading from the sensor, and the predicted value $(1 - K) P_{i+1}^{opt}$ is determined by the formula:

$$P_{i+1}^{opt} = K \cdot z_{i+1} + (1 - K) \cdot (P_i^{opt} + u_i), \quad (9)$$

where K – Kalman weight coefficient, which value is chosen so that the resulting optimal value of the coordinate P_{i+1}^{opt} would be closest to the value of the true coordinate P_{i+1} . For example, if it is known that the readings from the sensor are very accurate, then the degree of confidence in it will be greater and the value z_{i+1} has a greater weight (K is close to 1). If, on the contrary, the sensor is completely inaccurate, then it is necessary to focus more on the theoretically predicted value $P_i^{opt} + u_i$. In general, in order to find the exact value of the Kalman coefficient, it is necessary to minimize the magnitude of random and systematic errors γ_i and δ_i .

In general, in order to find the accurate value of the Kalman coefficient, it is necessary to minimize the value:

$$e_{i+1} = P_{i+1} - P_{i+1}^{opt}. \quad (10)$$

After substituting in equation (9) of formula (8), are obtained:

$$e_{i+1} = (1 - K) \cdot (e_i + \gamma_i) - K \cdot \delta_{i+1}. \quad (11)$$

The average value of the mathematical expectation of the error squared is minimized:

$$M(e_{i+1}^2) \rightarrow \min. \quad (12)$$

The mathematical expectation of the square of the magnitude of the error in determining the force P of the interaction of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator with FE during its reloading from the intermediate container to the main container is determined by the formula:

$$M(e_{i+1}^2) = (1 - K)^2 (Me_i^2 + \sigma_\gamma^2) + K^2 \sigma_\delta^2. \quad (13)$$

This expression assumes a minimum value under the condition:

$$K_{i+1} = \frac{Me_i^2 + \sigma_\gamma^2}{Me_i^2 + \sigma_\gamma^2 + \sigma_\delta^2}. \quad (14)$$

In order to determine the Kalman weight coefficient, it is necessary to calculate the statistical moments of the random errors of the mathematical model and the systematic errors in measuring the force P of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator when it interacts with the upper part of the FE. Thus, an algorithm for solving the developed mathematical model, estimating the stochastic system of the dynamic process of interaction of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator with FE is implemented using an iterative formula for calculating the Kalman weight coefficient.

Calculation of the dependence of the correlation function of the random process of changing the force P on the parameters of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator, taking into account the stochastic processes of its interaction with FE, was made on a conditional example.

The results of the dependence of the values of the energy spectrum of the random process of changing the force P on the parameters of the three-phalangeal adaptive grip of IR and the stochastic processes of reloading of FE from the intermediate container to the main container are given in table 1.

The results of the dependence of the correlation function of the random process of changing the force P on the parameters of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator during stochastic processes of its interaction with FE, which is reloading from the intermediate container to the main container, are given in table 2.

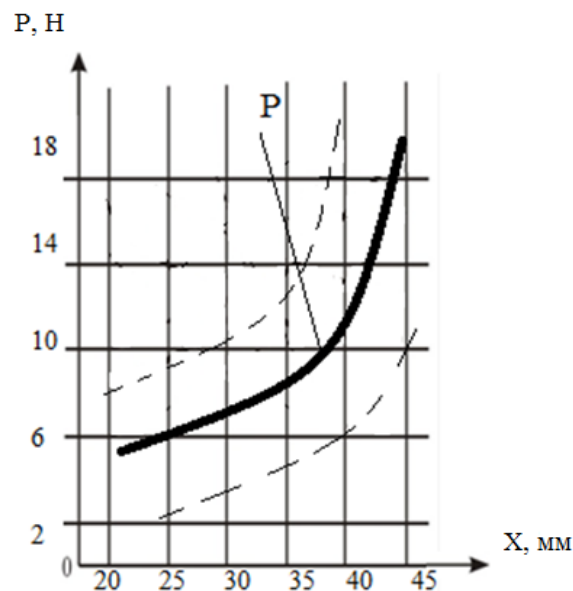
Table 1 – Results of the dependence of the values of the energy spectrum function of a random process of force variation P of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator during the stochastic processes of reloading of FE from the intermediate container to the main container

Indicators	Distance from the conventional axis of the hinge O of the connection of the adjacent located lever-grip phalanges to the contact point of the internal surface of all contacting phalanges of each lever-grip with the FE surface, X, mm				
	$X_1 = 25$	$X_2 = 30$	$X_3 = 35$	$X_4 = 40$	$X_5 = 45$
Energy spectrum ($W(\omega)$), $B^2 \cdot \text{sec/rad}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	$0,09 \cdot 10^{-2}$

Table 2 – Results of the dependence of the correlation function of the random process of changing the force P on the parameters of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator during stochastic processes of its interaction with FE, which is reloading from the intermediate container to the main container

Indicators	The period of the time for measuring the force P of the three-phalangeal adaptive grip of IR manipulator, τ , sec				
	$\tau_1 = 0$	$\tau_2 = 5$	$\tau_3 = 10$	$\tau_4 = 15$	$\tau_5 = 20$
The correlation function B (τ), (kN) for a given period of time of interaction of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator with the upper part of FE, τ , sec	2,82	2,2	1,04	0,3	0,05

The graph of the dependence of the energy spectrum of the random function of the change in the force P on the parameters of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator during the stochastic processes of interaction with FE reloading from the intermediate container to the main container, is shown in figure 5.



The change in the force P of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator during stochastic processes of reloading of FE from the intermediate, N container to the main container, H.

Distance from the conventional axis of the hinge O of the connection of the adjacent located lever-grip phalanges to the contact point of the internal surface of all contacting phalanges of each lever-grip with the FE surface, mm.

Figure 5 – Graph of dependence of force P on X

Conclusion.

1. This work presents the original mathematical model for calculating the parameters of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator for reloading FE from the intermediate container to the main container.

2. Mathematical methods of calculation and selection of structural, dimensional and mode parameters of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator are developed, taking into account the stochastic processes of its interaction with FE, which is reloaded from the intermediate container to the main container.

3. An innovative design of the three-phalangeal adaptive grip of the IR manipulator taking into account its interaction with FE is developed, which is used when it is transferred from the intermediate container to the main container.

**Т. Т. Қайым¹, В. Ф. Грибанов¹, Е. С. Темирбеков², С. Т. Каимов³,
Аб. Т. Каимов¹, А. Т. Каимов⁴, Г. Т. Каимова⁵, Д. Д. Абилдабекова¹**

¹Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан,

²Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,

³Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

⁴Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Казахстан,

⁵Казахский агро-технический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ИННОВАЦИОННОГО СХВАТА МАНИПУЛЯТОРА РОБОТА ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ТВЕРДЫХ ВЫСОКОРАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТЕЙНЕРА В ОСНОВНОЙ КОНТЕЙНЕР

Введение. По данным Всемирной атомной ассоциации в настоящий период времени во всех странах мира эксплуатируются 449 атомных реактора, еще 62 атомных реактора строятся и около 150 атомных реакторов запланированы для строительства. Мировым лидером в атомной энергетике являются США, где эксплуатируются более 100 атомных реакторов. Быстрее всех «мирный атом» развивает Китай. В Китае строятся 27 атомных реакторов, возведение еще 50 атомных реакторов запланировано в этой стране в будущий период времени.

При эксплуатации атомной электростанции (АЭС) образуются твердые высокорadioактивные отходы (ТВРАО), являющиеся тепловыделяющими элементами (ТВЭЛ-ами) тепловыделяющих сборок атомных реакторов. Радионуклиды, содержащиеся в ТВРАО, губительно действуют на биосферу Земли и резко ухудшают экологию окружающей среды. В настоящий период времени специалистами предусматривается осуществлять захоронение ТВРАО в подземных хранилищах (могильниках) ТВРАО. При осуществлении этой технологической операции ТВЭЛ-ы загружаются в промежуточный контейнер, который транспортируется от АЭС до сборочно-перегрузочного пункта (СПП), сооруженного возле подземного хранилища (могильника) ТВРАО. В СПП из промежуточного контейнера ТВРАО перегружаются в полость (полости), сформированную в теле основного контейнера (контейнеров), изготовленного из блока крепкой горной породы. Эту техническую операцию предусматривается осуществлять рабочим (рабочими) вручную с применением специальных приспособлений, когда он (они) находится непосредственно возле ТВРАО. Безусловно, при выполнении этой операции не обеспечивается требуемая безопасность труда рабочего (рабочих).

В настоящий период времени нами созданы инновационный способ перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы, реализацию которого предусматривается осуществлять с применением инновационного схвата манипулятора промышленного робота (ПР) и инновационная конструкция трехфалангового адаптивного схвата – захватного устройства манипулятора ПР. Инновационная конструкция трехфалангового адаптивного схвата манипулятора состоит из следующих конструктивных элементов: плитка-основание для крепления фаланг – рычагов-схватов, которая прикрепляется крепежным рычагом к конечной части манипулятора. Каждый схватывающий гибкий рычаг – схват состоит, например, из 3-х фаланг: основной, средней и конечной. Все фаланги между собой соединяются шарнирами. Нижнее основание каждой основной фаланги схватывающего гибкого рычага – схвата крепится шарнирно к плитке – основанию. Между всеми смежнорасположенными фалангами каждого рычага – схвата устанавливаются стягивающие пружины. На участках внутренней поверхности каждой фаланги каждого рычага – схвата укрепляются удерживающие зубья.

Для научно-обоснованного выбора и обоснования конструктивных, геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров инновационного схвата манипулятора ПР

разработана эффективная математическая модель их расчета с учетом стохастических процессов его взаимодействия с объектом, т.е. с ТВЭЛ-ом. Точность определения геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР с учетом стохастических процессов взаимодействия его с верхним участком ТВЭЛ-а достигается оценки на основе определения оптимального весового коэффициента Калмана.

Идея работы. В настоящий период времени специалистами создан инновационный способ перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. из промежуточного контейнера с ТВРАО в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы, реализацию которого предусматривается осуществлять с применением инновационного схвата манипулятора ПР.

Для научно-обоснованного выбора и обоснования конструктивных, геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров инновационного схвата манипулятора ПР разработана эффективная математическая модель их расчета с учетом стохастических процессов его взаимодействия с объектом, т.е. с ТВЭЛ-ом [1-4].

Инновационный дистанционно управляемый мобильный ПР (рисунок 1) с инновационным адаптивным исполнительным механизмом схвата состоит из опорных стоек 1, горизонтальной перекладины 2, средства передвижения 3 (колесное, гусеничное, шагающее и т.д.), к которому прикреплен манипулятор 4 ПР, имеющий несколько степеней свободы подвижности, подобно человеческой руке. К конечной части манипулятора 4 ПР прикрепляется инновационный схват 5. Инновационным схватом 5 ТВЭЛ 6 извлекается из промежуточного контейнера 7 и перегружается в основной контейнер 8.

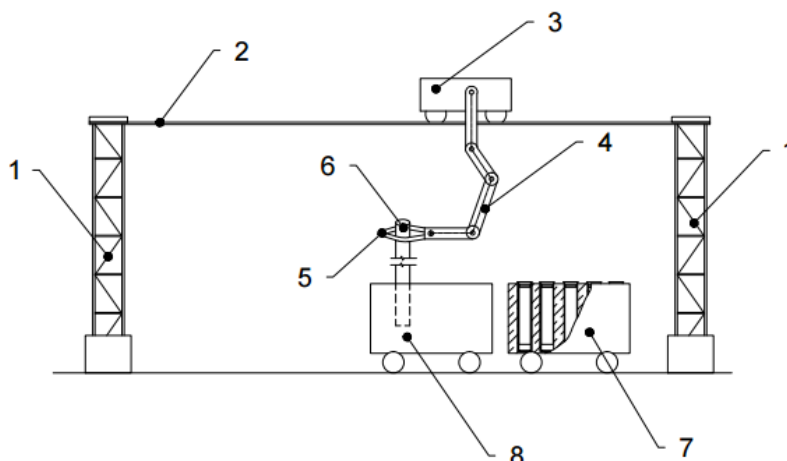


Рисунок 1 – Схема перегрузки тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ-а) ТВРАО из промежуточного контейнера в основной контейнер с применением инновационного схвата манипулятора промышленного робота (ПР): 1 – опорная стойка; 2 – горизонтальная перекладина; 3 – средство передвижения; 4 – манипулятор; 5 – инновационный схват; 6 – тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ); 7 – промежуточный контейнер; 8 – основной контейнер

На основе анализа работ [5-18] предлагается инновационная конструкция трехфалангового адаптивного схвата – захватного устройства (ЗУ) манипулятора ПР. Инновационная конструкция (рисунок 2) трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора состоит из следующих конструктивных элементов: плитка-основание 1 для крепления фаланг – рычагов-схватов, которая прикрепляется крепежным рычагом 2 к конечной части манипулятора.

ЗУ состоит из нескольких конструктивных элементов, так называемых схватывающих гибких рычагов – схватов, кинематическая схема работы каждого из которых условно отождествляется с функционированием отдельного пальца руки человека. Каждый схватывающий гибкий рычаг – схват состоит, например, из 3-х фаланг: основной 3, средней 4 и конечной 5. Все фаланги 3 – 5 между собой соединяются шарнирами 6. Нижнее основание каждой основной фаланги 3 схватывающего гибкого рычага – схвата крепится шарнирно к плитке – основанию 1. Между всеми смежно-расположенными фалангами 3 – 5 каждого рычага - схвата устанавливаются стягивающие пружины 7. На участках внутренней поверхности каждой фаланги 3 – 5 каждого рычага – схвата укрепляются удерживающие зубья 8.

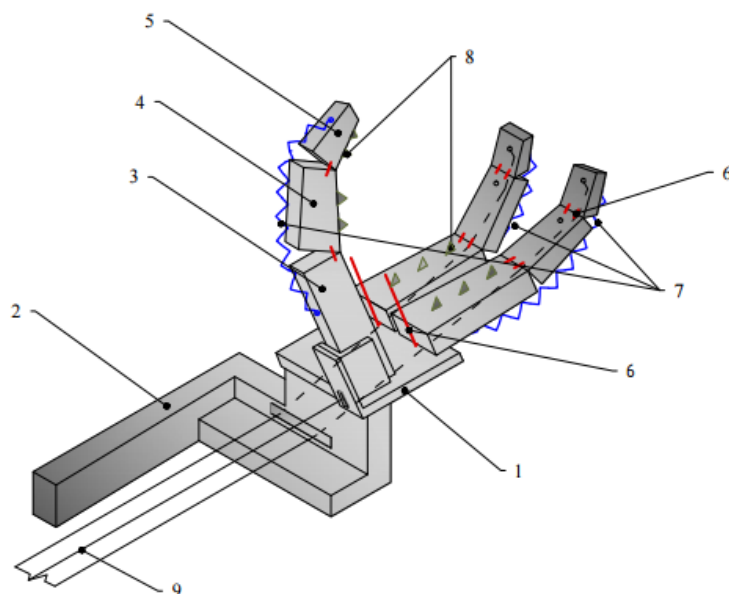


Рисунок 2 – Трехфаланговый адаптивный схват манипулятора ПР для перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов из промежуточного контейнера в основной контейнер для ТВРАО при захоронении его в подземном хранилище (могильнике) ТВРАО: 1 – плитка-основание для крепления основной фаланги рычага-схвата; 2 – крепежный рычаг манипулятора; 3- основная фаланга; 4 – средняя фаланга; 5 – конечная фаланга; 6 – шарнир крепления смежных фаланг между собой; 7 – стягивающая пружина; 8 – удерживающий зуб; 9 – гибкий тяговый элемент

Захватывание предмета, например, ТВЭЛ-а, предназначенного для перемещения из промежуточного контейнера в основной контейнер для ТВРАО, осуществляется следующим образом. Схватывающие гибкие рычаги – схваты, например, три схватывающих гибких рычага – схвата позиционируются «рукой» манипулятора ПР над верхним участком ТВЭЛ-а, находящегося в промежуточном контейнере. Затем они перемещаются сверху вниз на тело верхнего участка ТВЭЛ-а и фиксируются напротив него таким образом, чтобы он был расположен между схватывающими гибкими рычагами – схватами. В зависимости от конкретных условий, например, с одной стороны ТВЭЛ-а будут расположены два схватывающих гибких рычага - схвата, а с противоположной стороны его – один схватывающий гибкий рычаг - схват. В теле каждой фаланги 3 – 5 каждого рычага - схвата формируется отверстие, продольная ось которого совпадает с продольной осью фаланги. После соединения всех фаланг 3 – 5 между собой шарнирами 6, в каждой из них размещается гибкий тяговый элемент 9. Первый гибкий тяговый элемент 9 размещается в отверстиях фаланг 3 - 5 от верхнего основания конечной фаланги 5, проходя вдоль нее в отверстиях, сформированном в средней фаланге 4, в отверстиях, сформированном в основной фаланге 3, и противоположный его конец размещается за ее пределами. Конец второго гибкого тягового элемента 9 закрепляется в верхней части средней фаланги 4, размещается в отверстиях, сформированном в теле основной фаланги 3, и противоположный конец его размещается за ее пределами. Конец третьего гибкого тягового элемента 9 закрепляется в верхней части основной фаланги 3, устанавливается в отверстиях, сформированном в теле ее, и противоположный конец его размещается за ее пределами. Каждый противоположно расположенный конечный участок гибкого тягового элемента 9 закрепляется на специальном приводе, установленном в пункте управления манипулятором ПР.

Аналогичным образом устанавливаются гибкие тяговые элементы 9 во всех других схватывающих гибких рычагах – схватах [19, 20].

В зависимости от конкретных условий в полости, сформированной в основном контейнере, могут быть размещены один, два и более ТВЭЛ-ов и/или их части и др. Размещение ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. в других полостях, сформированных в основном контейнере, предусматривается осуществлять аналогичным образом.

При осуществлении технологической операции захватывания схватывающими гибкими рычагами – схватами тела ТВЭЛ-а оператором на пункте управления специальным приводом

осуществляется натяжение всех гибких тяговых элементов 9 схватывающих гибких рычагов – схватов для осуществления прижатия внешних поверхностей всех фаланг 3-5 схватывающих гибких рычагов – схватов к телу ТВЭЛ-а и обеспечения требуемого усилия взаимодействия между соответствующими поверхностями всех фаланг 3-5 схватывающих гибких рычагов-схватов и боковыми поверхностями верхнего участка ТВЭЛ-а для его надежного удержания и базирования.

Затем манипулятором ПР ТВЭЛ поднимается вверх из промежуточного контейнера и манипулятор ПР с ТВЭЛ-ом перемещается по транспортному пути до места установки основного контейнера, размещенного на СПП. Он устанавливается над соответствующей полостью, сформированной в основном контейнере, таким образом, чтобы нижнее основание ТВЭЛ-а совмещалось с участком верхнего основания полости, сформированной в основном контейнере.

В следующую очередь, оператор, находясь на пункте управления, дистанционно освобождает концы гибких тяговых элементов 9 от закрепления на специальном приводе в пункте управления. Схватывающие гибкие рычаги – схваты под действием силы упругости специальных упругих элементов - пружин 7 отодвигаются от тела ТВЭЛ-а. При этом ТВЭЛ под действием собственного веса опускается в полость, сформированную в основном контейнере. Под действием силы упругости пружин 7 каждый схватывающий гибкий рычаг – схват выпрямляется и продольная ось каждого из них занимает горизонтальное и/или практически горизонтальное положение, возвращаясь в исходное нерабочее состояние.

Для повышения эффективности размещения ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. в полости, сформированной в основном контейнере, в ней предварительно устанавливается специальный направляющий элемент, например, воронка, изготовленная из металла и/или пластика и др.

Применение данной технологической схемы перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. из промежуточного контейнера в основной контейнер позволяет обеспечить высокую степень безопасности захоронения ТВРАО и безопасные условия работы персонала.

Для выбора и обоснования оптимальных структурно-кинематических параметров конструктивных элементов манипулятора ПР с схватывающим гибким рычагом - схватом разработаны научные основы имитационного моделирования функционирования многофункционального схватывающего гибкого рычага - схвата манипулятора ПР, адаптирующегося к размерам и формам ТВЭЛ-а, для его безопасной перегрузки в основной контейнер; математический метод построения оптимального варианта конструкции схватывающего гибкого рычага - схвата манипулятора ПР для перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. на основе решения минимаксной задачи определения его оптимальных параметров при составлении свертски систем ограничений в обобщенный их критерий для обеспечения надежного удерживания ТВЭЛ-а схватывающими гибкими рычагами-схватами манипулятора ПР; математическая модель моделирования стохастических процессов работы высокоэффективного и надежного схватывающего гибкого рычага – схвата манипулятора ПР для перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. в основной контейнер; программное обеспечение дистанционного управления работой схватывающего гибкого рычага – схвата манипулятора ПР для перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. в основной контейнер с использованием сетевых протоколов и создание его имитационной модели.

Сила прижатия внешних внутренних поверхностей каждой фаланги 3 – 5 каждого рычага-схвата к внешней ограничивающей поверхности верхнего участка тела ТВЭЛ-а 10 (рисунок 3) определяется по следующей формуле:

$$F = K \cdot G,$$

где P – сжимающее усилие, Н; K – коэффициент запаса, зависящий от характеристик материалов конструктивных элементов рычага-схвата; G – масса перегружаемого ТВЭЛ-а 10, кг.

Для освобождения верхнего участка тела ТВЭЛ-а 10 от каждой фаланги 3-5 каждого рычага-схвата на пульте управления (на рисунке 3 не показано) механической рукой манипулятора ПР каждый конечный участок гибкого тягового элемента 9 освобождается от натяжения (фиксации) на приводе пункта управления. При этом усилие прижатия каждой фаланги 3 – 5 каждого рычага-схвата к верхнему участку тела ТВЭЛ-а 10 становится равной нулю. Под действием силы упругости сжимающе-разжимающей пружины 7 и/или сжимающе-разжимающих пружин 7 внешние внутренние поверхности каждой фаланги 3-5 каждого рычага-схвата отодвигаются от внешней ограничивающей поверхности верхней части ТВЭЛ-а 10.

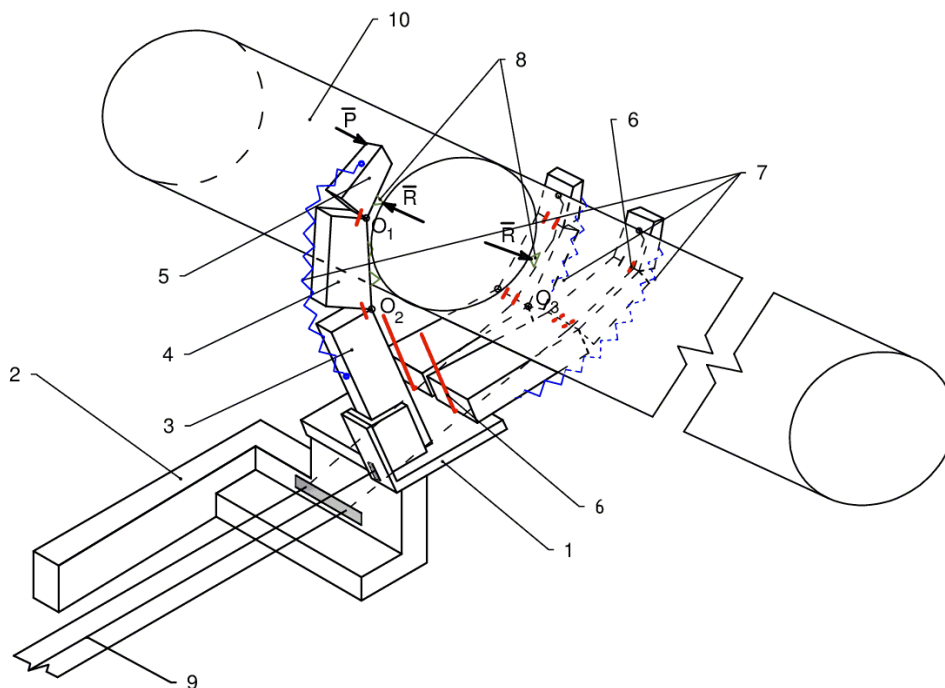


Рисунок 3 – Трехфланговый адаптивный схват манипулятора робота для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера в основной контейнер для ТВРАО при захоронении его в хранилище (могильнике) ТВРАО:

- 1 – плитка-основание для крепления основной фланги рычага-схвата; 2 – крепежный рычаг манипулятора; 3 – основная фланга; 4 – средняя фланга; 5 – конечная фланга; 6 – шарнир крепления смежных фланг между собой; 7 – стягивающая пружина; 8 – удерживающий зуб; 9 – гибкий тяговый элемент, 10 – ТВЭЛ

Из уравнения равновесия всех сил, действующих на схват механической руки ПР, определяется сила, необходимая для смыкания всех фланг каждого рычага-схвата вокруг верхнего участка тела ТВЭЛ-а.

Уравнение моментов сил, действующих на основную, среднюю и конечную флангу каждого рычага-схвата механической руки ПР относительно O , имеет вид:

$$\sum M_O(\varphi) = 0; \quad (1)$$

$$Pa(\varphi) = Rk_1b(\varphi) + fRc(\varphi) + mgl(\varphi), \quad (2)$$

где P – сила, требуемая для надежного захвата всеми флангами каждого рычага-схвата верхнего участка тела ТВЭЛ-а; H ; R – сила реакции со стороны поверхности верхнего участка ТВЭЛ-а на внутреннюю поверхность каждой фланги каждого рычага-схвата, H ; a , b , c и l – плечи действия сил P и R относительно оси шарнира O каждой фланги каждого рычага-схвата (на рисунке 3 не показано), мм; f – коэффициент трения между поверхностями верхнего участка ТВЭЛ-а и внутренними поверхностями каждой фланги каждого рычага-схвата (как правило, величина коэффициента трения скольжения между поверхностями конструктивных элементов, изготовленных из металлов, например, стали, равна 0,5).

Сила P прижатия каждой фланги каждого рычага-схвата к поверхности верхнего участка ТВЭЛ-а определяется по формуле:

$$P = (a(\varphi))^{-1}\{Rk_1b(\varphi) + fRc(\varphi) + mgl(\varphi)\}. \quad (3)$$

По статистическим экспериментальным данным, полученными при исследовании операции прижатия каждой фланги каждого рычага-схвата к поверхности верхнего участка ТВЭЛ-а, проведенных в лабораторных условиях, получена следующая экспериментальная зависимость между силой P и величиной длины каждой фланги каждого рычага-схвата:

$$P(X) = 3,35X + 0,05, \quad (4)$$

где X – расстояние между точкой условной оси шарнира O , расположенного между каждыми двумя смежными фалангами, и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги каждого рычага-схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка ТВЭЛ-а, мм.

График зависимости между силой P и расстоянием X между точкой условной оси шарнира O и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги каждого рычага-схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка ТВЭЛ-а приведен на рисунке 4.

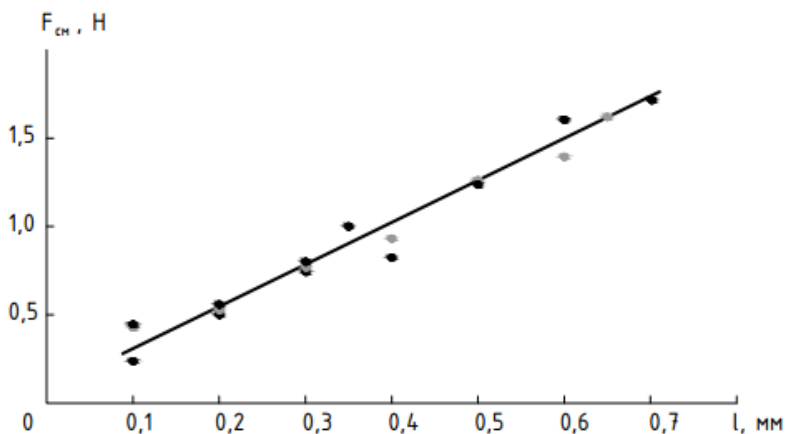


Рисунок 4 – График зависимости между силой P и расстоянием X между точкой условной оси шарнира O и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги каждого рычага-схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка ТВЭЛ-а

Для повышения точности определения геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров трехфалангового адаптивного схвата- манипулятора ПР с учетом стохастических процессов взаимодействия его с верхним участком ТВЭЛ-а предлагается метод их оценки [21, 22].

Величина силы P , т.е. x_k , с которой схват взаимодействует с верхним участком тела ТВЭЛ-а, определяется из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + u_k + \gamma_k; \\ z_k = x_k + \delta_k, \end{cases} \quad (5)$$

где x_k – величина силы P , определяемая с учетом случайной ошибки ее отклонения в «идеальной модели»; x_{k+1} – величина силы P , определяемая с учетом случайной ошибки ее отклонения в «идеальной модели» в другом временном интервале; u_k – величина силы P , контролирующая эволюцию матрицы состояния изменения ее, с которой схват взаимодействует с верхним участком тела ТВЭЛ-а, которая определяется аналитически по формуле (3); z_k – величина силы P , определяемая экспериментально с учетом систематической ошибки, обуславливаемой точностью измерительных приборов; γ_k и δ_k – соответственно, ошибки математической модели аналитического расчета и экспериментального определения силы P , измеряемые техническими средствами измерения, и которые определяются по формулам (3) и (4).

При этом случайные ошибки, вызванные отклонением спроектированного трехфалангового адаптивного механизма схвата-манипулятора ПР от его «идеальной» модели, и представляющие собой случайные ошибки, определяются статистическими моментами $M\gamma_i$, величины которых и их законы распределения не зависят от времени (номера итерации i); средние значения ошибок равны нулю: $M\gamma_i = M\delta_i = 0$; сам закон распределения случайных величин может быть и не известен, но известны их дисперсии σ_γ^2 и σ_δ^2 ; предполагается, что все случайные ошибки независимы.

Предполагается, что на i -ом шаге найдено отфильтрованное значение с сенсора x_i^{opt} , которое приближает истинную координату системы x_i . Неизвестная величина x_{i-1} определяется по формуле:

$$x_{i+1} = x_i + u_i + \gamma_i, \quad (7)$$

где u_i – величина, контролирующая эволюцию матрицы состояния изменения силы P .

Поэтому, еще не получая значение с сенсора, полагается, что на шаге $i+1$ система эволюционирует согласно этому закону и с сенсор покажет величину близкую к значению $x_i^{opt} + u_i$. С другой стороны, на шаге $i+1$ имеется не точное показание с сенсора z_{i+1} . Идея состоит в том, чтобы получить наилучшее приближение к истинной координате x_{i+1} выбирается так называемая «золотая» середина между показанием z_{i+1} источника с сенсора и $x_i^{opt} + u_i$, являющимся его предсказанием. Показанию с сенсора дается весовой коэффициент Калмана K , а на предсказанное значение $(1 - K)$ величина x_{i+1}^{opt} определяется по формуле:

$$x_{i+1}^{opt} = K \cdot z_{i+1} + (1 - K) \cdot (x_i^{opt} + u_i), \quad (8)$$

где K – весовой коэффициент Калмана, величина которого выбирается такой, чтобы получившееся оптимальное значение координаты x_{i+1}^{opt} было бы наиболее близко к величине истинной координаты x_{i+1} . Например, если известно, что показания с сенсора очень точные, то степень доверия к нему будет больше и значение z_{i+1} имеет больший вес (K близко единице). Если же сенсор, наоборот, неточный, тогда необходимо больше ориентироваться на теоретически предсказанное значение $x_i^{opt} + u_i$. В общем случае, чтобы найти точное значение коэффициента Калмана необходимо минимизировать величину случайных и систематических ошибок γ_i и δ_i .

В общем случае, чтобы найти точное значение коэффициента Калмана необходимо минимизировать величину:

$$e_{i+1} = x_{i+1} - x_{i+1}^{opt}. \quad (9)$$

После подстановки в уравнение (9) формулы (8) получается:

$$e_{i+1} = (1 - K) \cdot (e_i + \gamma_i) - K \cdot \delta_{i+1}. \quad (10)$$

Минимизируется среднее значение математического ожидания от квадрата ошибки:

$$M(e_{i+1}^2) \rightarrow \min. \quad (11)$$

Математическое ожидание квадрата величины ошибки определения силы P взаимодействия трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР с ТВЭЛ-ом при его перегрузке из промежуточного контейнера в основной контейнер определяется по формуле:

$$M(e_{i+1}^2) = (1 - K)^2 (M e_i^2 + \sigma_\gamma^2) + K^2 \sigma_\delta^2. \quad (12)$$

Это выражение принимает минимальное значение при условии:

$$K_{i+1} = \frac{M e_i^2 + \sigma_\gamma^2}{M e_i^2 + \sigma_\gamma^2 + \sigma_\delta^2}. \quad (13)$$

Для определения весового коэффициента Калмана необходимо вычислить статистические моменты случайных ошибок математической модели и систематических ошибок измерений силы P трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР при взаимодействии его с верхним участком ТВЭЛ-а. Таким образом, реализуется алгоритм решения разработанной математической модели, оценки стохастической системы динамического процесса взаимодействия трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР с ТВЭЛ-ом с использованием итерационной формулы для вычисления весового коэффициента Калмана.

Расчет зависимости функции корреляции случайного процесса изменения силы P от параметров трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР с учетом стохастических процессов его взаимодействия с ТВЭЛ-ом произведен на условном примере.

Результаты зависимости значений энергетического спектра случайного процесса изменения силы P от параметров трехфалангового адаптивного схвата ПР и стохастических процессов перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера в основной контейнер приведены в таблице 1.

Результаты зависимости функции корреляции случайного процесса изменения силы P от параметров трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР при осуществлении стохастических процессов его взаимодействия с ТВЭЛ-ом, перегружаемого из промежуточного контейнера в основной контейнер, приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты зависимости значений функции энергетического спектра случайного процесса изменения силы Р трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР при осуществлении стохастических процессов перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера в основной контейнер

Показатели	Расстояние от условной оси шарнира О соединения смежнорасположенных фаланг рычага-схвата до точки контакта внутренней поверхности всех контактирующих фаланг каждого рычага-схвата с поверхностью ТВЭЛ-а, X, мм				
	X ₁ = 25	X ₂ = 30	X ₃ = 35	X ₄ = 40	X ₅ = 45
Энергетический спектр (W(ω)), В ² ·с/рад	5·10 ⁻²	3,9·10 ⁻²	1,8·10 ⁻²	0,5·10 ⁻²	0,09·10 ⁻²

Таблица 2 – Результаты зависимости функции корреляции случайного процесса изменения силы Р от параметров трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР при осуществлении стохастических процессов его взаимодействия с ТВЭЛ-ом, перегружаемого из промежуточного контейнера в основной контейнер

Показатели	Продолжительность периода времени измерения силы Р трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР, τ, с				
	τ ₁ = 0	τ ₂ = 5	τ ₃ = 10	τ ₄ = 15	τ ₅ = 20
Функция корреляции В(τ), (кН) в заданный период времени взаимодействия трехфалангового адаптивного схвата- манипулятора ПР с верхним участком ТВЭЛ-а, τ, с	2,82	2,2	1,04	0,3	0,05

График зависимости энергетического спектра случайной функции изменения силы Р от параметров трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР при осуществлении стохастических процессов его взаимодействия с ТВЭЛ-ом, перегружаемого из промежуточного контейнера в основной контейнер, приведен на рисунке 5.

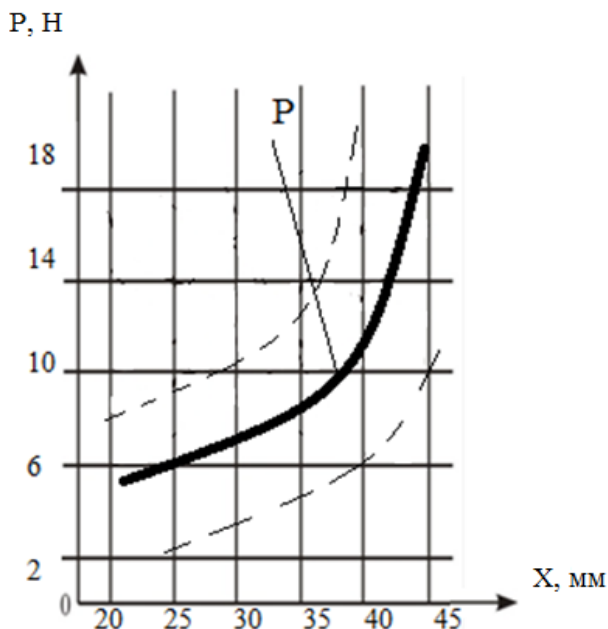


Рисунок 5 – График зависимости силы Р от X

Изменение силы Р трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР при осуществлении стохастических процессов перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера в основной контейнер, Н.

Расстояние от условной оси шарнира О соединения смежнорасположенных фаланг рычага-схвата до точки контакта внутренней поверхности всех контактирующих фаланг каждого рычага-схвата с поверхностью ТВЭЛ-а, мм.

Выводы:

1. В данной работе представлена оригинальная математическая модель расчета параметров трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР для перегрузки ТВЭЛ-а из промежуточного контейнера в основной контейнер.

2. Разработаны математические методы расчета и выбора структурных, размерных и режимных параметров трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР с учетом стохастических процессов его взаимодействия с ТВЭЛ-ом, перегружаемого из промежуточного контейнера в основной контейнер.

3. Создана инновационная конструкция трехфалангового адаптивного схвата-манипулятора ПР с учетом его взаимодействия с ТВЭЛ-ом, применяемого при перегрузке его из промежуточного контейнера в основной контейнер.

REFERENCES

- [1] Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation // Kluwer. Springer, Dordrecht, 2004 (ISBN 1-4020-1810-X).
- [2] Bautista Paz E., Bernardos Rodriguez R., Ceccarelli M., et al Breve historia ilustrada de las maquinas // ETSII, Madrid, 2007 (ISBN 978-84-7484-200-5).
- [3] Lopez-Cajun C.S., Ceccarelli M. Mecanismos: Fundamentos cinematicos para el diseno y la optimizacion de la maquinaria // Trillas, Ciudad de Mexico, 2008 (ISBN 978-968-24-8181-9); 2nd Edition 2013.
- [4] Bautista Paz E., Ceccarelli M., Echavarrri Otero J., Munoz Sanz, J.J. A brief illustrated history of machines and mechanisms, Science and Engineering // Book series on History of Machines and Machine Science. Vol. 10. Springer, Dordrecht, 2010. DOI 10.1007/978-90-481-2512-8. ISBN: 978-90-481-2511-1.
- [5] Trubyn I.A. Analysis of processes of grasping and letting go of the parts gripper of the manipulator. Proc. LPI. L., 1982. N 382. P. 88-94.
- [6] Kolpashnikov S.N., Chelpanov I.B. Objectives of engineering evaluation of tongs robots // Actual issues of application of industrial robots for industrial automation. Vladimir: VDNTI, 1980. P. 10-12.
- [7] Gripping devices of industrial robots. Methodical recommendations. M.: VNIMS, 1982. 55 p.
- [8] Chelpanov I.B., Kolpashnikov S.N. Tongs for industrial robots. L.: Mechanical Engineering, 1989. 287 p.
- [9] Mechanics of industrial robots: a textbook for technical colleges: In 3 books / Ed. by K.V. Frolov, E.I. Vorobyov. M.: Higher. sch., 1988. 304 p.
- [10] System tactile sensing and adaptive industrial robots / Ed. by E.P. Popov, V.V. Klyuyev. M.: Mechanical Engineering, 1985. 256 p.
- [11] Dynamics control of robots / V.V. Kozlov, V.P. Makarychev, A.V. Timofeev and others. M.: Science, 1984. 336 p.
- [12] Manipulation robot system / Ed. by A. M. Korendyaseva. M., 1989. 472 p.
- [13] Tasks and methods of adaptive control when grasping and holding objects tongs robots // Proc.6-th all-Union conference on control in mechanical systems. Lviv, 1988.
- [14] Dvornikov L.F., Duplex Yu.C. Sasinkova manipulator with a closed kinematic chain. The description of the patent № 2532751, RU. MPK B25J 9/02, F16H 21/14. 10.09.2014. N 25. 5 p.
- [15] Kushmanov E.A., Kushmanova L.E., Konuhov V.P., Sazhko V.A., E.P. Itopic Manipulator. Description of the invention to author's certificate № 1355485. SU. MPK 4B25 J 18/00. 30.11.1987. N 44. 5 p.
- [16] Smirnov A.B., Krushinsky I.A., Borisevich V.A. Piezoelectric gripper. The description of the patent № 2529126. RU. MPK B25J 15/08, B25J 7/00. 27.09.2014. N.№27. 9 p.
- [17] Kashioka et al. An approach to the integrated intelligent robot with multiple sensory. Visual recognition techniques // 7th Symp on Ind. Robots. Tokyo, 1977.
- [18] It's quafe F. Interaction of the robot with the external environment / Per. F.R. M.: Mir, 1985. 285 p.
- [19] Kayim T.T. Adaptable multi-purpose working bodies of building and road machines. Almaty, 1998. 148 p.
- [20] Kayim T.T., Seytbatolov S.M., Sakaev E.I. Mechanization of reloading work on transport. Almaty, 2002. 323 p.
- [21] Abylay Kaimov, etc. Mathematical model of stochastic processes highly efficient soil destruction (placer and peat) is an innovative dozer blade. International journal // The Search. International scientific journal-the application of the Republic of Kazakhstan. Almaty, 2016. P. 253-259.
- [22] Abilay Kaimov, etc. Mathematical model of increase of authenticity of assessment of the empirical data with the destruction of the soil innovative dozer blade with removable cutting with a knife // International scientific journal-the application of the Republic of Kazakhstan. Almaty, 2016. P. 240-247.

Т. Т. Қайым¹, В. Ф. Ғрибанов¹, Е. С. Темирбеков², С. Т. Каимов³,
Аб. Т. Каимов¹, А. Т. Каимов⁴, Г. Т. Каимова⁵, Д. Д. Абилдабекова¹

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

²Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,

³Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

⁴Есептеу және ақпараттық технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

⁵С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан,

**РОБОТ МАНИПУЛЯТОРДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ СХВАТ МЕХАНИЗМІНІҢ
ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚАТТЫ АСА ЖОҒАРЫ РАДИОАКТИВТІ
ЖЫЛЫ ШЫҒАРАТЫҢ ЭЛЕМЕНТ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ҚАЙТА ТИЕУ КЕЗІНДЕГІ
ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ СТОХАСТИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ
ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛДЕУ**

Аннотация. Оңтайлы және квази-оңтайлы алгоритмдердің рекуррентті бағалау кинематикалық және динамикалық параметрлерін атқарушы механизмдері жаңашыл идея болып табылады. Механизмнің кейбір бөлшектері, кинематикалық және динамикалық параметрлерін мульти-жетек болып табылатын жұмысына инновациялық тегігін қармауын дамыту және кездейсоқ ауытқу шамаларын оңтайлы әдістерін қарастыру.

Мақала бірнеше ғылыми жетістіктер мен маңыздылықтарды қамтиды. Ол өз қатарынан жобаны бірігіп жоспарлау аясында қоршаған ортамен (аса белсенді қатты қалдықтар) қармау механизмінің геометрикалық, кинематикалық, динамикалық параметрлерімен өзара қарым-қатынасы.

Түйін сөздер: математикалық модель, робот, контейнер, радиоактивті қалдықтар, жүк тиегіш.

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

<http://geolog-technical.kz/index.php/kz/>

Верстка *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 12.04.2017.

Формат 70x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

16,7 п.л. Тираж 300. Заказ 2.