

recommendations of the angle of inclination of the rear wall of the bucket to the vertical and location podnozhevoy plate.

Keywords: scraper, bucket of the scraper, rotor loading, calculation of parameters.

References

1. A.S. 1578269 SSSR MPK E02F 3/64. Skreper s rotornoj zagruzkoj [Scraper with rotary loading]. A.I. Demidenko; SibADI. 1990.
2. Artem'ev K.A. Osnovy teorii kopaniya grunta skreperami [Basic theory of digging soil scrapers]. Moscow, Sverdlovsk: Mashgiz, 1963. 128 p.
3. Demidenko A.I. Skreper s rotornoj zagruzkoj [Scraper with rotary loading bucket]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 2005, no 9. –pp. 6-7.
4. Trofimov A.P. Zemleroynye i pod'emonno - transportnye mashiny. [Digging and lifting - transporting machines]. Kiev, Budivel'nik, 1978. 368 p.
5. Dobronravov S.S., Dobronravov M.S. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie [Construction machinery and equipment]. Moscow, Vyssh. shk., 2006. 445 p.
6. Harhuta N.Ja Dorozhnye mashiny: uchebnik dlja vuzov [Road machines]. Moscow, Izd-vo Mashinostroenie, 1968. 416 p.
7. Demidenko A.I. Povyshenie jekfektivnosti skrepernyh agregatov: ucheb. posobie [Improved scraper units]. Omsk: Izdatel'stvo SibADI, 2005. 282 p.

Демиденко Анатолий Иванович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: antoooon-85@mail.ru).

комплексов и инфраструктур» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: antoooon-85@mail.ru).

Летопольский Антон Борисович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: antoooon-85@mail.ru).

Семкин Дмитрий Сергеевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: semkin_ds@sibadi.org).

Demidenko Anatoly Ivanovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, professor, The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: antoooon-85@mail.ru).

Anton B. Letopolski (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, Ass. Professor, The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: antoooon-85@mail.ru).

Semkin Dmitry Sergeyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: semkin_ds@sibadi.org).

УДК 621.879

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

В.Н. Кузнецова¹, В.В. Савинкин², А.Р. Ильясова²

¹ ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск;

² Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан;

Аннотация. В процессе выполнения наиболее энергоемких операций (внедрение ковша в грунт и отрыв стружки) на рабочий орган экскаватора действуют знакопеременные нагрузки, вызывая напряженность элементов ковша и рабочего оборудования. Надежность и работоспособность экскаватора, а также энергоемкость рабочего процесса зависят от обоснованности допустимых величин нагрузок и перераспределения их по элементам рабочего оборудования с учетом коэффициента запаса прочности. В статье обоснована актуальность и перспектива исследований энергоэффективности одноковшового экскаватора. По результатам исследований разработана методика проведения экспериментальных исследований, совмещенных с имитационным моделированием режимов нагружения одноковшового экскаватора.

Ключевые слова: энергоэффективность, эксперимент, алгоритм, моделирование, экскаватор.

Введение

Разработка грунта – сложный технологический процесс, требующий комплексного решения ряда сложных вопросов, одним из которых является выбор режимов работы и соответствие им оптимальных энергозатрат при заданной эксплуатационной производительности. Выбор режимов работы двигателя и гидропривода при разработке грунта с оптимальными технико-экономическими показателями определяется эксплуатационными и климатическими условиями [1 - 4].

Особое внимание уделено исследованию гидропривода экскаватора и процессы, происходящие в нем при переходных режимах.

Результаты теоретических и практических исследований

Исследованиями установлено, что наиболее энергоемкие процессы – внедрение ковша, отрыв слоя грунта и перемещение поворотной платформы на выгрузку [5-7]. Перечисленным процессам сопутствует изменение технико-экономических и технологических параметров основных систем одноковшового экскаватора. В большей степени эффективность рабочего процесса зависит не только от начальных значений характеристик гидропривода, но и от обеспечения оптимальных параметров на протяжении всего цикла работы при циклически изменяющихся нагрузочных режимах. Закономерности процессов изменения энергоемкости изучены не достаточно, а показатели эффективной работы имеют противоречия между динамической нагрузкой и технологическими и конструктивными параметрами элементов экскаватора, что указывает на необходимость глубокого исследования и решения научной проблемы, а также частной задачи по уточнению пределов варьирования значений энергоэффективности.

В итоге силовая установка, гидропривод, рабочее оборудование и среда

взаимодействия образуют сложную системную модель с множеством неизвестных и переменных. Исследование сложной системной модели необходимо проводить с максимальной точностью воссоздания реальных условий эксплуатации и учетом максимального количества факторов, действующих на систему [8].

Надежность и работоспособность экскаватора, а также энергоемкость рабочего процесса зависят от обоснованности допустимых величин нагрузок и перераспределения их по элементам рабочего оборудования с учетом коэффициента запаса прочности. Адекватное сочетание нагрузок расчетным положениям, по которым с большей степенью достоверности можно исследовать энергонапряженное состояние рабочего оборудования, должно быть сформировано с учетом следующих факторов [9-11]: позиционирование элементов рабочего оборудования в пространстве, величина, направленность и вид приложенных внешних сил формируют напряженность в элементах рабочего оборудования; угол внедрения режущей кромки ковша характеризует вид воздействия на грунт и влияет на значение коэффициента сопротивления грунта резанию; в разных сечениях одного элемента оборудования максимальные напряжения возникают не одновременно; конструктивные особенности ковша влияют на площадь контактной поверхности, силу трения и коэффициент слипаемости грунта с рабочим органом.

Внедрение инженерных разработок и результатов научных исследований с целью установления адекватности математических моделей и возможности адаптации их к реальным условиям обязывают провести эксплуатационные испытания экскаватора при разных режимах нагружения. Авторами предложен методика экспериментальных исследований с применением виртуальных комплексов и их программ, алгоритм которой представлен на рисунке 1.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

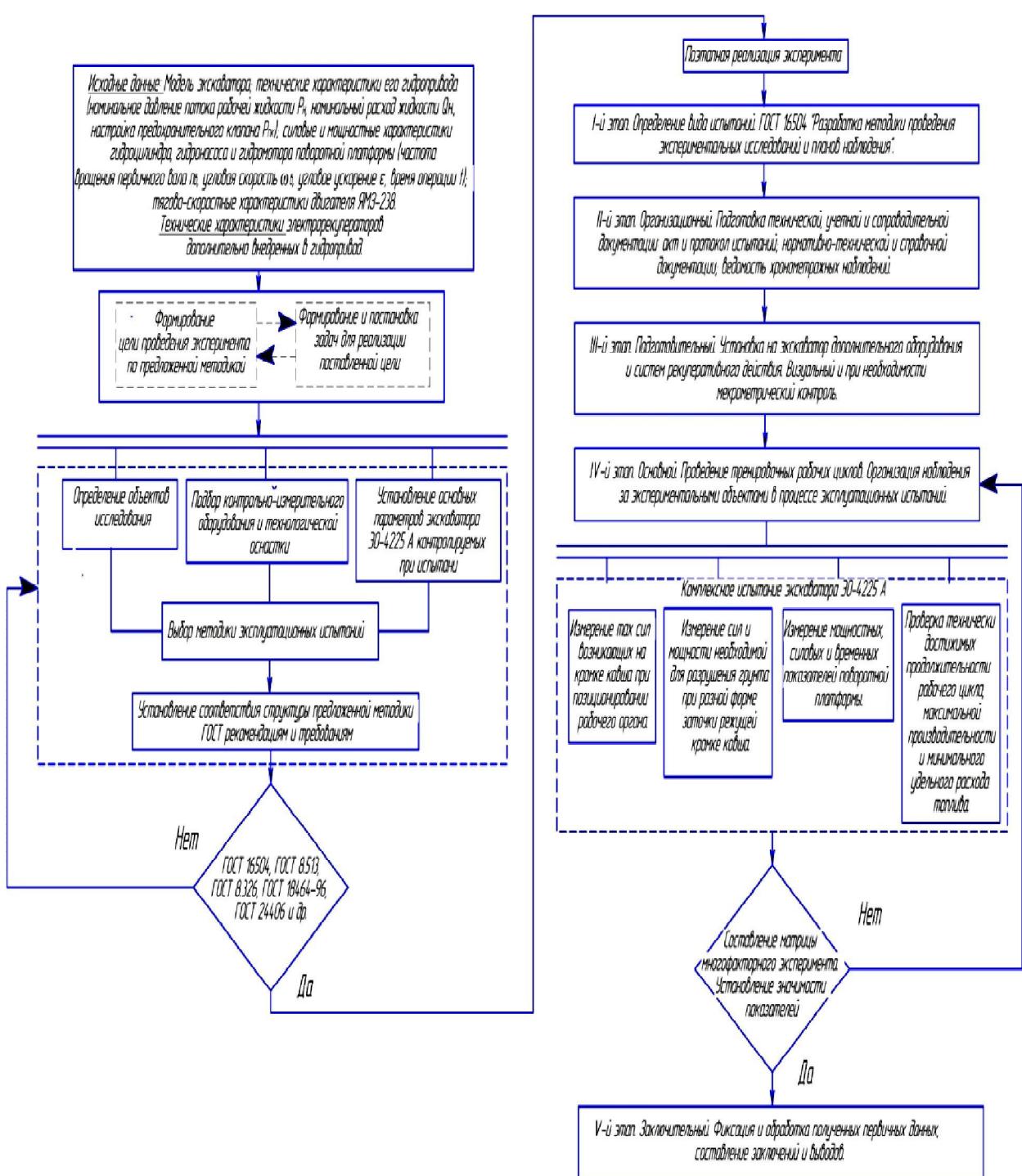


Рис. 1. Алгоритм реализации методики экспериментальных испытаний
энергоэффективного экскаватора

Этапы компьютерного моделирования будут включать: обработку концептуальной модели, выявление основных элементов системы и элементарных связей взаимодействия; выбор среды программного продукта и информационной площадки для реализации моделируемого эксперимента в зависимости от поставленных задач;

разработку математической модели рабочего процесса; разработку алгоритма и проведение компьютерного эксперимента; анализ и интерпретацию результатов, при необходимости, – последующее уточнение модели [8].

При проведении экспериментального исследования с элементами виртуального

имитационного моделирования процесса экскавации грунта одноковшовым экскаватором необходимо реализовать представление объекта или системы в форме, отличной от реальной, но максимум приближенной к алгоритмическому описанию, включающей и набор данных, характеризующих свойства системы, и динамику их изменения. Выполнить данную задачу по силам, применив математическое и компьютерное моделирование. Разработанные авторами имитационные модели в среде программного обеспечения будут использоваться для получения новых знаний о динамическом процессе энергонагружения гидропривода и для приближенной оценки поведения систем, слишком сложных для аналитического исследования.

Внедрение виртуальных комплексов и интеграция их с реальными объектами исследования обосновано тем, что является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Эффективное использование разработанной модель обусловлено тем, что появляется возможность проводить вычислительные эксперименты через алгоритм программы виртуального комплекса, поддерживающего обратную связь с взаимодействующей средой, и своевременно и адекватно реагировать на изменяющиеся режимы эксплуатации с учетом большого количества вероятностных факторов [12,13].

Выходы

1. Предложенная методика проведения эксперимента с имитационным моделированием режимов нагружения одноковшового экскаватора позволит повысить точность измерений величин нагрузок и перераспределения их по элементам рабочего оборудования одноковшового экскаватора с расширением границ идентификации полученных сигналов.

2. Предложен нетрадиционный подход натурных испытаний энергоемкости экскаватора при переходных режимах нагружения кинематической пары «ведущая шестерня - венец поворотного круга». Разработанная методика исследования процесса концентрации в зубчатом зацеплении напряжений изгиба и контакта подтвердила свою состоятельность и дала развитие научной концепции адаптации и управления силами сопротивления.

Библиографический список

1. ГОСТ 17752-81. Гидропривод объемный и пневмопривод. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 73 с.
2. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 109 с.
3. ГОСТ 30067-93. Экскаваторы одноковшовые универсальные полноповоротные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 28 с.
4. ГОСТ 12910-79. Экскаваторы одноковшовые универсальные. Правила приемки и методы периодических испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 7 с.
5. Зеленин, А.Н. Исследование разработки грунта гидравлическими экскаваторами / А.Н. Зеленин, В.П. Павлов, М.Я. Агароник, А.В. Королев, А.С. Перлов // Строительные и дорожные машины. – 1976. – № 10. – С. 9–11.
6. Кузнецова, В.Н. Развитие научных основ взаимодействия контактной поверхности рабочих органов землеройных машин с мерзлыми грунтами: дис.... д-ра техн. наук. – Омск, 2009. – 259 с.
7. Кузнецова, В.Н. Обоснование критериев оценки эффективности экскаватора KOMATSU PC300 / В.Н. Кузнецова, В.В. Савинкин // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 3. – С. 9–12.
8. Савинкин, В.В. Развитие теории энергоэффективности одноковшового экскаватора: дис.... д-ра техн. наук. – Омск, 2016. – 390 с.
9. Павлов, В.П. Алгоритм расчета силы и энергоемкости резания грунта по траектории большой кривизны / В.П. Павлов. – Воронеж: Вестник ВГТУ. – 2011. – Том 7. № 1. – С. 185–188.
10. Перепеловский, В.В. Технологии виртуального программирования / В.В. Перепеловский, Н.Р. Кириллова. – М.: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000. – 64 с.
11. Попович, В.М. Применение методов имитационного моделирования для выбора параметров строительно-дорожных машин / В.М. Попович. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1992. – 44 с.
12. Тарасов, В.Н. Энерго- и ресурсосберегающая технология уравновешивания сил тяжести рабочего оборудования стреловых машин / В.Н. Тарасов, И.В. Бояркина, М.В. Коваленко // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 5. – С. 46 – 50.
13. Федотов, М.В. Экспериментальное исследование энергетического гидравлического устройства / М.В. Федотов, К.А. Филонов, В.Ф. Щербаков // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 8. – С. 51-53.

RELEVANCE AND PROSPECT OF DEVELOPMENT OF IMITATING MODELLING AT RESEARCH OF WORKING PROCESS OF THE EXCAVATOR

B.H. Kuznetsova, V.V. Savinkin, A.R. Ilyasova

Abstract. In carrying out the most energy-intensive operations (introduction of the bucket into the ground and peel shavings) on the working of the excavator body are alternating loads, causing the tension elements of the bucket and the working equipment. Reliability and availability of the excavator and the energy intensity of the workflow depends on the validity of the acceptable values of loads and redistribution of the elements of the work equipment taking into account the safety factor. The article substantiates the relevance and perspective shovel energy research. According to the research the technique of experimental studies, combined with simulation modeling shovel loading conditions.

Keywords: energy efficiency, experiment, algorithm, modeling, excavator.

References

1. GOST 17752-81. *Gidroprivod ob'emyj i pnevmoprivod. Terminy i opredelenija* [State standard 17752-81. Hydraulic and pneumatic bulk. Terms and Definitions]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1988. 73 p.
2. GOST 21354-87. *Perekuchi zubchatye cilindricheskie jevol'ventnye vneshnego zaceplenija. Raschet na prochnost'* [State standard 21354-87. Cylindrical gears involute external engagement. Calculation of the strength]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1988. 109 p.
3. GOST 30067-93. *Jekskavatory odnokovshovye universal'nye polnopovorotnye. Obshchie tehnicheskie uslovija* [State standard 30067-93. Excavating machines, single-purpose full-turn. General specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1995. 28 p.
4. GOST 12910-79. *Jekskavatory odnokovshovye universal'nye. Pravila priemki i metody periodicheskikh ispytanij* [State standard 12910-79. Excavating machines, single-purpose. Acceptance rules and methods of periodic testing]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1980. 7 p.
5. Zelenin A.N., Pavlov V.P., Agaronik M.Ja., Korolev A.V., Perlov A.S. *Issledovanie razrabotki grunta gidravlicheskimi jekskavatorami* [Research excavation hydraulic excavators]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 1976, no 10. pp. 9–11.
6. Kuznecova V.N. *Razvitiye nauchnyh osnov vzaimodejstvija kontaktnoj poverhnosti rabochih organov zemleroynyh mashin s merzlymi gruntami dis d-ra tehn. nauk* [Development of scientific bases of interaction of the contact surface of the working bodies of earth-moving machines with the frozen soil: dis Dr. tehn. sciences]. Omsk, 2009. 259 p.
7. Kuznecova V.N., Savinkin V.V. *Obosnovanie kriteriev ocenki jeffektivnosti jekskavatora KOMATSU PC300* [Justification criteria for evaluating the effectiveness of the excavator KOMATSU PC300]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 2014, no 3. pp. 9–12.
8. Savinkin V.V. *Razvitie teorii jenergojeffektivnosti odnokovshovogo jekskavatora diss d-ra tehn. nauk* [Development of energy efficiency theory shovel Dis Dr. tehn. sciences]. Omsk, 2016. 390 p.
9. Pavlov V.P. *Algoritm rascheta sily i jenergoemkosti rezaniya grunta po traektorii bol'shoj krivizny* [Algorithm for calculating the force and energy of soil cutting along the greater curvature of the trajectory]. Vestnik VGTU, Tom 7, no 1, 2011. pp. 185–188.
10. Perepelovskij V.V., Kirillova N.R. *Tehnologii virtual'nogo programmirovaniya* [Virtual Programming]. Moscow, SPbGJeTU LJeTI, 2000. 64 p.
11. Popovich V.M. *Primenenie metodov imitacionnogo modelirovaniya dlja vybora parametrov stroitel'no-dorozhnyh mashin* [The use of simulation methods for options construction machinery]. Moscow, CNIITJestrojmarsh, 1992. 44 p.
12. Tarasov V.N., Bojarkina I.V., Kovalenko M.V. *Jenergo- i resursosberegajushhaja tehnologija uravnoveneshivanija sil tiazhesti rabochego oborudovanija strelovyh mashin* [Energy- and resource-balancing forces of gravity work equipment boom trucks]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 2007, no 5. pp. 46 – 50.
13. Fedotov M.V., Filonov K.A., Shherbakov V.F. *Jeksperimental'noe issledovanie jenergeticheskogo gidravlicheskogo ustroystva* [Experimental study of hydraulic power unit]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny, 2014, no 8. pp. 51–53.

Кузнецова Виктория Николаевна (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Савинкин Виталий Владимирович (Казахстан, г. Петропавловск) – кандидат технических наук, доцент Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаяева (150000, Казахстан, Петропавловск, ул. Пушкина, 86).

Ильясова А.Р. (Казахстан, г. Петропавловск) – магистрантка Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаяева (150000, Казахстан, Петропавловск, ул. Пушкина, 86).

Kuznetsova Viktoria Nikolaevna (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor of the Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

Savinkin Vitaliy Vladimirovich (Kazakhstan, Petropavlovsk) – candidate of technical sciences, of The North Kazakhstan state university of M. Kozybayev (150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, Pushkin St., 86).

Ilyasova A.R. (Kazakhstan, Petropavlovsk) there is a magistrantka of the North Kazakhstan state university of M. Kozybayev (150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, Pushkin St., 86).