



Математическая модель инновационного схвата манипулятора робота для высокорadioактивных тепловыделяющих элементов

Талгат КАЙЫМ¹, Асылбек ДЖОМАРТОВ², Ербол ТЕМИРБЕКОВ², Петр ПАВЛЕНКО³,
Виталий ГРИБАНОВ¹, Сулеймен КАИМОВ², Абылай КАИМОВ²,
Дарига АБИЛДАБЕКОВА¹, Гулназия КАИМОВА⁴

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева
Алматы, Республика Казахстан, ул.Сатпаева, 22 А
Email: kayim4444@mail.ru

²Институт механики и машиноведения им. У.А.Джолдасбекова, Алматы, Республика Казахстан

³Национальный университет авиации, Киев, Украина

⁴Казахский агро-технический университет имени С.Сейфуллина Астана, Республика Казахстан

Аннотация

В данной работе специалистами предлагаются инновационные способы перегрузки тепловыделяющего элемента и/или тепловыделяющих элементов и др. из промежуточного контейнера с твердыми высокорadioактивными отходами в полость (полости) основного контейнера, изготовленного из блока крепкой горной породы, реализацию которого предусматривается осуществлять с применением мирового уровня инновационной конструкции трехфалангового захватного устройства схвата манипулятора промышленного робота

Ключевые слова: контейнер, фаланга, схват, удерживающий зуб, тепловыделяющий элемент.

1. 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 специалистами 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 мирового уровня инновационного схвата манипулятора промышленного робота (ПР) и инновационная конструкция трехфалангового адаптивного схвата-захватного устройства манипулятора ПР.

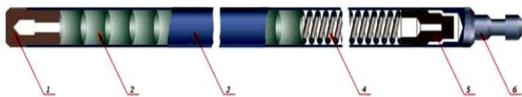
Для научно-обоснованного выбора и обоснования геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров конструктивных

элементов инновационного схвата манипулятора ПР разработана математическая модель их расчета с учетом стохастических процессов их взаимодействия с объектом, т.е. с ТВЭЛ-ом. Точность оценки определения геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров конструктивных элементов трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР с учетом стохастических процессов взаимодействия его с верхним участком тела ТВЭЛ-а производится на основе определения оптимального весового коэффициента Калмана [1-4].

2. Основное содержание

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.

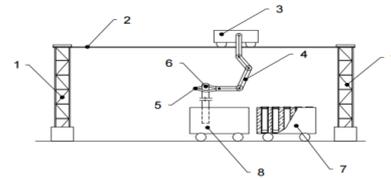
Конструкция ТВЭЛ-а, например, реактора РБМК приведена на фигуре 1.



Фиг. 1. Конструкция ТВЭЛ-а реактора РБМК: 1- заглушка; 2- таблетки диоксида урана; 3- оболочка из циркония; 4- пружина; 5- втулка; 6- наконечник

В холодном состоянии общая длина столба таблеток в ТВЭЛ-е составляет 3530 мм. Длина трубки ТВЭЛ-а равна 3800 мм. Положение столба топливных таблеток фиксируется разрезными втулками из нержавеющей стали и пружиной, не препятствующими тепловым перемещениям [5-6].

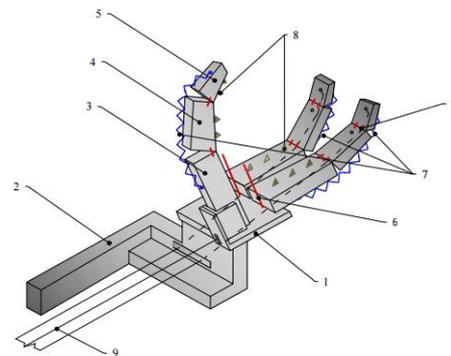
Инновационный дистанционно управляемый мобильный ПР (фигура 2) с инновационным адаптивным исполнительным механизмом схвата состоит из опорных стоек 1, горизонтальной перекладки 2, средства передвижения 3 (колесное, гусеничное, шагающее и т.д.), к которому прикреплен манипулятор 4 ПР, имеющий несколько 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.



Фиг. 2. Схема перегрузки ТВЭЛ-а ТВРАО из промежуточного контейнера в основной контейнер с применением инновационного схвата манипулятора 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 [7-26] специалистами создана мирового уровня инновационная конструкция трехфалангового адаптивного схвата - захватного устройства (ЗУ) манипулятора ПР.

Инновационная конструкция (фигура 3) трехфалангового адаптивного схвата манипулятора состоит из следующих конструктивных элементов: плитка-основание 1 для крепления фланг – рычагов схвата, которая прикрепляется крепежным рычагом 2 к конечной части манипулятора.



Фиг. 3. 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 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.

ЗУ состоит из нескольких конструктивных элементов, так называемых схватывающих гибких рычагов схвата, кинематическая схема работы каждого из которых условно отождествляется с



функционированием отдельного пальца руки человека. Каждый схватывающий гибкий рычаг схвата 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 смежнорасположенными 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.

Захватывание предмета, например, ТВЭЛ-а, предназначенного для перемещения его из промежуточного контейнера в основной контейнер для ТВРАО, осуществляется следующим образом. Схватывающие гибкие рычаги схвата, например, три схватывающих гибких рычага схвата позиционируются «рукой» манипулятора ПР над верхним участком тела 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 схвата. В зависимости от конкретных условий, например, с одной стороны верхнего участка тела ТВЭЛ-а будут расположены два схватывающих гибких рычага схвата, а с противоположной стороны его – один схватывающий гибкий рычаг схвата. 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 каждого рычага схвата, 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 отверстии, сформированном в средней фаланге 4, в отверстии, 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 отверстии, 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 отверстии, 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 фалангах 3-5 других схватывающих гибких рычагах схвата.

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 схвата верхнего участка тела ТВЭЛ-а оператором в пункте управления специальным приводом осуществляется натяжение всех гибких тяговых элементов 9 схватывающих гибких рычагов схвата для осуществления прижатия внешних внутренних поверхностей всех фаланг 3-5, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями 8, схватывающих гибких рычагов схвата к поверхности верхнего участка тела ТВЭЛ-а и обеспечения требуемого усилия взаимодействия между соответствующими поверхностями всех фаланг 3-5, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями 8, схватывающих гибких рычагов схвата и боковой поверхностью 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 в пункте управления, дистанционно освобождает концы гибких тяговых элементов 9 от закрепления на специальном приводе в пункте управления. Схватывающие гибкие рычаги схвата под действием силы упругости специальных упругих элементов - пружин 7 отодвигаются от поверхности верхнего участка 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 схвата 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 из пластика и др.

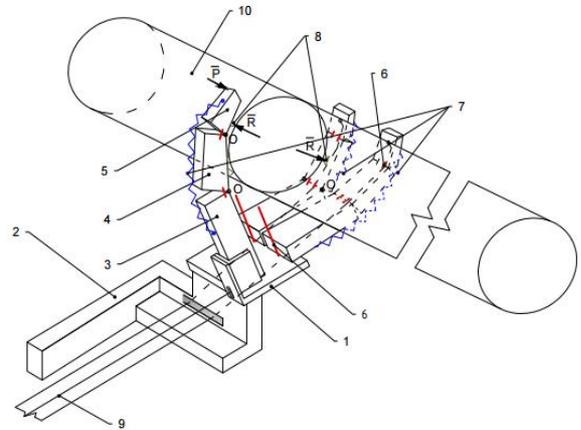
Применение данной технологической схемы перегрузки ТВЭЛ-а и/или ТВЭЛ-ов и др. из промежуточного контейнера в основной контейнер позволяет обеспечить высокую степень безопасности захоронения ТВРАО и безопасные условия работы персонала.

Для выбора и обоснования оптимальных структурно-кинематических параметров конструктивных элементов конструкции манипулятора ПР с схватывающими гибкими рычагами схвата разработаны научные основы имитационного моделирования функционирования многофункционального 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 схвата манипулятора ПР; математическая модель моделирования стохастических процессов работы высокоэффективного и надежного схватывания гибкими рычагами 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 [2-4].

Сила прижатия внешних внутренних поверхностей каждой фаланги 3-5, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями 8, каждого рычага схвата к поверхности верхней части тела ТВЭЛ-а 10 (фигура 4) определяется по формуле:

$$P = K * G, \quad (1)$$

где P – сжимающая сила, н; K – коэффициент, учитывающий характеристики материалов конструктивных элементов рычага схвата, G – вес перегружаемого ТВЭЛ-а, кг.



Фиг. 4. Трехфаланговый 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 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, 10 – ТВЭЛ.

Для освобождения верхнего участка тела ТВЭЛ-а 10 от каждой фаланги 3-5 каждого рычага схвата на пульте управления (на фигуре 4 не показано) механической рукой манипулятора ПР каждый конечный участок гибкого тягового элемента 9 освобождается от натяжения (фиксации) на приводе пункта управления. При этом сила прижатия каждой фаланги 3 – 5, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями 8, каждого рычага схвата к поверхности верхней части тела ТВЭЛ-а 10 становится равной нулю. Под действием силы упругости сжимающе-разжимающей пружины 7 внешние внутренние поверхности каждой фаланги 3-5, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями 8, каждого рычага схвата отодвигаются от внешней ограничивающей поверхности верхней части тела ТВЭЛ-а 10.

Из уравнения равновесия всех сил, действующих на схват механической руки ПР, определяется сила, необходимая для смыкания всех фаланг, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями 8, каждого рычага схвата вокруг поверхности верхней части тела ТВЭЛ-а.

Уравнение моментов сил, действующих на основную, среднюю и конечную фалангу каждого



рычага схвата механической руки ПР относительно $O(O_1, O_2, O_3)$, имеет вид:

$$\sum M_o(\varphi) = 0, \quad (2)$$

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

где P -сила, требуемая для надежного захвата всеми фалангами, с прикрепленным к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага схвата верхнего участка тела ТВЭЛ-а, n ; φ - обобщенная угловая координата, определяющая положения рычага схвата, рад.(на фигуре 4 не показана); R - сила реакции со стороны поверхности верхнего участка ТВЭЛа на внутреннюю поверхность каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями каждого рычага схвата, n ; a, b, c и l - плечи действия сил P и R относительно оси шарнира O каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага-схвата (на рисунке 4 не показано), мм; f - коэффициент трения между поверхностями верхнего участка ТВЭЛа и внутренними поверхностями каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, 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 фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага схвата к поверхности верхнего участка ТВЭЛ-а определяется по формуле:

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

По статистическим экспериментальным данным, полученными при исследовании операции прижатия каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага схвата к поверхности верхнего участка тела ТВЭЛ-а, проведенными в лабораторных условиях, получена следующая экспериментальная зависимость между силой P и величиной длины каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага схвата:

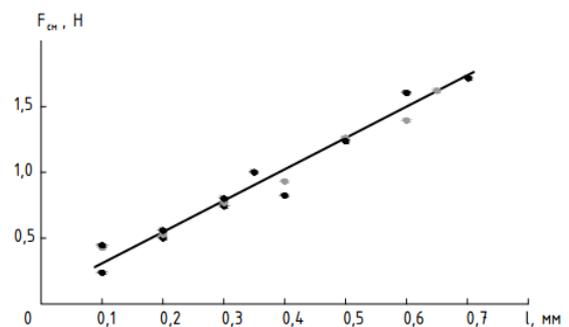
$$P(X) = 3,35X + 0,05, \quad (5)$$

где X - расстояние между точкой условной оси шарнира O , расположенного между каждыми двумя смежными фалангами, и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги, с

прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка тела ТВЭЛ-а, мм.

График зависимости для условного примера между силой P и расстоянием X между осью шарнира O и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага-схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка тела ТВЭЛ-а приведен на фигуре 5.

Для повышения точности определения геометрических, структурно-кинематических и динамических параметров трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР с учетом стохастических процессов взаимодействия его с поверхностью верхнего участка тела ТВЭЛ-а предлагается метод их оценки [2-4, 25-26].



Фиг. 5. График зависимости для условного примера между силой P и расстоянием X между точкой условной оси шарнира O и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага-схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка тела ТВЭЛ-а.

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

$$P_{k+1} = P_k + u_k + \gamma_k, \quad (6)$$

$$z_k = P_k + \delta_k, \quad (7)$$

где P_k - величина силы P , определяемая с учетом случайной ошибки ее отклонения в «идеальной модели»; P_{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 поверхностью верхнего участка



тела ТВЭЛ-а, которая определяется аналитически по формуле (4); 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 (6) и (7).

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 α_γ^2 и α_δ^2 ; предполагается, что все случайные ошибки независимы.

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

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

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

Идея состоит в том, чтобы получить наилучшее приближение к истинной координате P_{i+1} выбирается так называемая «золотая» середина между показанием z_{i+1} источника с сенсора и $P_i^{opt} + u_i$, являющимся его предсказанием. Показанию с сенсора дается весовой коэффициент Калмана K , а на предсказанное значение $(1-K)$ величина $P_i^{opt} + u_i$ определяется по формуле:

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

где K – весовой коэффициент Калмана, величина которого выбирается такой, чтобы получившееся оптимальное значение координаты P_{i+1}^{opt} было бы наиболее близко к величине истинной координаты P_{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 с сенсор, наоборот, совсем неточный, тогда необходимо больше ориентироваться на теоретически предсказанное значение $P_i^{opt} + u_i$. 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} среднего значения математического ожидания от квадрата ошибки:

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

После подстановки в уравнение (10) формулы (9) получается:

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

Минимизируется среднее значение математического ожидания от квадрата ошибки:

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

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

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

Это выражение принимает минимальное значение при условии:

$$K_{i+1} = (M e_i^2 + \sigma_\gamma^2) / (M e_i^2 + \sigma_\gamma^2 + \sigma_\delta^2). \quad (14)$$

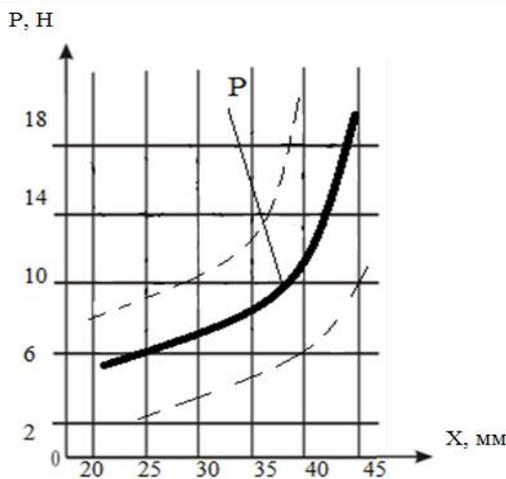
Для определения весового коэффициента Калмана необходимо вычислить статистические моменты случайных ошибок математической модели и систематических ошибок измерений силы P трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР при взаимодействии его с верхним участком тела ТВЭЛ-а. Таким образом, реализуется алгоритм решения разработанной математической модели, оценки стохастической системы динамического процесса взаимодействия трехфалангового адаптивного схвата манипулятора ПР с верхним участком тела ТВЭЛ-а с использованием итерационной формулы для вычисления весового коэффициента Калмана [2-4].

Результаты расчета зависимости значений функций случайного процесса изменения силы P от параметров трехфалангового схвата ПР при взаимодействии его с верхним участком тела ТВЭЛ-а при перегрузке его из одного контейнера в другой приведены в таблице.

График зависимости значений функций случайного процесса изменения силы P от параметров трехфалангового схвата ПР при взаимодействии его с верхним участком тела ТВЭЛ-а при перегрузке его из одного контейнера в другой приведен на фигуре 6.

Таблица. Результаты расчета зависимости значений функций случайного процесса изменения силы P от параметров трехфалангового схвата ПР при взаимодействии его с верхним участком тела ТВЭЛ-а при перегрузке его из одного контейнера в другой.

Показатели	Продолжительность периода времени измерения силы P трехфалангового схвата манипулятора ПР при взаимодействии его с верхним участком тела ТВЭЛ-а, с				
	$\tau_1=0$	$\tau_2=5$	$\tau_2=10$	$\tau_3=15$	$\tau_5=20$
Функция корреляции $B(\tau)$ в заданный период времени взаимодействия трехфалангового схвата при взаимодействии его с верхним участком тела ТВЭЛ-а, τ , с	2,82	2,2	0,04	03	0,05



Фиг. 6. График зависимости силы P от X -расстояния от оси шарнира и точкой контакта внутренней поверхности каждой фаланги, с прикрепленными к каждой из них удерживающими зубьями, каждого рычага схвата с ограничивающей поверхностью верхнего участка тела ТВЭЛ-а.

3. Общие выводы

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

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.

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

Литература

- [1] Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems. //Journal of basic Engineering (82) (1). 1960. pp.35-454.
- [2] Абылай Т.Каимов и др. Математическая модель стохастических процессов высокоэффективного разрушения грунта (россыпи, торф) инновационным отвалом бульдозера. Международный журнал //Поиск. Международный научный журнал-приложение Республики Казахстан. – Алматы. 2016. с. 253 – 259.
- [3] Абылай Т.Каимов и др. Математическая модель повышения достоверности оценки эмпирических данных при разрушении грунта инновационным отвалом бульдозера со съемным режущим ножом. //Поиск. Международный научный журнал-приложение Республики Казахстан. – Алматы. 2016. с. 240 – 247.
- [4] Kaiym T.T., Griбанov V.F., Kaimov A.T., Kaimov S.T., Abildabekova D.D. //Вестник Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И.Сатпаева. №1(119). Алматы. 2017. с. 412 – 417.
- [5] Самойлов А.Г. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. /-М.: Энергоиздат. 1985. - 324 с.
- [6] Доронин А.С., Духовянский А.С., Пунин Г.П., Медведев М.И., осадкий А.И., Пономарев-Степной Н.Н., Столярский А.Я. Тепловыделяющие элементы ядерного реактора. Описание изобретения к патенту №2095859 Российской Федерации. 10.11.1997 г. - 18 с.
- [7] Ceccarelli M. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation. / Kluwer/Springer,Dordrecht, 2004.(ISBN 1-4020-1810-X).



- [8] 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).
- [9] Lopez-Cajùn 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.
- [10] Bautista Paz E., Ceccarelli M., Echavarrí Otero J., Muñoz 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.
- [11] Трубин И.А. Анализ процессов захватывания и отпуска деталей схватом манипулятора. /Тр. ЛПИ. –Л.: 1982, № 382. с. 88-94.
- [12] Колпашиников С.Н., Челпанов И.Б. Задачи инженерного расчета схватов роботов. / Актуальные вопросы применения промышленных роботов для автоматизации производства. – Владимир. ВДНТИ. 1980. с.10 – 12.
- [13] Захватные устройства промышленных роботов. Методические рекомендации. – М.: ВНИМС. 1982. – 55 с.
- [14] Челпанов И.Б., Колпашиников С.Н. Схваты промышленных роботов. –Л.: Машиностроение. 1989. – 287 с.
- [15] Механика промышленных роботов: Учебное пособие для ВТУЗОВ: В 3 книгах. / Под ред. К.В.Фролова, Е.И.Воробьева. – М.: Высш.шк. 1988. – 304 с.
- [16] Системы очувствления и адаптивные промышленные роботы. /Под ред. Е.П.Попова, В.В.Клюева. –М.: Машиностроение. – 1985. – 256 с.
- [17] Динамика управления роботами. / В.В.Козлов, В.П.Макарычев, А.В.Тимофеев и др. –М.:Наука. 1984. – 336 с.
- [18] Манипуляционные системы роботов. /Под ред.А.М.Корендясева. –М.:1989. – 472 с.
- [19] Задачи и методы адаптивного управления при захватывании и удержании объектов схватами роботов. /Тр.6-й Всесоюзной конференции по управлению в механических системах. – Львов. 1988.
- [20] Дворников Л.Ф., Спасенкова Ю.С. Двухуровневый манипулятор с замкнутой кинематической цепью. Описание изобретения к патенту № 2532751, RU. МПК В25J 9/02, F16H 21/14. 10.09.2014. Бюл. №25.- 5с.
- [21] Кушманов Е.А., Кушманова Л.Е., Гонухов В.П., Сажко В.А., Итович Е.П. Манипулятор. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 1355485. SU. МПК 4В25 J 18/00. 30.11.1987. Бюл.№44. – 5с.
- [22] Смирнов А.Б., Крушинский И.А., Борисевич А.В. Пьезоэлектрический схват. Описание изобретения к патенту №2529126. RU. МПК В25J 15/08, В25J 7/00. 27.09.2014. Бюл.№27. -9с.
- [23] Kashioka et al. An approach to the integrated intelligent robot with multiple sensory. Visual recognition techniques. 7th Symp on Ind. Robots. –Токуо. 1977.
- [24] Куафе Ф. Взаимодействие робота с внешней средой.: Пер. с франц. –М.: Мир. 1985. – 285 с.
- [25] Т.Т. Қайым. Адаптирующиеся многоцелевые рабочие органы строительных и дорожных машин. /Монография. – Алматы. 1998. - 148 с.
- [26] Т.Т.Қайым, С.М.Сейтбаталов, Е.И. Шокаев Механизация перегрузочных работе на транспорте. /Монография. – Алматы. 2002. - 323 с.