

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО КОПАНИЮ ПРИЯМКОВ ТРАНШЕИ ПРИ РЕМОНТЕ ТРУБОПРОВОДА

При выполнении работ по ремонту трубопровода основной машиной, предназначенной для копания приямков траншеи, является одноковшовый экскаватор. В настоящее время при выполнении копания приямков используется два экскаватора, которые движутся вдоль трубопровода по параллельным направлениям. В целях повышения эффективности копания приямков необходимо проверить, возможно ли осуществлять копание приямков при помощи лишь одного экскаватора, расположенного по середине трубопровода, а также осуществлять отсыпание грунта в отвал, расположенный с обеих сторон от линии движения экскаватора. Рассмотрены случаи, когда копание приямков выполняется не модернизированным одноковшовым экскаватором, экскаватором с возможностью поворота секции стрелы и экскаватором с возможностью поворота ковша. Также рассмотрен полный цикл процесса откапывания приямка с отсыпанием грунта в отвал. На основе проведенных исследований разработан алгоритм автоматизированного управления движением ковша экскаватора при копании приямков траншеи. Приведены результаты компьютерного моделирования движения манипулятора экскаватора при выполнении копания приямков траншеи.

Ключевые слова: синтез движения, механизм манипулятора экскаватора, геометрическое моделирование, ремонт трубопровода, компьютерное моделирование движений, выходное звено.

Введение. Копание приямков траншеи экскаватором является одним из этапов выполнения работ по ремонту трубопроводов. Экскаватор позволяет выполнить выемку грунта над верхней частью трубопровода и с обеих сторон, образуя приямки траншеи. Технологическая схема ремонта трубопроводов также предусматривает применение двух положений машины для копания приямков [1–7]. Особенность их расположения в том, что центральная часть каждого экскаватора расположена над соответствующим приямком слева, либо справа от трубопровода. При этом грунт, извлекаемый из приямка, удаляется в ближайший к экскаватору отвал в пределах ремонтной полосы. Недостатком такого способа является создание нагрузки на ремонтируемый участок трубопровода в связи со спецификой расположения экскаватора. В данном способе одна из гусениц экскаватора располагается непосредственно над трубопроводом, что может спровоцировать его деформацию.

В связи с вышеизложенным, актуальной является задача модернизации процесса ремонта трубопровода. Гипотеза состоит в том, что для выполнения операций по копанию боковых приямков траншеи можно использовать только одно положение экскаватора, обеспеченного автоматизированной системой управления и наличием дополнительной степени подвижности механизма [8, 9]. Экскаватор при

этом располагается по середине трубопровода, с целью предотвращения силового воздействия на трубопровод. Для реализации данного подхода ремонта трубопровода необходима разработка автоматизированной системы управления движением ковша экскаватора по заданным безопасным траекториям и наличие пяти степеней подвижности механизма.

Постановка задачи исследования. Рассмотрим вначале технологическую схему ремонта трубопровода, в частности процесс копания боковых приямков траншеи при помощи двух различных положений экскаватора (рис. 1а). Как видно из рисунка, одна из гусениц каждого экскаватора расположена над трубопроводом. Чтобы не создавать нагрузку на трубопровод и использовать лишь одно положение экскаватора для копания обоих приямков, необходимо расположить его по середине трубопровода (рис. 1б). При этом направление движения экскаватора будет проходить по линии залегания трубопровода. Для проверки выдвинутой нами гипотезы необходимо проверить, возможно ли выполнение копания приямков траншеи с соблюдением требований к их геометрическим параметрам. Для этого необходимо выполнить геометрическое компьютерное моделирование процесса копания приямков траншеи на основе использования автоматизированной системы управления. При этом моделирование движения ковша необходимо осуществлять

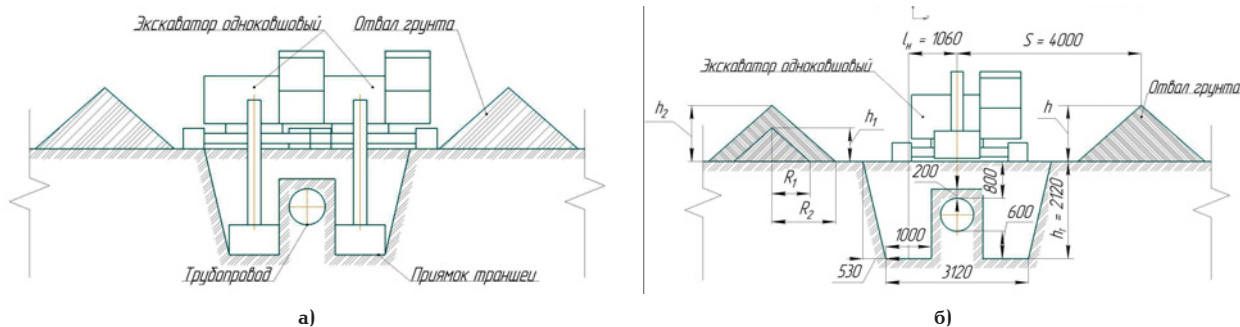


Рис. 1. Положение экскаватора относительно трубопровода
 а) при копании с использованием двух положений; б) при копании с использованием одного положения

по пространственным траекториям, обеспечивающим заданное удаление от поверхности трубопровода с использованием указанной автоматизированной системы управления.

Теория. Форма приямка траншеи определена с использованием нормативных документов по ремонту трубопроводов [10]. Расстояние от верхней образующей точки до поверхности ремонтируемой трубы, на которой установлен экскаватор, составляет 800 мм (рис. 1б). Слева и справа от трубопровода находится защитный слой грунта толщиной 200 мм. Расстояние от нижней точки трубопровода до нижней стенки приямка траншеи составляет 600 мм. Ширина приямка траншеи равна ширине ковша экскаватора — 1000 мм. Для предотвращения обрушения грунта боковые стенки траншеи должны иметь определенный угол наклона. Он зависит от характеристик грунта. Одним из самых распространенных типов грунта является супесь, при которой крутизна откосов составляет 1:0,25. В результате получим, что верхняя часть откоса находится на 530 мм дальше от трубопровода. Суммарная ширина траншеи по верхней её части составляет 4180 мм, а глубина — 2120 мм.

Для проведения исследований целесообразно использовать геометрическое компьютерное моделирование [11, 12]. В работе данное моделирование выполнено на основе использования программ, описанных на языке AutoLISP в системе САПР NanoCAD, что позволило осуществить визуализацию процесса копания боковых приямков траншеи. Чтобы доказать возможность копания приямка заданной формы, соблюдаются следующие условия. Механизм манипулятора экскаватора имеет не четыре степени подвижности, как у большинства серийно выпускаемых машин, а пять. Варианты механизмов экскаватора описаны в работах [8, 9]. При выполнении моделирования центр экскаватора расположен над осью трубопровода. Отвал грунта находится слева и справа от трубопровода на расстоянии 4000 мм. Заметим, что форма приямков симметрична относительно вертикальной оси трубопровода, поэтому при моделировании движения достаточно провести визуализацию копания приямка для одной из сторон. При разработке автоматизированной системы управления необходимо решать задачу сокращения времени, необходимого для копания приямков траншеи. Указанное время в значительной степени зависит от суммарного объема движения в кинематических парах и гидроцилиндрах [11, 13]. С целью сокращения объема движения существует необходимость задавать конечную точку траектории движения ковша при отсыпании грунта в отвал на различных высо-

тах. Указанная высота будет зависеть от количества отсыпанных ковшей с грунтом. Определим связанный с этим график функции:

$$h_1 = f(k), \quad (1)$$

где h_1 — определяет высоту отвала (рис. 1б), k — количество ковшей со средним заданным объемом V_k грунта. Значение параметра V_k определяется на основе проведенных натуральных испытаний. В связи с тем, что в процессе копания приямка траншеи необходимо формировать боковые откосы, значение параметра V_k будет равно половине расчетного объема используемого ковша. Увеличение высоты отвала для случая, когда отвал имеет форму конуса вращения, определяется по зависимости:

$$\frac{1}{3} \pi R_2^2 h_2 = V_k + \frac{1}{3} \pi R_1^2 h_1, \quad (2)$$

где R_1, R_2, h_1, h_2 — радиусы и высоты конусов отвала для начального момента времени при отсыпании одного ковша и после отсыпания второго ковша (рис. 1б).

Отсюда получим новую высоту конуса при отсыпании k ковшей:

$$h_2 = \frac{\pi R_1^2 h_1 + 3kV_k}{\pi R_2^2}. \quad (3)$$

Соотношение радиуса конуса к его высоте в рассматриваемом случае имеет следующий вид:

$$R = h/0,779. \quad (4)$$

Учитывая соотношение (4), зависимость (3) принимает вид:

$$h_2 = \sqrt[3]{\frac{R_1^2 h_1 + 0,955kV_k}{1,65}}. \quad (5)$$

На основе проведенных расчетов получены аналитические зависимости параметров h_2 и h_3 и графики $h_2 = f_1(k)$ и $h_3 = f_2(k)$, представленные на рис. 2а,б.

$$h_2 = -0,04(k \cdot V_k)^2 + 0,361(k \cdot V_k) + 0,449, \quad (6)$$

$$h_3 = -0,021(k \cdot V_k)^2 + 0,264(k \cdot V_k) + 0,529, \quad (7)$$

где h_3 — высота насыпи, полученная с учетом положения соседнего конуса (рис. 3). Зависимость (7) установлена на основе определения объема, полученного пересечением двух конусов (рис. 3).

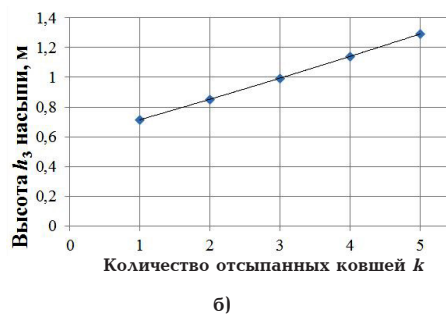
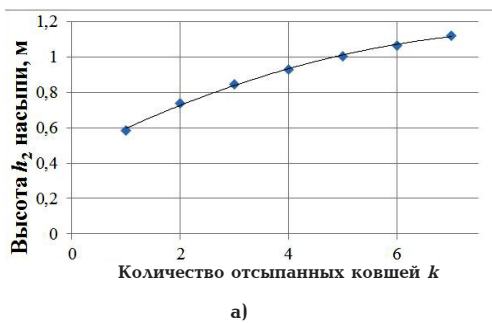


Рис. 2. Графики зависимостей: а) $h_2 = f_1(k)$; б) $h_3 = f_2(k)$

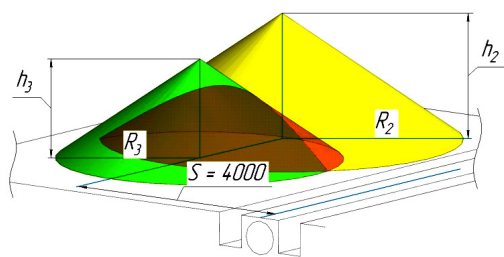


Рис. 3. Радиусы и высоты конусов отвалов

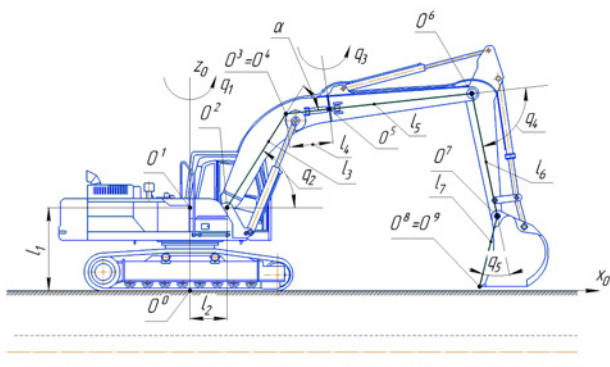


Рис. 4. Положение систем координат, связанных со звеньями шестизвенного механизма экскаватора M12-3-2-8-12-1-3-3-12

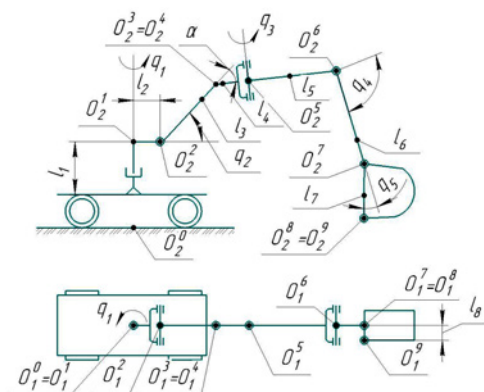


Рис. 5. Кинематическая схема механизма манипулятора экскаватора M12-3-2-8-12-1-3-3-12

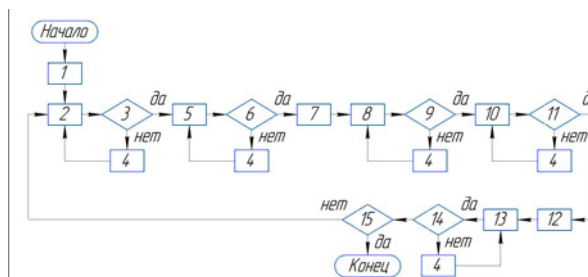


Рис. 6. Схема алгоритма автоматизированного управления движением ковша экскаватора при копании приемков траншеи

Зададим положение систем координат, связанных с подвижными звеньями механизма манипулятора экскаватора и основных геометрических параметров, определяющих этот шестизвенный механизм. Заметим, что с некоторыми подвижными звеньями могут быть заданы две или три системы координат. Манипулятор экскаватора представим в виде шестизвенного пространственного механизма с дополнительной кинематической парой (рис. 4) [9]. Также исследуем механизм манипулятора экскаватора с пятью кинематическими парами с обеспечением поворота ковша [8]. На рис. 4 точки O^0, O^1, \dots и O^9 определяют начала систем координат и опорные точки звеньев механизма. Проекция данных точек на рис. 5 обозначены следующим образом: $O^0 \rightarrow O^{10}, O^{20}$; $O^1 \rightarrow O^{11}, O^{21}$ и т.п. Параметры l_1, l_2, \dots и l_8 задают размеры звеньев механизма; q_1, q_2, \dots и q_5 — обобщенные координаты. Удаление экскаватора до точки центра отвала грунта обозначено параметром S (рис. 3). Высоту опускания рабочего оборудования обозначим параметром h_t (рис. 16). Расстояние от точки крепления рабочего органа (ковша экскаватора) до середины трубопро-

вода определяется параметром l_n (рис. 16). На рис. 5 представлена кинематическая схема шестизвенного механизма манипулятора экскаватора. Модели кинематической цепи обычного экскаватора M12-3-2-2-2-11 и экскаваторов, обеспеченных пятой кинематической парой M12-3-2-8-12-1-3-3-12 (рис. 5) и M12-3-2-2-2-3-11, заданы геометрическими параметрами, представленными в табл. 1–3. Если ковш располагается с левой стороны от трубопровода, то расстояние от ковша до трубопровода определяется положением точки O^9 (рис. 5, 7б). Поэтому данная точка принимается за центр выходного звена, движение которой моделируется с помощью синтеза движений по вектору скоростей [11]. Обозначение механизмов принято в соответствии с методикой, представленной в работе [11]. В таблице параметры l_1, l_2, \dots и l_8 задают соответственно длины отрезков O^0O^1, O^1O^2, \dots и O^8O^9 ; l_{smi} — смещения вдоль осей координат или углы поворота при значениях параметра $n_{kod} = 7 \dots 9$ или $n_{kod} = 10 \dots 12$; n_{kod} — коды кинематических преобразователей [11–14].

Результаты экспериментов. Схема алгоритма автоматизированного управления движением ков-

Задание модели кинематической цепи механизма М12-3-2-2-11

Система координат	O^1	O^2	O^3	O^4	O^5	O^6
q_i	0	q_1	q_2	q_3	q_4	0
l_i , (см)	0	$l_2 = 81$	$l_3 = 600$	$l_4 = 281$	$l_5 = 161$	0
l_{smi^i} (см)	$l_1 = 185$	0	0	0	0	$l_5 = 50$
n_{kod}	12	3	2	2	2	11

Таблица 2

Задание модели кинематической цепи механизма М12-3-2-8-12-1-3-3-12

Система координат	O^1	O^2	O^3	O^4	O^5	O^6	O^7	O^8	O^9
q_i	0	q_1	q_2	0	0	q_3	q_4	q_5	0
l_i , (см)	0	$l_2 = 81$	$l_3 = 246$	0	0	$l_5 = 318$	$l_6 = 281$	$l_7 = 161$	0
l_{smi^i} (см)	$l_1 = 185$	0	0	$\alpha = 51^\circ$	$l_4 = 97$	0	0	0	$l_8 = 50$
n_{kod}	12	3	2	8	12	1	3	3	12

Таблица 3

Задание модели кинематической цепи механизма М12-3-2-2-3-11

Система координат	O^1	O^2	O^3	O^4	O^5	O^6	O^7
q_i	0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	0
l_i , (см)	0	$l_2 = 81$	$l_3 = 246$	$l_4 = 281$	$l_5 = 161$	$l_6 = 0$	0
l_{smi^i} (см)	$l_1 = 185$	0	0	0	0	0	$l_7 = 50$
n_{kod}	12	3	2	2	2	3	11

ша представлена на рис. 6. На рис. 6 приняты следующие обозначения: 1 — задание переменных $k = 0$, k_{max} (k_{max} — максимальное количество ковшей для формирования одного конуса отвала), $k_{np} = 0$, k_{np} (k_{np} — максимальное количество горизонтальных проходов ковша вдоль траншеи), $k_{np}^{max} = h_T/h_{ca}$, (h_{ca} — высота срезания слоя грунта ковшем за один проход); 2 — синтез малых движений (СМД) [11] до конечной точки A^{t+10} траектории (КТТ) f_1 (рис. 7а); 3 — КТТ $f_1 A^{t+10}$ достигнута; 4 — расчет Δq_i , $q_i = q_i + \Delta q_i$; 5 — СМД до КТТ $f_2 A^{t+20}$ (движение на подъем ковша) (рис. 7г); 6 — КТТ $f_2 A^{t+20}$ достигнута; 7 — вычисление КТТ $f_3 A^{t+40}$ (5,7) (рис. 7г); 8 — СМД до КТТ $f_3 A^{t+40}$ (движение ковша в направлении вершины конуса отвала); 9 — КТТ $f_3 A^{t+40}$ достигнута; 10 — СМД до КТТ $f_4 A^{t+70}$ (рис. 7г); 11 — КТТ $f_4 A^{t+70}$ достигнута; 12 — вычисление КТТ $f_5 A^{t+80}$, $h_T = h_T + h_{ca} \cdot k$; 13 — СМД до КТТ $f_5 A^{t+80}$ (рис. 7г); 14 — КТТ $f_5 A^{t+80}$ достигнута; 15 — $k_{np} = k_{np}^{max}$.

Результаты пространственного моделирования движения рабочего органа экскаваторов, заданных в табл. 1, 2 и 3 представлены на рис. 7а, б, в, г. На рис. 7а обозначены параметры l_1^T , l_2^T траншеи и траектория l , заданная отрезком $A'A^{t+10}$ движения центра выходного звена точки O^6 рабочего органа обычного экскаватора при копании прямка. На рис. 7б представлено моделирование движения экскаватора, изображенного на рис. 4. Моделирование движения экскаватора, оснащенного поворотным ковшом, представлено на рис. 7в. Синтез движения механизма экскаватора при отсыпании грунта в отвал представлен на рис. 7г. Синтез движения (рис 7б, в, г) обеспечивает соблюдение установленных

геометрических параметров, определяющих форму прямка. Анализ синтеза движений ковша на рис. 7а показывает, что режущая кромка в этом случае располагается не перпендикулярно направлению движения. Следовательно, обычный экскаватор при его положении по середине трубопровода не может выполнять работу по копанию прямков траншеи. Манипуляторы экскаватора, имеющие пять степеней подвижностей, напротив, позволяют выполнить указанную выше работу (рис. 7б, в). Результаты компьютерного моделирования показали работоспособность выдвинутой гипотезы возможности копания прямков траншеи, когда экскаватор перемещается по середине линии залегания трубопровода и обеспечен подвижностью кинематической цепи, равной пяти.

Основные результаты и выводы. Проведенные исследования могут быть использованы при разработке информационно-управляющих комплексов подвижных объектов, в частности при разработке автоматизированной системы управления движением рабочего оборудования экскаватора.

Библиографический список

1. Аладинский В. В., Малков А. Г., Ушаков А. В. Метод ремонта газопроводов с использованием труб, бывших в эксплуатации // Территория Нефтегаз. 2009. № 8. С. 56–60.
2. Булавинцева А. Д., Мазуркин П. М. Динамика аварий по причиненному ущербу на линейной части магистральных нефтепроводов ОАО АК «Транснефть» // Современные наукоемкие технологии. 2011. № 4. С. 64–67.
3. Timashev S., Bushinskaya A. Methods of Assessing Integrity of Pipeline Systems with Different Types of Defects //

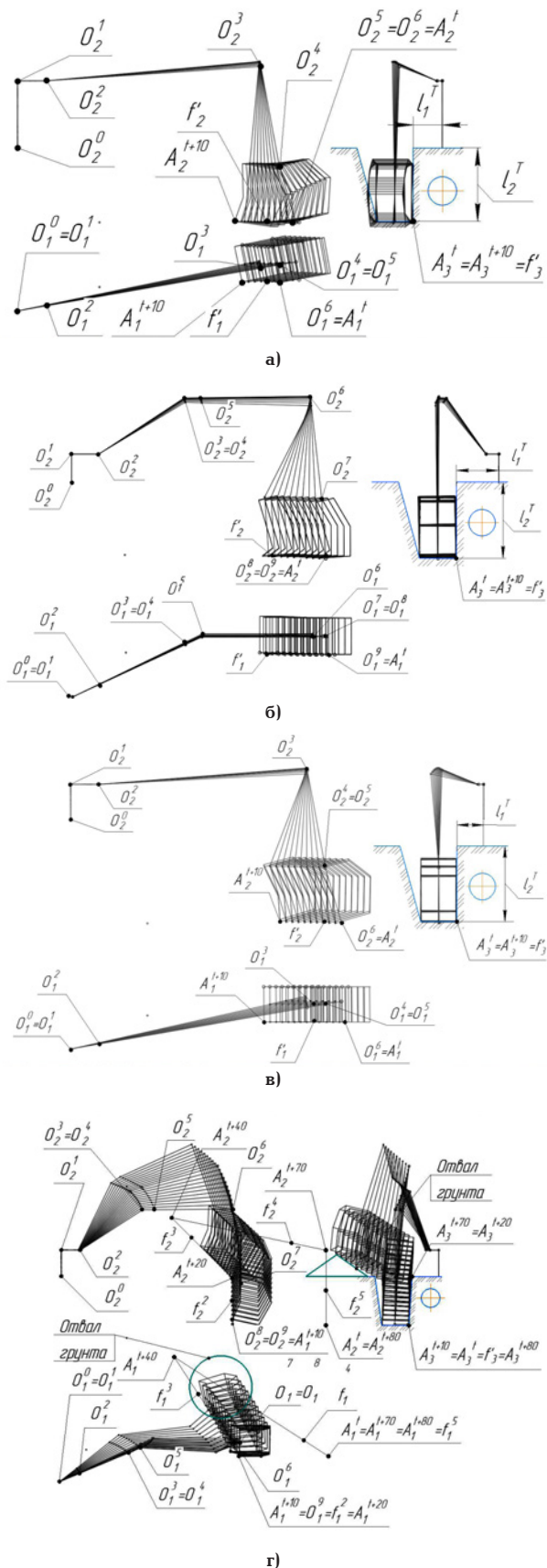


Рис. 7. Результаты пространственного моделирования движения рабочего органа экскаватора:
 а) не модернизированный экскаватор М12-3-2-2-2-11;
 б) экскаватор с возможностью поворота секций стрелы М12-3-2-8-12-1-3-3-12;
 в) экскаватор с возможностью поворота ковша М12-3-2-2-2-3-11;
 г) при отсыпке грунта в отвал экскаватором М12-3-2-8-12-1-3-3-12

Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems. 2016. P. 9–43. DOI: 10.1007/978-3-319-25307-7-2.

4. Демиденко А. И., Кузнецов И. С. Анализ устройств предотвращения повреждения стенки трубопровода // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сб. материалов II Нац. науч.-практ. конф., Омск, 18–19 апреля 2019 года. Омск: Изд-во СибАДИ, 2019. С. 7–9.

5. Демиденко А. И., Кузнецов И. С. Совершенствование конструкции рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Вестник СибАДИ. 2020. № 17 (1). С. 12–21. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-1-12-21.

6. Аникин Е. А. Эффективные методы ремонта магистральных трубопроводов. Москва: ИРЦ Газпром, 2001. 108 с.

7. Кузнецов И. С. К вопросу автоматизации расчета магистрального нефтепровода // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: сб. науч. тр. II Междунар. науч.-практ. конф., Омск, 08–09 февраля 2018 года. Омск: Изд-во СибАДИ, 2018. С. 19–24.

8. Сидоров Е. А., Ткачищак Д. В. Анализ конструктивных схем одноковшовых строительных экскаваторов // Избранные докл. 64-й Унив. науч.-техн. конф., Томск, 24 апреля 2018 года. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2018. С. 338–343.

9. Пат. 116519 Российская Федерация, МПК Е 02 F 3/28. Рабочее оборудование экскаватора / Демиденко А. И., Билялов А. М. № 2011130480/03; заявл. 21.07.11; опубл. 27.05.12. Бул. № 15. 12 с.

10. РД 39-00147105-015-98. Правила капитального ремонта магистральных нефтепроводов. Уфа: ИПТЭР. 1998. 194 с.

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

12. Whitney D. E. The Mathematics of Coordinated Control of Prosthetic Arms and Manipulators // Journal of Dynamic Systems Measurement and Control. 1972. № 94 (4). P. 303–309.

13. Притыкин Ф. Н. Исследование кинематических параметров андроида робота при автоматизированном синтезе движений по вектору скоростей // Омский научный вестник. 2022. № 2 (182). С. 5–9. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-5-9.

14. Притыкин Ф. Н. Моделирование гиперповерхностей, отражающих взаимосвязь кинематических параметров механизма андроида робота // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2022. Т. 19, № 7 (217). С. 21–29. DOI: 10.14489/vkit.2022.07.pp.021-029.

ПРИТЫКИН Федор Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 7628-8023

ORCID: 0000-0001-8081-6840

AuthorID (SCOPUS): 6507269253

Адрес для переписки: pritykin@mail.ru

КУЗНЕЦОВ Илья Сергеевич, аспирант кафедры «Инженерная геометрия и САПР» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 6890-3069

ORCID: 0000-0002-6524-4976

Адрес для переписки: mprogamer111@gmail.com

Для цитирования

Притыкин Ф. Н., Кузнецов И. С. Геометрическое моделирование процесса выполнения работ по копанью прямых траншей при ремонте трубопровода // Омский научный вестник. 2023. № 4 (188). С. 22–28. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-188-22-28.

Статья поступила в редакцию 10.05.2023 г.

© Ф. Н. Притыкин, И. С. Кузнецов

GEOMETRIC MODELING OF THE PROCESS OF DIGGING TRENCH PITS DURING PIPELINE REPAIR

When performing work on the repair of the pipeline, the main machine designed for digging trench pits is a single-bucket excavator. Pit digging currently uses two excavators moving along the pipeline in parallel directions. In order to increase the efficiency of digging pits, it is necessary to check whether it is possible to dig pits with only one excavator located in the middle of the pipeline, as well as to dump soil into a dump located on both sides of the excavator's line of motion. Cases are considered when pit digging is performed by a non-modernized single-bucket excavator, an excavator with the ability to rotate the boom section and an excavator with the ability to rotate the bucket. The full cycle of the process of digging a pit with dumping of soil into a dump is also considered. On the basis of the research carried out, an algorithm for automated control of the movement of the excavator bucket when digging trench pits is developed. The results of computer simulation of the movement of the excavator manipulator when digging trench pits are presented.

Keywords: movement synthesis, excavator arm mechanism, geometric modeling, pipeline repair, computer simulation of movements, output link.

References

1. Aladinskiy V. V., Malkov A. G., Ushakov A. B. Metod remonta gazoprovodov s ispol'zovaniyem trub, byvshikh v ekspluatatsii [Method for repairing gas pipelines using second-hand pipes] // Territoriya Neftegaz. *Neftegaz Territory*. 2009. No. 8. P. 56–60. (In Russ.).
2. Bulavintseva A. D., Mazurkin P. M. Dinamika avariyy po prichinennomu ushcherbu na lineynoy chasti magistral'nykh nefteprovodov OAO AK «Transneft'» [Dynamics of accidents caused by damage on the linear part of Transneft's main oil pipelines] // Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii. *Modern Knowledge-Intensive Technologies*. 2011. No. 4. P. 64–67. (In Russ.).
3. Timashev S., Bushinskaya A. Methods of Assessing Integrity of Pipeline Systems with Different Types of Defects // Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems. 2016. P. 9–43. DOI: 10.1007/978-3-319-25307-7-2. (In Engl.).
4. Demidenko A. I., Kuznetsov I. S. Analysis of pipeline wall damage prevention devices [Analiz ustroystv predotvrashcheniya povrezhdeniya stenki truboprovoda] // Obrazovaniye. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo. *Education. Transport. Innovation. Construction*. Omsk, 2019. P. 7–9. (In Russ.).
5. Demidenko A. I., Kuznetsov I. S. Sovershenstvovaniye konstruktivnykh rabochego oborudovaniya gidravlicheskogo ekskavatora [Improvement of the hydraulic excavator's working equipment] // Vestnik SibADI. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020. Vol. 17 (1). P. 12–21. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-1-12-21. (In Russ.).
6. Anikin E. A. Effektivnyye metody remonta magistral'nykh truboprovodov [Effective repair methods for trunk pipelines]. Moscow, 2001. 108 p. (In Russ.).
7. Kuznetsov I. S. K voprosu avtomatizatsii rascheta magistral'nogo nefteprovoda [On the issue of automating the calculation of the main oil pipeline] // Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya molodykh uchenykh. *Fundamental and Applied Research by Young Scientists*. 2018. P. 19–24. (In Russ.).
8. Sidorov E. A., Tkakishchak D. V. Analiz konstruktivnykh skhem odnokovshovykh stroitel'nykh ekskavatorov [Analysis of design schemes of single-bucket construction excavators] // Izbrannyye dokl. 64-y Univ. nauch.-tekhn. konf. *Selected Papers of the 64th University Scientific and Technical Conference*. 2018. P. 338–343. (In Russ.).
9. Patent 116519 Russian Federation, IPC E 02 F 3/28. Rabocheye oborudovaniye ekskavatora Rabocheye oborudovaniye ekskavatora [Working equipment of the excavator] / Demidenko A. I., Bilyalov A. M. No. 116519. (In Russ.).
10. State Standard 39-00147105-015-98. Pravila kapital'nogo remonta magistral'nykh nefteprovodov [Rules for the overhaul of main oil pipelines]. Ufa, 1998. 194 p. (In Russ.).
11. Pritykin F. N. Virtual'noye modelirovaniye dvizheniy robotov, imeyushchikh razlichnuyu strukturu kinemateskikh tsepey [Virtual simulation of robot movements with different kinematic chain structures]. Omsk, 2014. 172 p. (In Russ.).
12. Whitney D. E. The Mathematics of Coordinated Control of Prosthetic Arms and Manipulators // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 1972. No. 94 (4). P. 303–309. DOI: 10.1115/1.3426611. (In Engl.).
13. Pritykin F. N. Issledovaniye kinemateskikh parametrov androйдnogo robota pri avtomatizirovannom sinteze dvizheniy po vektoru skorostey [Study of kinematic parameters of android robot in automated synthesis of motions on velocity vector] // Omskiy nauchnyy vestnik. *Omsk Scientific Bulletin*. 2022. No. 2 (182). P. 5–9. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-5-9. (In Russ.).
14. Pritykin F. N. Modelirovaniye giperpoverkhnostey, otrazhayushchikh vzaimosvyaz' kinemateskikh parametrov mekhanizma androйдnogo robota [Simulation of hypersurfaces based on the database of kinematic parameters of the android

robot mechanism] // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy. *Herald of Computer and Information Technologies*. 2022. Vol. 19, no. 7 (217). P. 21–29. DOI: 10.14489/vkit.2022.07.pp.021-029. (In Russ.).

PRITYKIN Fedor Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Engineering Geometry and CAD Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

SPIN-code: 7628-8023

ORCID: 0000-0001-8081-6840

AuthorID (SCOPUS): 6507269253

Correspondence address: pritykin@mail.ru

KUZNETSOV Ilya Sergeevich, Graduate Student of Engineering Geometry and CAD Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 6890-3069

ORCID: 0000-0002-6524-4976

Correspondence address: mrprogamer111@gmail.com

For citations

Pritykin F. N., Kuznetsov I. S. Geometric modeling of the process of digging trench pits during pipeline repair // Omsk Scientific Bulletin. 2023. No. 4 (188). P. 22–28. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-188-22-28.

Received May 10, 2023.

© F. N. Pritykin, I. S. Kuznetsov