

РАЗДЕЛ III

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 621.878:658.5

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЦЕПНОГО ТРАНШЕЙНОГО ЭКСКАВАТОРА

А.Л. Ахтулов¹, Л.Н. Ахтулова¹, В.А. Осит²

¹Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия;

²ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Омск, Россия.

Аннотация. В статье представлена совокупность математических моделей отдельных подсистем и проведен анализ моделирования цепного траншейного экскаватора, на основании которых разработана обобщенная математическая модель для определения основных параметров при проектировании устройства управления гидравлической объемной трансмиссией навесного оборудования подкопа цепного траншейного экскаватора. Дано обоснование критерия эффективности применения цепного траншейного экскаватора для процесса вскрытия и подкопа трубопровода.

Ключевые слова: траншейный цепной экскаватор, навесное оборудование для подкопа трубопроводов, иерархическая структура, конструктивный элемент, математическая модель.

Введение

При производстве ремонтно-восстановительных работ на нефтегазопроводах, особенно магистральных, с целью замены наружного изоляционного покрытия значительную трудоемкость составляет процесс вскрытия и подкопа трубопровода, поэтому одним из основных факторов, сдерживающих повышения производительности труда [1-3], является несовершенство средств выполнения земляных работ. Для механизации работ и улучшения технологического процесса используются траншейные экскаваторы и специальное навесное оборудование.

Анализ существующих конструкций показал, что комплексы машин при работе с поверхности земли получают сложными, громоздкими и металлоёмкими, так как подкоп осуществляется на большие глубины, что требует выполнения работ как можно ближе к поверхности трубопровода [4].

Математическое моделирование цепного экскаватора для подкопа трубопроводов

В соответствие с работами [5-7] предлагается рассматривать экскаватора для подкопа трубопроводов (рис. 1) точки зрения его проектирования, производства и подготовки к эксплуатации, как многоуровневую, иерархи-

ческую структуру, которая может быть проиллюстрирована широко используемым на практике общим подходом [8, 9] к моделированию сложных технических систем с помощью теории графов. Согласно этому подходу, любая техническая система может быть представлена графом (рис. 2), промежуточные узлы которого соответствуют элементам различного уровня детализации: самый нижний уровень иерархии представлен множеством L_1 функциональных элементов - первичных объектов конструирования, предназначенных для выполнения ограниченных функций. Затем идут более высокие уровни: узлов L_2-L_3 , агрегатов L_2 , подсистем L_1 и верхний уровень иерархии L_0 - сам экскаватор, представляющий объединение основных подсистем для выполнения технических заданий.

Таким образом, процесс проектирования [10,11] не является каким-то изолированным, а неразрывно связан со всеми стадиями создания технической системы и представляет один из основных этапов. Следовательно, аналогично сложности объекта проектирования, можно, как предлагается в работах [5, 6] иерархическую структуру процесса проектирования выразить фазами, классифицируемыми по принципу функционально замкнутых видов конструктивных элементов.

В статье представлена совокупность математических моделей отдельных подсистем и проведен анализ цепного траншейного экскаватора, на основании которых составлена обобщенная математическая модель цепного траншейного экскаватора [12]. Обоснован критерий эксплуатационной эффективности цепного траншейного экскаватора [13]:

$$E = \frac{Np}{n}, \quad (1)$$

где E – энергоемкость рабочего процесса цепного траншейного экскаватора; Np – потребляемая мощность; n – производительность цепного траншейного экскаватора.

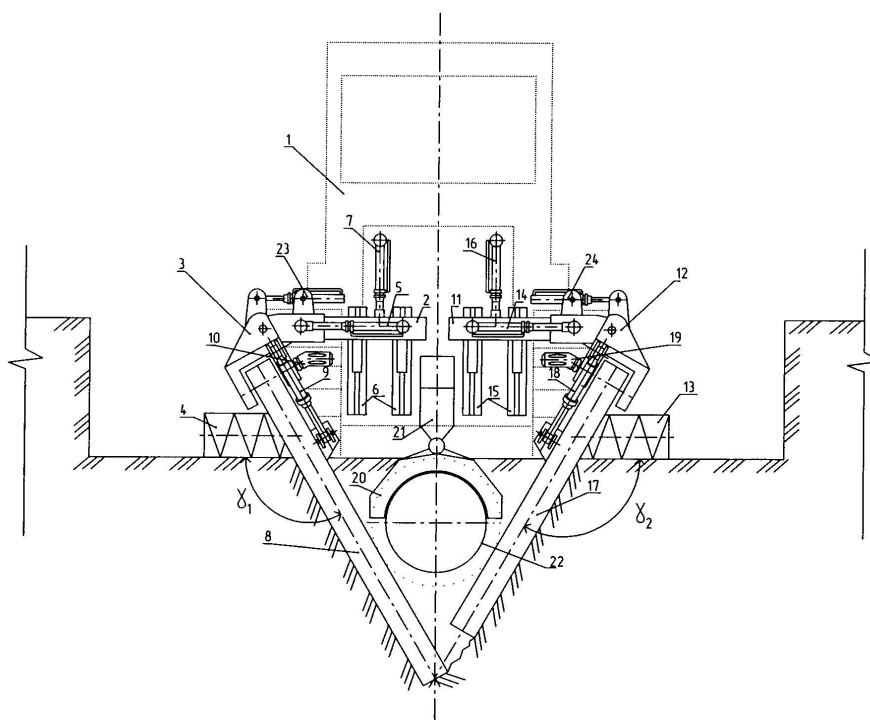


Рис. 1. Конструктивная схема цепного экскаватора для подкопа трубопровода, где: 1- базовое шасси; 2, 11 - рама; 3, 12 – рабочий орган; 4, 13 – эвакуатор грунта; 5, 14 – гидроцилиндр; 6, 15 – направляющие; 7, 16, 18 – гидроцилиндр; 8, 17 – цепная секция; 10, 19 – гидродвигатель; 20 – копирное устройство; 21 – гидроцилиндр; 22 – опоры на трубопровод; 23, 24 – поворотные механизмы

Входными параметрами обобщенной математической модели цепного траншейного экскаватора являются: заданная глубина копания и возмущающие воздействия со стороны силы реакции разрабатываемого грунта на рабочий орган и на элементы ходового оборудования базовой машины со стороны микрорельефа. Выходными параметрами обобщенной математической модели цепного траншейного экскаватора являются: текущее значение потребляемой мощности; текущее значение производительности и энергоемкость цепного траншейного экскаватора.

С учетом неравномерного прямолинейного движения, вызванного воздействиями на элементы ходового оборудования неровностей микрорельефа и силы реакции разрабатываемого грунта на рабочий орган, суммарный момент сил сопротивления, приложенных к валу двигателя базовой машины (ДВС) [13], описывают уравнениями:

$$M_c = M_{po} + J_{po} \frac{d\omega_{m_1}}{dt} + M_{xo} + J_{xo} \frac{d\omega_{m_2}}{dt} - M_{\theta}; \quad (2)$$

$$M_{po} = M_{m_1} i_1 \eta_1; \quad (3)$$

$$M_{xo} = M_{m_2} i_2 \eta_2; \quad (4)$$

$$M_{\theta} = \left(\frac{r_k}{i_2} \right) G \sin \theta, \quad (5)$$

где M_c – суммарный момент сил сопротивления, приложенных к валу ДВС; M_{xo} – момент сил сопротивления качению базовой машины; M_{po} – момент, возникающий от сил сопротивления копания грунта; M_{θ} – приведенный к валу базовой машины момент сил сопротивления, возникающий

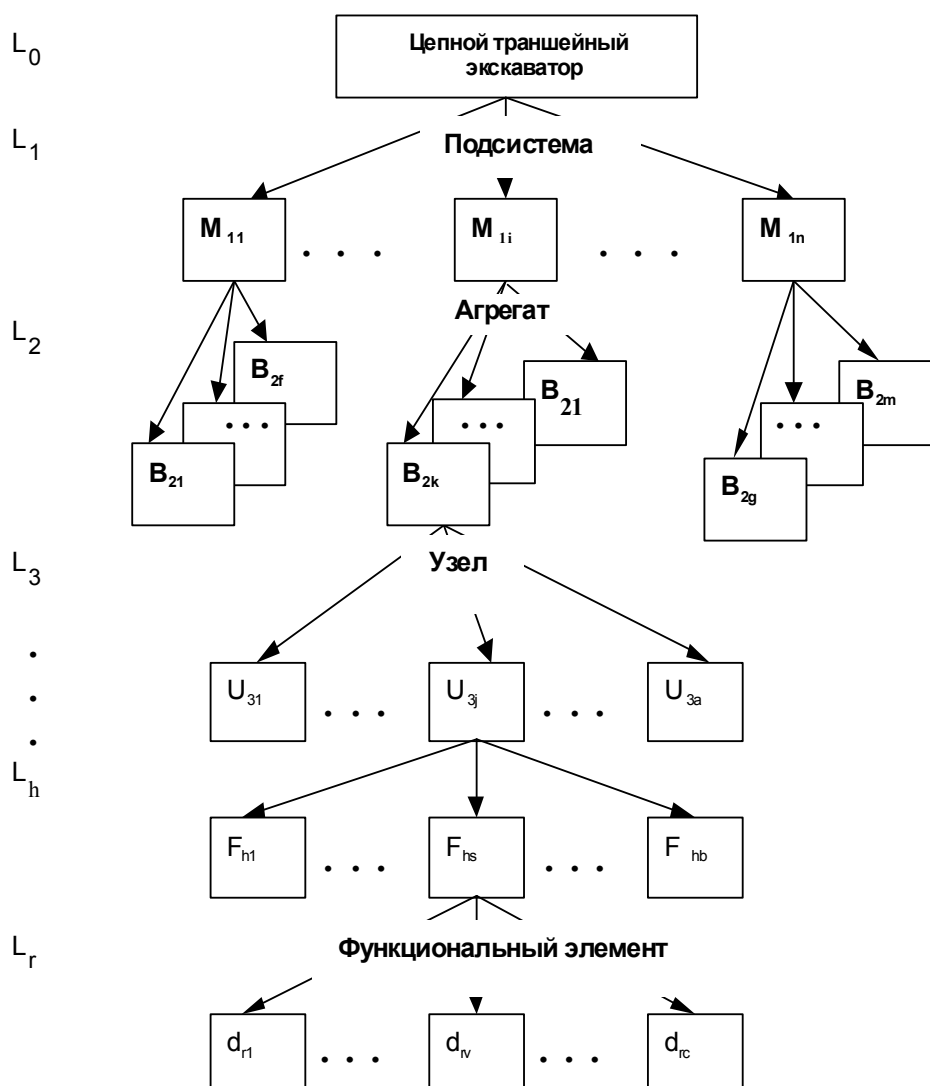


Рис. 2. Иерархическая структура цепного траншейного экскаватора, где: L - иерархия рангов входимости; M - подсистем, принадлежащих к 1-му рангу; B - агрегатов - ко 2-му рангу; U - узлов - к 3-му рангу; F - элементов - к h -му рангу; d - деталей - к r -му рангу

от движения под уклон; J_{po} – момент инерции рабочего органа; J_{xo} – момент инерции ходового оборудования; ω_{m_1} – угловая скорость гидромотора вала рабочего органа; ω_{m_2} – угловая скорость гидромотора вала ходового оборудования; M_{m_1} – крутящий момент на валу гидромотора рабочего органа, M_{m_2} – крутящий момент на валу гидромотора движителя; i_1, i_2 – передаточные отношения трансмиссий рабочего органа и движителя, соответственно; η_1, η_2 – коэффициент полезного действия трансмиссий рабочего органа и движителя, соответственно; G – сила тяжести цепного траншейного экскаватора; r_k – радиус колеса; $\sin \theta$ – угол наклона поверхности грунта, относительно горизонтальной плоскости

Рабочий процесс ДВС совместно с регулятором числа оборотов описывается выражениями [13]:

$$J_{\dot{A}} \dot{\omega}_{\dot{A}} = M_{\dot{A}}(\omega_L z) - Mc; \quad (6)$$

$$M_{\dot{A}}(\omega_{\dot{A}} z) = M_{\dot{A}(MIN)}(\omega) + M_z - k_{\dot{A}} z; \quad (7)$$

$$m_m \ddot{z} + v_{TP} \dot{z} + E \cdot z + F_H = A(z) \omega_D^2; 0 \leq z \leq z_{mm}, \quad (8)$$

где J_D – момент инерции; M_D – активный момент на валу; ω_D – угловая скорость вала; $M_{D(MIN)}$ – момент ДВС при минимальной по-

даче топлива, соответствующей холостому ходу; M_z – приращение момента при максимальной подаче топлива; $k_A z$ – момент от перемещения муфты регулятора, отсчитываемого от положения максимальной подачи топлива; m_i – приведенная к муфте масса всех подвижных частей регулятора; v_{TP} – коэффициент вязкого трения; F_H – сила предварительного натяга пружины, приведенная к муфте; $A(z)$ – коэффициент поддерживающей силы;

В процессе работы цепного траншейного экскаватора ходовое оборудование взаимодействует с рельефом грунтовой поверхности, неровности которой приводят к стохастическим вертикальным и угловым перемещениям цепного траншейного экскаватора и рабочего органа при движении машины. Для моделирования микрорельефа левой и правой колеи в работе использовалась корреляционная функция, определяемая выражением [13]:

$$R(t) = \sigma_y^2 e^{-\alpha_m |t|}, \quad (9)$$

где σ_y^2 – среднее квадратическое отклонение исходного микрорельефа; α_m – коэффициент затухания функции; τ – время корреляции.

При составлении программы на персональном компьютере микрорельеф был сглажен по пятну контакта шины с микрорельефом [13]:

$$y_{cr}(m) = \frac{1}{x_0} \sum_{i=m-k}^{m+k} y_i, \quad (10)$$

где $y_{cr}(m)$ – ординаты сглаженного микрорельефа; x_0 – интервал усреднения; y_i – ординаты несглаженного микрорельефа.

Математическая модель взаимодействия ходового оборудования (ХО) с грунтом описана в соответствии с зависимостями, предложенными в работах В.Г. Зедгенизова [14]

$$\delta_k = A \left(\frac{F_k}{G_{k1} + F \cos \beta} \right) + B \left(\frac{F_k}{G_{k1} + F \cos \beta} \right); \quad (11)$$

$$V_2 = \omega_{M2} (1 - \delta_k) \frac{r_k}{i_2}; \quad (12)$$

$$R_K = F_K = \psi (G_{K1} + F \cos \beta) + R_H; \quad (13)$$

$$M_M = r_k (\psi (G_{K1} + F \cos \beta) + R_H) i_3, \quad (14)$$

где δ_k – коэффициент буксования; F_k – суммарная сила сопротивления, приложенная к ЦТЭ; G_{K1} – составляющая силы веса цепного траншейного экскаватора, приходящаяся на заднюю ось машины; V_2 – скорость передвижения базовой машины; r_k – радиус колеса; R_K – горизонтальная сила реакции на колесе; M_M – активный момент сил на валу заднего моста; F – сила реакции разрабатываемого грунта на РО; ψ – коэффициент сцепления R_H – сила сопротивления перемещению зачистного башмака; i_3 – передаточное отношение редуктора, устанавливаемого между осью заднего моста и гидравлическим мотором движителя.

Система уравнений, описывающая работу движителя с учетом изменения радиуса колеса, можно записать в виде [13]:

$$\ddot{y} = -\frac{1}{m_K} [v_{ш} \dot{y} + c_{ш} y - q(t)]; \quad (15)$$

$$r_K = r - y_{CT} - y_{CR}, \quad (16)$$

где m_e – масса, приходящаяся на ось колеса; $v_{ш}$ – коэффициент демпфирования шин; $c_{ш}$ – жесткость шин; $q(t)$ – сила, возникающая в результате воздействия неровностей микрорельефа на оборудование (ХО); r – свободный радиус колеса; y_{CT} – статический прогиб колеса под нагрузкой; y_{CR} – вертикальная координата перемещения оси.

Геометрические связи звеньев цепного траншейного экскаватора в [15, 16] описываются уравнениями:

$$K_B = \frac{L_1}{L}; \quad (17)$$

$$y_3 = \frac{y_{3л} + y_{3п}}{2}; \quad (18)$$

$$y_n = \frac{y_{пл} + y_{пп}}{2}; \quad (19)$$

$$y_{po} = (K - K_B) y_n + K_{бул}, \quad (20)$$

где K_B – коэффициент базы; L – длина базы цепного траншейного экскаватора; L_1 – расстояние от оси передних колес до режущей кромки рабочего органа, формирующей

дно траншеи; y_{po} – изменение глубины копания в инерциальной системе координат в результате воздействия неровностей микро-рельефа; $y_{пп}$ – высота неровностей микро-рельефа под передним правым колесом; $y_{пл}$ – высота неровностей микро-рельефа под передним левым колесом; $y_{зп}$ – высота неровностей микро-рельефа под задним правым колесом; $y_{зл}$ – высота неровностей микро-рельефа под задним левым колесом.

Анализ силы реакции разрабатываемого грунта на рабочий орган цепного траншейного экскаватора показал, что сила реакции может быть представлена как случайный процесс.

В связи с этим в данной работе сила реакции разрабатываемого грунта на рабочий орган в соответствии с работами [17, 18] представлена как сумма двух составляющих, низкочастотной (тренда) и высокочастотной (флюктуации):

$$F = F_T + F_\phi, \quad (21)$$

где F – сила реакции разрабатываемого грунта на рабочий орган; F_T – низкочастотная составляющая силы реакции (тренд); F_ϕ – высокочастотная составляющая силы реакции (флюктуация).

Корреляционные функции флюктуаций при копании грунтов рабочий орган цепного траншейного экскаватора аппроксимированы выражением [13]:

$$R_\phi(\tau) = \sigma_\phi^2 \cdot e^{-\alpha_\phi |\tau_k|} \cdot \cos \beta_\phi, \quad (22)$$

где σ_ϕ – среднеквадратическое отклонение силы реакции; α_ϕ и β_ϕ – коэффициенты затухания и периодичности корреляционной функции; τ_k – время корреляции.

Математическая модель низкочастотной составляющей (тренда) в [12] была представлена расчетной схемой (рисунок 3) и описана в соответствии с теорией копания [19], дополненной И.А. Недорезовым [20] и В.Г. Зеденизовым [14].

Момент сил, возникающий на валу гидромотора рабочего органа от сил сопротивления копанию, определяется [13]:

$$M_{M1} = Fr_z i_4, \quad (23)$$

где r_z – радиус звездочки рабочего органа; i_4 – передаточное от ношение редуктора,

устанавливаемого между рабочим органом и гидромотором.

На основании метода подконструкций разработана система дифференциальных и алгебраических уравнений для каждого элемента машины, а затем в результате композиции получена система уравнений, описывающих объемную гидравлическую трансмиссию машины в целом.

Гидронасосы [21, 22] представлены уравнениями:

$$P_H = P_1 + M_H \eta_{OH} / q_H; \quad (24)$$

$$Q_H = \frac{q_H \omega_H \eta_\Gamma}{2\pi}; \quad (25)$$

$$\omega_H = \omega_d i_p, \quad (26)$$

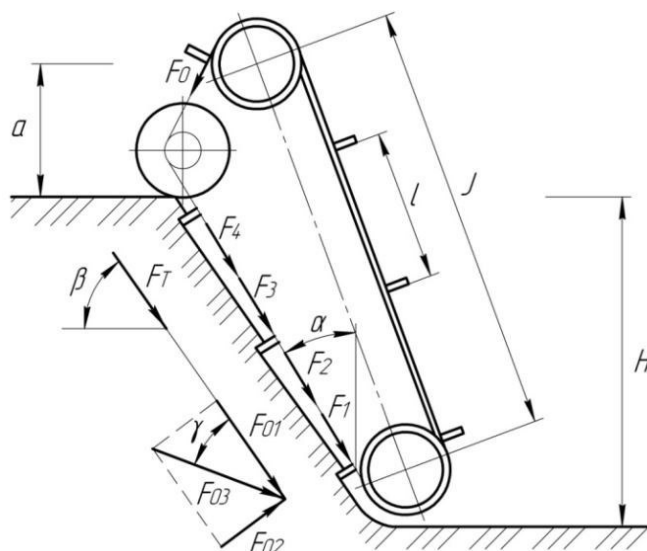


Рис. 3. Расчетная схема взаимодействия рабочего органа с грунтом

где Q_H – подача насоса; q_H – рабочий объем насоса; ω_H – угловая скорость вала насоса; M_H – крутящий момент на валу насоса; P_1, P_H – давления соответственно на входе и выходе; η_{OH}, η_Γ – КПД насоса соответственно объемный и гидромеханический; i_p – передаточное отношение редуктора, устанавливаемого между ДВС и гидронасосом.

Математическая модель гидромотора в [22] описана уравнениями:

$$M_M = q_{MH} e_H (P_{MH} - P_{MC}) \eta_{MM} - J_M \dot{\omega}_M; \quad (27)$$

$$\omega_M = Q_M \eta_{OM} / (2\pi q_{MH} e_H); \quad (28)$$

$$e_M = \frac{q_M}{q_{MH}}, \quad (29)$$

где Q_M – расход гидравлического мотора; q_{MH} – максимальный рабочий объем гидравлического мотора; q_M – рабочий объем гидравлического мотора; e_H – параметр регулирования ω_M – угловая скорость вала гидравлического мотора; J_M – момент инерции вращающихся масс, приведенный к валу гидравлического мотора; M_M – крутящий момент на валу гидравлического мотора; P_{MH}, P_{MC} – давления соответственно на входе и выходе; η_{MM}, η_{OM} – КПД гидравлического мотора соответственно объемный и гидромеханический.

Гидравлическая линия из [21] будет представлена уравнениями:

$$Q_M = Q_H - \frac{dP_H}{dt} k_{УПР}, \quad (30)$$

$$P_H = P_M + \lambda \frac{8yL_{TP}}{\pi^2 g d_{TP}^3}, \quad (31)$$

где Q_H, Q_M – расходы рабочей жидкости соответственно на входе и выходе из слива; P_H – давления соответственно на входе и выходе из слива; d_{TP} – диаметр; L_{TP} – длина; y – удельный вес рабочей жидкости; $k_{УПР}$ – параметр управления; g – ускорение свободного падения.

Тогда для математической модели соединения конструкций гидравлических элементов из [23] получим выражения:

$$P_{TC} = \frac{1}{2}(P_{CT1} + P_{CT2} - \frac{l_1 \cdot y_c}{2 \cdot g \cdot S_1^2} \cdot Q_{CT1}^2 - \frac{l_2 \cdot y_c}{2 \cdot g \cdot S_2^2} \sum Q_{CT2}); \quad (32)$$

$$Q_{TC} = Q_{CT1} + Q_{CT2}, \quad (33)$$

где P_{CT1}, P_{TC} – давления жидкости входных гидравлических линий; Q_{CT1}, Q_{CT2} – расходы жидкости входных гидравлических линий; P_{TC}, Q_{CT} – соответственно давление и расход в выходной гидравлических линии; l_1, l_2 – коэффициенты гидравлических сопротивлений гидравлических линий; S_1, S_2 – площади проходных сечений входных гидравлических линий.

Заключение

Для достижения цели составлена обобщенная математическая модель рабочего процесса цепного траншейного экскаватора, реализованная в среде программного продукта *MATLAB* в пакетном расширении *Simulink*, которая является составной частью САПР основных параметров устройства управления гидравлической объемной трансмиссией навесного оборудования подкопа цепного траншейного экскаватора.

Библиографический список

1. Ахтулов, А.Л. Разработка мероприятий по улучшению технологического процесса вскрытия и подкопа трубопроводов траншейным экскаватором / А.Л. Ахтулов, В.П. Лушников, П.В. Лушников, В.А. Осит // Омский научный вестник. – Омск: Изд-во ОмГТУ. – 2008. – № 1(64). – С. 57-59.
2. Базилевич, Л.А. Модели и методы рационализации и проектирования организационных структур управления / Л.А. Базилевич, Д.В. Соколов, Л.К. Франева. – Л.: ЛЭФИ, 2002. – 82 с.
3. Карпунин, М.Г. Жизненный цикл и эффективность машин / М.Г. Карпунин, Я.Г. Любинецкий, Б.И. Майданчик. – М.: Машиностроение, 2004. – 312 с.
4. Зуев, Ю.Ю. Основы создания конкурентоспособной техники и выработки эффективных решений / Ю.Ю. Зуев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 402 с.
5. Ахтулов, А.Л. Методология построения и практическое применение системы автоматизации проектирования транспортных машин / А.Л. Ахтулов // Вестник СибАДИ – 2005. – Вып.3. – С. 14-29.
6. Ахтулов, А.Л. Разработка экспериментально-расчетного метода определения параметров интенсивности режимов нагружения летательных аппаратов при вибрационных стендовых испытаниях: дисс... канд. техн. наук. – Омск, 1991. – 258 с.
7. Hower R.H. Integretet test plan 8 proc. of the Institute of environmental Scien-ses. – Los Angeles, 1980. – pp. 163-172.
8. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем / И.П. Норенков. – М.: Высшая школа, 1980. – 311 с.
9. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Мир, 1977. – 321 с.
10. Ахтулов, А.Л. Методика оценки качества процессов проектирования сложных технических устройств / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, А.В. Леонова // Омский научный вестник. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – № 3 (123). – С. 87-92.
11. ГОСТ 2.103-68 (2007): Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. – М.: Стандартинформ, 2011. – 6 с.
12. Ахтулов, А.Л. Разработка системы автоматизации проектирования цепного траншейного экскаватора / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова, В.А. Осит // Омский научный вестник. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – 53 с.

13. Щербаков, В.С. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора: монография / В.С. Щербаков, Р.Ю. Сухарев. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2011. – 149 с.

14. Зедгенизов, В.Г. Машины для прокладки гибких подземных коммуникаций. Теория и расчет: монография / В.Г. Зедгенизов. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005. – 176 с.

15. Ахтулов, А.Л. Алгоритм числового расчета реакций связи динамической системы сложной структуры / А.Л. Ахтулов, Л.Н. Ахтулова // Инновации. Интеллект. Культура. Матер. XVIII Всерос. науч.-практ. конф. - Тюмень: Изд-во «Нефтегазовый университет», 2010. – С. 96-100.

16. Суковин, М.В. Математическая модель рабочего процесса цепного траншейного экскаватора с гидрообъемной трансмиссией / М.В. Суковин Р.Ю. Сухарев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж: Том 5, № 12, – 2009. – С. 21- 27.

17. Федоров, Д.И. Рабочие органы землеройных машин – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.

18. Федоров Д. И., Бондарович Б. А. Надежность рабочего оборудования землеройных машин. – М.: Машиностроение. – 1981. – 280 с.

19. Домбровский, Н.Г. Многоковшовые экскаваторы / Н.Г. Домбровский. – М.: Машиностроение, 1972. – 432 с.

20. Недорезов, И.А. Моделирование взаимодействия скребкового рабочего органа цепного траншейного экскаватора с грунтом / И.А. Недорезов, В.Г. Зедгенизов, А.Н. Стрельников, С.А. Гусев // Строительные и дорожные машины. – 2002. – № 12. – С. 24-26.

21. Галдин, Н.С. Система автоматизации конструкторско-технологического проектирования рыхлителя активного действия / Н.С. Галдин, И.А. Семенова // Омский научный вестник. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – № 1 (36). – С. 85-87.

22. Дорожные машины. Часть I. Машины для земляных работ / Т.В. Алексеева., К.А. Артемьев, А.А. Бромберг и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.

23. Суковин, М.В. Система автоматизации моделирования рабочего процесса цепного траншейного экскаватора / М.В. Суковин, В.С. Щербаков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Том 6, № 2. – С. 132-135.

DEVELOP A MATHEMATICAL MODEL OF A CHAIN OF TRENCH EXCAVATOR

A.L. Ahtulov, L.N. Ahtulova, V.A. Osit

Abstract. The article presents a series of mathematical models of individual subsystems and the analysis of the simulation chain of trench excavator on the basis of which the generalized mathematical model to determine the key parameters in the design of the control device volumetric hydraulic transmission of attachments digging under a chain of trench excavator. The substantiation of criterion of efficiency of application of chain of trench excavator for the process of dissection and undermining of the pipeline.

Keywords: trench chain excavator, attachments for digging pipelines, hierarchical structure, structural element, mathematical model.

References

1. Ahtulov A.L. V.P. Lushnikov, P.V. Lushnikov, V.A. Osit Razrabotka meropriyatii po uluchsheniyu tehnologicheskogo processa vskriitiya i podkopa truboprovodov transheinih ekskavatorom [Development of actions for improvement of technological process of opening and undermining of pipelines by the trench excavator]. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2008, no 164. pp. 57-59.

2. Bazilevich L. A., D.V. Sokolov, L.K. Franeva *Modeli i metodi racionalizacii i proektirovaniya organizacionnih struktur upravleniya* [Model and methods of rationalization and design of organizational structures of management]. L LEFI 2002. p. 82.

3. Karpunin M.G., Lyubineckii Ya.G. Maidanchik B.I. *Jiznennii cikel i effektivnost mashin* [Life cycle and efficiency of cars]. Moscow, Mashinostroenie 2004. p. 312.

4. Zuev Yu.Yu. *Osnovi sozdaniya konkurentosposobnoi tehniki i virabotki effektivnih reshenii* [Bases of creation of competitive equipment and development of effective decisions]. Moscow, Izdatelskii dom MEI 2006. p.402.

5. Ahtulov A.L. Metodologiya postroeniya i prakticheskoe primenenie sistemi avtomatizacii proektirovaniya transportnih mashin [Metodologiya of construction and practical use of system of automation of design of transport vehicles]. *Vestnik SibADI*, 2005, no 3. pp. 14-29.

6. Ahtulov A.L. *Razrabotka eksperimentalno_raschetnogo metoda opredeleniya parametrov intensivnosti rejimov nagrujeniya letatelnykh apparatov pri vibracionnykh standovnykh ispytaniyakh diss kand. tehn. nauk.* [Development of an experimental-but-calculation method of determination of parameters of intensity of the modes of loading of aircraft at vibration bench tests: dis. cand.tech.sci]. Omsk 1991. p. 258.

7. Hower R. H. Integretet test plan 8 proc. of the Institute of environmental Scienses. Los Angeles 1980. pp. 163-172.

8. Norenkov I. P. *Vvedenie v avtomatizirovannoe proektirovanie tehnikeskikh ustroystv i sistem* [Introduction to the automated design of technical devices and systems]. Moscow, Visshaya shkola 1980. p. 311.

9. Harari F. *Teoriya grafov* [Theory of counts]. F. Harari. Moscow, Mir 1977. 321 p.

10. Ahtulov A.L., Ahtulova L.N., Leonova A.V. Metodika ocenki kachestva processov proektirovaniya slojnykh tehnikeskikh ustroystv [Metodika of an assessment of quality of processes of design of difficult technical devices]. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2013, no 3 -123. pp.87-92.

11. GOST 2.10368-2007, Edinaya sistema konstruktorskoi dokumentacii. Stadii razrabotki [State standard 2.103-68 (2007): Uniform system of design documentation. Development stages]. Moscow, Standartinform 2011. p 6 .

12. Ahtulov A.L., Ahtulova L.N., Osit V.A. Razrabotka sistemi avtomatizatsii proektirovaniya cepnogo transheinogo ekskavatora [Development of the system of automation of design of the chain trench excavator]. *Omskii nauchnii vestnik*, 2012. pp. 53.
13. Scherbakov V.S., Suharev R.Yu. *Sovershenstvovanie sistemi upravleniya rabochim organom cepnogo transheinogo ekskavatora monografiya* [Improvement of a control system of working body of the chain trench excavator: monograph]. Omsk Izdvo SibADI 2011. p. 249.
14. Zedgenizov V.G. *Mashini dlya prokladki gibkikh podzemnih kommunikatsii. Teoriya i raschet monografiya* [Cars for laying of flexible underground communications. Theory and calculation: monograph]. Irkutsk Izd vo IrGTU, 2005. 176 p.
15. Ahtulov A.L., Ahtulova L.N. Algoritm chislovogo rascheta reakcii svyazi dinamicheskoi sistemi slojnoi strukturi [Algorithm of numerical calculation of reactions of communication of dynamic system of difficult structure]. *Innovacii. Intellect. Kultura. Mater. XVIII Vseros. nauch.prakt. konf.* Tyumen Izd vo «Neftegazovii universitet» 2010. pp. 96-100.
16. Sukovin M.V., Scherbakov V.S. Matematicheskaya model rabocheho processa cepnogo transheinogo ekskavatora s gidroobemnoi transmissiei [Matematicheskaya model of working process of the chain trench excavator with hydrovolume transmission]. *Vestnik Voronejskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. Voronej Tom 6 № 2 2010. pp. 132-135.
17. Fedorov D.I. *Rabochie organi zemleroinih mashin* [Working bodies of digging cars]. Moscow, Mashinostroenie 1977. 288 p.
18. Fedorov D.I., Bondarovich B.A. *Nadezhnost rabocheho oborudovaniya zemleroinih mashin* [Bondarovich B. A. Nadezhnost of the working equipment of digging cars]. Moscow, Mashinostroenie. 1981. pp. 280.
19. Dombrovskii N.G. *Mnogokovshovie ekskavatori* [Mnogokovshovie excavators]. Moscow, Mashinostroenie 1972. p. 432.
20. Nedorezov I.A., Zedgenizov V.G., Strelnikov A.N., Gusev S.A. Modelirovanie vzaimodeistviya skrebkovogo rabocheho organa cepnogo transheinogo ekskavatora s gruntom [Modeling of interaction of the scraper worker of body of the chain trench excavator with soil]. *Stroitelnie i dorojnie mashini*, 2002, no 12. pp. 24-26.
21. Galdin N.S., Semenova I.A. Sistema avtomatizatsii konstruktorsko tehnologicheskogo proektirovaniya rihlatelya aktivnogo deistviya [Sistema of automation of game-struktorsko-technological design of the ripper of active action]. *Omskii nauchnii vestnik*, 2006, no 1-36. pp. 85-87.
22. *Dorojnie mashini. Chast I. Mashini dlya zemlyanij rabot* [Road cars. Part I. Cars for earthwork]. T.V. Alekseeva, K.A. Artemev, A.A. Bromberg i dr. Moscow, Mashinostroenie, 1972. pp. 504 p.
23. Sukovin M.V., Suharev R.Yu. Matematicheskaya model rabocheho processa cepnogo transheinogo ekskavatora s gidroobemnoi transmissiei [Sistema of automation of modeling of working process of the chain trench excavator]. *Vestnik Voronejskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2009, Tom 5 no 12,. pp. 21- 27.
- Ахтулов Алексей Леонидович (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, действительный член Международной академии авторов научных открытий и изобретений и Академии проблем качества, Почетный работник высшего профессионального образования, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО «ОмГУПС» (644046, Омск, пр. Маркса, 35, e-mail: ahtulov-al1949@yandex.ru).
- Ахтулова Людмила Николаевна (Россия, Омск) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Экономика транспорта, логистика и управление качеством» ФГБОУ ВПО «ОмГУПС» (644046, Омск, пр. Маркса, 35; e-mail: ahtulova.ludm@yandex.ru).
- Осит Вероника Александровна (Россия, Омск) – старший преподаватель кафедры «Управление качеством и производственными системами» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: nika-995@yandex.ru).
- Alexey L. Akhtulov (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, full member of the International Academy of authors of scientific discoveries and inventions and the Academy of quality problems, Honorary worker of higher professional education, Professor of the Department "Cars and rolling stock" Omsk State Transport University (644046, Omsk, Marksa 35; e-mail: ahtulov-al1949@yandex.ru).
- Lyudmila N. Akhtulova (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate Professor of "Economics of transport, logistics and quality management" Omsk State Transport University (644046, Omsk, Marksa 35; e-mail: ahtulova.ludm@yandex.ru).
- Veronica A. Osit (Russian Federation, Omsk) – is the highest teacher kafedrey "Quality management and production systems" of The Siberian automobile and highway academy (SIBADI) (644080, Mira, 5; e-mail: nika-995@yandex.ru).