



ТРАКТОРЫ И СЕЛЬХОЗМАШИНЫ

TRACTORS AND AGRICULTURAL
MACHINERY

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с февраля 1930 г.

5•2020

Выходит 6 раз в год

ISSN 0321-4443

DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5

Учредитель

- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет»

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 14.04.2017
ПИ № ФС77-69443

Журнал входит в перечень ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней, а также в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Издатель

Московский Политех

Адрес издательства:

115280, Москва, Автозаводская, 16
Тел. (495) 276-33-67
E-mail: izdat.mospolytech@yandex.ru
Сайт: www.mospolytech.ru

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу «Пресса России» – индекс 27863, а также в агентствах: «Информнаука», тел. (495) 787-38-73, gladkih@viniti.ru; «Урал-Пресс», тел. (495) 789-86-36, e_timoshenkova@ural-press.ru; «МК-Периодика», тел. (495) 672-70-89, chernous@periodicals.ru

Перепечатка материалов из журнала возможна при обязательном письменном согласии редакции.
При перепечатке ссылка на журнал «Тракторы и сельхозмашины» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

За приводимые в статьях факты, точность расчетов и экспериментальных данных, а также за точность цитирования и ссылок на источники ответственность несут авторы.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

КАМИНСКИЙ Валерий Наумович — профессор, доктор технических наук; профессор Московского политехнического университета, заслуженный работник промышленности Московской области, член Экспертного совета ветеранов (старейшин) отрасли поршневого двигателестроения России, член редколлегии журнала «Известия МГТУ „МАМИ“» (Москва, Россия)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

ЛЕПЁШКИН Александр Владимирович — профессор, кандидат технических наук; профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Московского политехнического университета, доцент кафедры «Гидромеханика и гидропневмоавтоматика» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, и. о. главного редактора журнала «Известия МГТУ „МАМИ“»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

БАХМУТОВ Сергей Васильевич — профессор, доктор технических наук; заместитель генерального директора по научной работе Государственного научного центра РФ «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“» (Москва, Россия)

ГОДЖАЕВ Захид Адыгезалович — член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук; заместитель директора по инновационной и внедренческой деятельности Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства) (Москва, Россия)

ГОРОДЕЦКИЙ Константин Исаакович — заслуженный машиностроитель РФ, профессор, доктор технических наук; профессор Московского политехнического университета (Москва, Россия)

ДЕВЯНИН Сергей Николаевич — профессор, доктор технических наук; профессор кафедры «Тракторы и автомобили» Российского государственного аграрного университета — МСХА (Московская сельскохозяйственная академия) имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ЕРОХИН Михаил Никитьевич — академик РАН, академик РАСХН, доктор технических наук; профессор кафедры «Сопротивление материалов и детали машин» Российского государственного аграрного университета — МСХА (Московская сельскохозяйственная академия) имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ЖАЛНИН Эдуард Викторович — заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор технических наук; заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства) (Москва, Россия)

ИЗМАЙЛОВ Андрей Юрьевич — академик РАН, член-корреспондент РАСХН, доктор технических наук; директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства) (Москва, Россия)

КОВАЛЁВ Михаил Михайлович — заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук; научный руководитель Федерального научного центра лубяных культур (Тверь, Россия)

КОТИЕВ Георгий Олегович — заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор технических наук; профессор, заведующий кафедрой «Колесные машины» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

КУТЬКОВ Геннадий Михайлович — заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор, доктор технических наук; профессор кафедры «Тракторы и автомобили» Российского государственного аграрного университета — МСХА (Московская сельскохозяйственная академия) имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ЛАЧУГА Юрий Фёдорович — академик РАН, академик РАСХН, доктор технических наук; академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, председатель Экспертного совета Отделения сельскохозяйственных наук РАН, главный редактор журнала «Российская сельскохозяйственная наука» РАН (Москва, Россия)

ЛОБАЧЕВСКИЙ Яков Петрович — академик РАН, доктор технических наук; первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства) (Москва, Россия)

ЛЯШЕНКО Михаил Вольфредович — профессор, доктор технических наук; заведующий кафедрой «Транспортные машины и двигатели» Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, Россия)

МАРЧЕНКО Андрей Петрович — профессор, доктор технических наук; профессор кафедры ДВС, проректор по научной работе НТУ ХПИ (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»), заместитель главы Совета проректоров по научной работе ВУЗов Украины, академик Академии высшей школы Украины, член-корреспондент Инженерной академии Украины (Харьков, Украина)

НАТРИАШВИЛИ Тамаз Мамиевич — академик Национальной академии наук Грузии, профессор, доктор технических наук; профессор Института механики машин им. Р. Двали (ИММ), директор ИММ; лауреат Национальной премии Грузии в области науки (Тбилиси, Грузия)

ПРЕДИГЕР Виктор — профессор, доктор технических наук; профессор Университета прикладных наук (Оснабрюк, Германия)

СКВОРЦОВ Аркадий Алексеевич — профессор, доктор физико-математических наук; профессор, проректор по исследованиям и разработкам Московского политехнического университета (Москва, Россия)

СОЛОВЬЁВ Рудольф Юрьевич — доцент, кандидат технических наук; директор Центра сельскохозяйственного машиностроения Государственного научного центра РФ «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт „НАМИ“» (Москва, Россия)

СТАСИЛЕВИЧ Андрей Георгиевич — генеральный конструктор ОАО «МТЗ» (Минский тракторный завод) (Минск, Беларусь)

ФОМИН Валерий Михайлович — профессор, доктор технических наук; профессор кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики» Московского политехнического университета (Москва, Россия)

ФУКС Кристиан — доктор технических наук; менеджер проекта по системам больших двигателей международной инженеринговой компании AVL List (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List — «Институт двигателей внутреннего сгорания „Лист“») (Грац, Австрия)

ШУМАН Олаф — генеральный директор ООО «ФЭВ Рус» международной инженеринговой компании FEV (Forschungsgesellschaft für Energietechnik und Verbrennungsmotoren — «Исследовательская компания по силовым агрегатам и двигателям внутреннего сгорания») (Аахен, Германия)

EDITOR-IN-CHIEF

Valery N. KAMINSKY – Professor, DSc in Engineering; Professor of Moscow Polytechnic University, Honorary Worker of Industry of the Moscow Region, Member of the Veterans (Elders) Expert Council of the Russian Piston Engine Industry; Member of the Editorial Board of Vehicles and Power Plants (Izvestiya MAMI) Journal (Moscow, Russia)

EXECUTIVE EDITOR

Alexander V. LEPESHKIN – Professor, PhD in Engineering; Professor of the “Industrial Heat Power Engineering” Department of Moscow Polytechnic University, Associate Professor of the “Hydromechanics and Hydropneumatic Automation” Department of Bauman Moscow State Technical University; Acting Editor-in-Chief of the Vehicles and Power Plants (Izvestiya MAMI) journal

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Sergey V. BAKHMUTOV – Professor, DSc in Engineering; Professor, Deputy CEO for Research of the State Research Center of the Russian Federation NAMI (Moscow, Russia)

Zakhid A. GODZHAEV – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, DSc in Engineering; Professor, Deputy Director for Innovation and Implementation Activities of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization) (Moscow, Russia)

Konstantin I. GORODETSKIY – Honorary Mechanical Engineer of the Russian Federation, Professor, DSc in Engineering; Professor of Moscow Polytechnic University (Moscow, Russia)

Sergey N. DEVYANIN – Professor, DSc in Engineering; Professor of the “Tractors and Automobiles” Department of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Mikhail N. YEROKHIN – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Full Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, DSc in Engineering; Professor of the “Strength of Materials and Machinery Parts” Department of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Eduard V. ZHALNIN – Honorary Scientist of the Russian Federation, Professor, DSc in Engineering; Head of the Department of Technologies and Equipment for Grains, Grain Legumes and Oilseeds of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization) (Moscow, Russia)

Andrey Yu. IZMAYLOV – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, DSc in Engineering; Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization) (Moscow, Russia)

Mikhail M. KOVALEV – Honorary Inventor of the Russian Federation, DSc in Engineering; Research Advisor of the Federal Scientific Center for Bast Crops (Tver, Russia)

George O. KOTIEV – Honorary Scientist of the Russian Federation, Professor, DSc in Engineering; Professor of Bauman Moscow State Technical University, Head of the “Wheeled Vehicles” Department (Moscow, Russia)

Gennadiy M. KUTKOV – Honorary Scientist of the Russian Federation, Professor, DSc in Engineering; Professor of the “Tractors and Automobiles” Department of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Yury F. LACHUGA – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Full Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering; Chairman of the Expert Council of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Editor-in-Chief of the Russian Agricultural Science journal of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Yakov P. LOBACHEVSKIY – Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc in Engineering; First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization) (Moscow, Russia)

Mikhail V. LYASHENKO – Professor, DSc in Engineering; Head of the “Vehicles and Engines” Department of Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

Andriy P. MARCHENKO – Professor, DSc in Engineering; Professor of the “Internal Combustion Engines” Department, Vice-Rector for Scientific-and-Research Work of National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute; Deputy Head of the Council of Vice-Rectors for Scientific and Research Work of Universities of Ukraine, Full Member of the Academy of Higher School of Ukraine, Corresponding Member of the Engineering Academy of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Tamaz M. NATRIASHVILI – Full Member of the Georgian National Academy of Sciences, Professor, DSc in Engineering; Professor of Rafiel Dvali Institute of Machine Mechanics (IMM), Director of IMM; Laureate of the Georgian National Prize in Science (Tbilisi, Georgia)

Viktor PREDIGER – Professor, DSc in Engineering (Dr.-Ing.); Professor of Osnabrück University of Applied Sciences (Osnabrück, Germany)

Arkadiy A. SKVORTSOV – Professor, DSc in Physics and Mathematics; Professor of Moscow Polytechnic University, Vice-President for Research and Development (Moscow, Russia)

Rudolf Yu. SOLOVYEV – Associate Professor, PhD in Engineering; Director of the Center for agricultural engineering at the State Research Center of the Russian Federation NAMI (Moscow, Russia)

Andrey G. STASILEVICH – General Designer of Minsk Tractor Works (Minsk, Belarus)

Valeriy M. FOMIN – Professor, DSc in Engineering; Professor of the “Power Plants for Transport and Small-Scale Power Generation” Department of Moscow Polytechnic University (Moscow, Russia)

Christian FUCHS – DSc in Engineering; Project Manager for Large Engine Systems, International Engineering Company AVL List (Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List) (Graz, Austria)

Olaf SCHUMANN – CEO of LLC FEV Rus, International Engineering Company FEV (Forschungsgesellschaft für Energietechnik und Verbrennungsmotoren) (Aachen, Germany)

СОДЕРЖАНИЕ	5 • 2020	CONTENTS
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	ENVIRONMENTALLY CLEAN TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT	
Сиротин П.В. Синтез закона оптимального управления системой активной динамической стабилизации движения самоходной машины с навесным рабочим органом	Sirotin P.V. Synthesis of the law of optimal control of the system of active dynamic stabilization of the movement of a self-propelled machine with a mounted working body	5
НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	NEW MACHINES AND EQUIPMENT	
Антипов Ю.А., Вальехо Малбдонадо П.Р., Ощепков П.П., Шаталов И.К., Шаталова И.И. Эффективность когенерационной установки на базе дизельного двигателя при неравномерном графике электрической нагрузки	Antipov YU.A., Val'yekho Malbdonado P.R., Oshchepkov P.P., Shatalov I.K., Shatalova I.I. Efficiency of a cogeneration plant based on a diesel engine under uneven electrical load conditions	13
Годжаев З.А., Лавров А.В., Шевцов В.Г., Зубина В.А. О методике оценки уровня локализации производства сельскохозяйственных тракторов	Godzhayev Z.A., Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Zubina V.A. The methodology for assessing the level of localization of agricultural tractors production	18
ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ	THEORY, DESIGN, TESTING	
Путинцев С.В., Стрельникова С.С., Аникин С.А. Расчет и идентификация координаты выброса струи масла из зазора вращающегося шатунного подшипника	Putintsev S.V., Strelnikova S.S., Anikin S.A. Calculation and identification of the coordinate of oil jet ejection from the gap of a rotating connecting rod bearing	25
КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ	QUALITY, RELIABILITY	
Хараев Г.И., Шуханов С.Н. Модернизация технического средства для разделения зерносоломистого вороха	Harayev G.I., Shukhanov S.N. Modernization of technical means for separation of grain-grain graff	33
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА	ECONOMICS, ORGANIZATION AND TECHNOLOGY OF MANUFACTURING	
Пискунов М.А. Исследование стоимости харвестеров на вторичном рынке как аспекта изменения их технического состояния	Piskunov M.A. Research on the price of harvesters in the secondary market as an aspect of changing their technical condition	37

СИНТЕЗ ЗАКОНА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ АКТИВНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ САМОХОДНОЙ МАШИНЫ С НАВЕСНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

SYNTHESIS OF THE LAW OF OPTIMAL CONTROL OF THE SYSTEM OF ACTIVE DYNAMIC STABILIZATION OF THE MOVEMENT OF A SELF-PROPELLED MACHINE WITH A MOUNTED WORKING BODY

П.В. СИРОТИН, к.т.н.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, Ростовская обл., Россия, spv_61@mail.ru

P.V. SIROTIN, PhD in Engineering

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia, spv_61@mail.ru

Работа посвящена созданию разработки систем и технических устройств для снижения динамических нагрузок, действующих на операторов и несущую систему самоходных машин. Сформулирована ее цель, заключающаяся в разработке алгоритма и закона оптимального управления системой стабилизации. Определен набор решаемых для этого задач, выделены требования к информационному полю, обоснована элементная база системы стабилизации. Сформулирована задача оптимального управления системой стабилизации. Представлена разработка закона управления системой стабилизации движения самоходных колесных машин на основе принципа активного инерциального гашения колебаний. Разработан закон оптимального управления системой стабилизации с возможностью корректирования требований по затуханию и виду переходного процесса. На основе квадратичных интегральных критериев выделены показатели оценки качества управления системой. Обосновано, что для системы стабилизации корпуса комбайна необходимо регулирование выходных переменных, таких как угловая скорость корпуса и угол продольного наклона корпуса комбайна. Рассмотрена линеаризованная модель продольно-углового движения комбайна, представлены уравнения, связывающие закономерности возмущенного движения корпуса и закон оптимального управления. С помощью имитационного моделирования показана эффективность предложенного способа стабилизации и закона управления системой стабилизации в части снижения продольных углов наклона корпуса при движении по асфальтобетонному шоссе и грунтовой дороге. Показана эффективность предложенного закона управления для подавления тангажа корпуса комбайна при экстренном торможении. Приведены расчетные значения мощности, затрачиваемой на управление системой стабилизации для рассматриваемых режимов движения. На основе расчетов показано, что в общем энергетическом балансе комбайна затраты мощности на управления незначительны, что подтверждает работоспособность предложенного способа стабилизации и закона управления. Сделаны выводы, определены этапы и направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн, плавность хода, стабилизация движения, алгоритм управления, эффективность, работоспособность.

Для цитирования: Сиротин П.В. Синтез закона оптимального управления системой активной динамической стабилизации движения самоходной машины с навесным рабочим органом // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2020. № 5. С. 5–12. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-5-12.

The paper is devoted to the development of systems and technical devices for reduction of dynamic loads acting on operators and the supporting system of self-propelled vehicles. The goal of the paper is to develop an algorithm and a law of optimal control of the stabilization system. The set of tasks to be solved for this is determined, the requirements for the information field are highlighted, the element base of the stabilization system is substantiated. The problem of optimal control of the stabilization system is formulated. The development of a law of control of the stabilization system of the movement of self-propelled wheeled vehicles based on the principle of active inertial vibration damping is presented. The law of optimal control of the stabilization system with the possibility of correcting the requirements for attenuation and the type of transient process was developed. On the basis of quadratic integral criteria, the indicators for assessing the quality of system control are distinguished. It is substantiated that for the system of stabilization of the harvester body it is necessary to regulate the output variables, such as the angular velocity of the body and the angle of the longitudinal inclination of the harvester body. A linearized model of the longitudinal-angular motion of the combine is considered, the equations that connect the laws of the disturbed motion of the body and the law of optimal control are presented. With the help of simulation modeling, the effectiveness of the proposed stabilization method and the law of control of the stabilization system in terms of reducing the longitudinal angles of inclination of the body when driving on an asphalt-concrete highway and a dirt road are shown. The effectiveness of the proposed law of control for suppressing the pitch of the combine body during emergency braking is shown. The calculated values of the power spent on control of the stabilization system for the considered driving modes are given. On the basis of calculations, it is shown that in the total energy balance of the combine, the power consumption for control is insignificant, which confirms the efficiency of the proposed stabilization method and the law of control. Conclusions are drawn, stages and directions of further research are determined.

Keywords: forage harvester, smooth running, motion stabilization, control algorithm, efficiency, performance.

Cite as: Sirotnin P.V. Synthesis of the law of optimal control of the system of active dynamic stabilization of the movement of a self-propelled vehicle with a mounted working body. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 5, pp. 5–12 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-5-12.

Введение

Развитие аграрно-промышленного комплекса является одним из приоритетных направлений экономики страны и во много определяется производительностью и эффективностью используемых машин и механизмов [1], в том числе зерноуборочных комбайнов (ЗУК) и кормоуборочных комбайнов (КУК), как наиболее энергоемких самоходных транспортно-технологических машин. В последние годы важное место в мировом комбайностроении отведено повышению производительности и комфортности на рабочем месте, что в большей степени может быть обеспечено уменьшением действующих на корпус комбайна нагрузок в виде силовых и кинематических возмущений широкого частотного диапазона [2–4]. Исследование динамики движения и разработка нетрадиционных технических средств и систем снижения динамических нагрузок на ЗУК и КУК – актуальная задача, реализация которой является одним из условий перехода к ведению эффективного и экологически безопасного агрохозяйства [5, 6].

Исторически сложившаяся компоновка современных самоходных комбайнов имеет ряд особенностей, что усложняет и даже делает невозможным применение известных способов и систем поддрессоривания транспортного машиностроения [7]. Разработанный автором способ [8] стабилизации движения самоходных машин предполагает снижение негативных явлений, связанных с галопированием самоходной машины, путем приложения к ее корпусу стабилизирующих усилий при принудительном повороте подвижной составной части машины с помощью исполнительного привода (рис. 1). Подвижная составная часть машины 1 в виде навесного адаптера, расположенного спереди, имеет за счет исполнительного привода 2 и шарнирного соединения с корпусом машины 3 одну вращательную степень свободы относительно центра качания О. Представленный пример КУК RSM 2650 (рис. 1, а) рассмотрен как двух-массовая динамическая система, а указанное стабилизирующее усилие, действующее на корпус машины 3, может быть реализовано со стороны исполнительного привода 2 при повороте подвижной составной части машины 1 относительно центра качания О (рис. 1, б) [8]. Реализация указанного способа возможна на основе активной системы с динамическим управлением. В данной работе предполагается, что активная

система требует подведения энергии от внешних источников, а динамическое управление осуществляется в режиме реального времени с текущим (мгновенным) изменением значений фазовых координат.

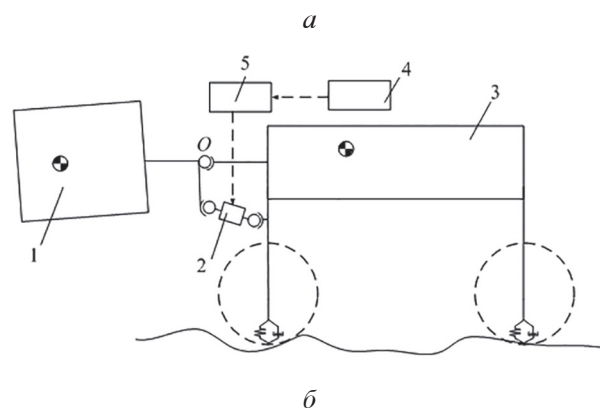


Рис. 1. Кормоуборочные комбайны RSM 2650 (а)
и его динамическая модель (б)
с системой стабилизации движения

Таким образом, предлагаемая система обязательно должна включать набор датчиков состояния 4 и блока управления 5, которые, подавая сигналы на исполнительный привод 2, должны обеспечивать поворот подвижной части 1 с определенными кинематическими параметрами для достижения заданного уровня стабилизации корпуса 3 (рис. 1, б).

Эффективность и возможность реализации в серийных технических объектах систем активного инерциального динамического гашения и поддрессоривания во многом определяются точностью, быстродействием и стоимостью аппаратных и программных компонентов системы [9, 10]. На данном этапе разработки предлагаемой системы ее развитие во многом будет предопределено совершенством системы управления, которая обеспечит достижение заданного уровня виброзащитных свойств ЗУК и КУК, подтвердит ее эффективность и жиз-

неспособность, ускорит процесс внедрения. Таким образом необходимо разработать алгоритм и закон оптимального управления системой активной инерциальной динамической стабилизации движения ЗУК и КУК, а также близких к ним по компоновке транспортно-технологических машин.

Задачу оптимального управления можно сформулировать при наличии следующих условий [11]:

- цель управления, математически представленная в виде некоторого функционала или критерия управления;
- уравнения системы (обычно в виде уравнений состояния);
- система граничных условий в начальный и конечный момент времени;
- система ограничений, которым должны удовлетворять переменные состояния и управления.

Цель исследований

Создание эффективной системы управления активным инерциальным гасителем путем поиска вектора управления, при котором условие оптимальности системы соблюдается в случае достижения максимума или минимума функционала [9].

Материалы и методы

Синтез системы оптимального управления основан на применении квадратичного интегрального критерия, содержащего координаты объекта и управления [9]. Поскольку из-за особенностей компоновки и колебаний при движении комбайнов [2, 3, 12] корпус имеет относительно малые углы отклонения, то модель его продольно-углового движения рассмотрена линеаризованной (рис. 2).

Для анализа рассмотрена динамическая модель КУК, включающая подвижную составную часть 1 в виде адаптера, гидроцилиндр 2, корпус 3. Шарниры O , N и K обеспечивают подвижность адаптера 1 относительно корпуса 3 (рис. 2). Для характеристики исследуемого класса объектов управления сформулировано требование к их желаемому движению, обусловленное общими технологическими и экономическими критериями функционирования реального объекта. В качестве оптимизируемого функционала (критерия качества) интегрального типа [10] приняты выходные переменные, такие как угловая скорость корпуса ω_c и угол продольного наклона корпуса φ_c , соответствующие требуемому уровню плавности хода и вибронагруженности. Требуемый динамический стабилизирующий момент $M_{дс}$ формируется путем принудительного поворота адаптера 1 относительно корпуса 3 на угол φ_0 с требуемой угловой скоростью ω_0 (рис. 2).

Оценка эффективности разрабатываемой системы стабилизации движения проведена на основе ранее разработанной и верифицированной автором математической и имитационной модели движения ЗУК и КУК [14]. Сравнительные испытания проведены путем сопоставления спектральных плотностей углов продольного наклона корпуса для комбайнов без системы стабилизации (исходное состояние) и при ее включении. Количественная оценка эффективности системы стабилизации проведена путем сравнения параметров движения, в качестве которых была принята спектральная плотность углов продольного наклона корпуса комбайна. Для оценки работоспособности с помощью имитационного моделирования определены требуемые затраты мощности на управление системой стабилизации.

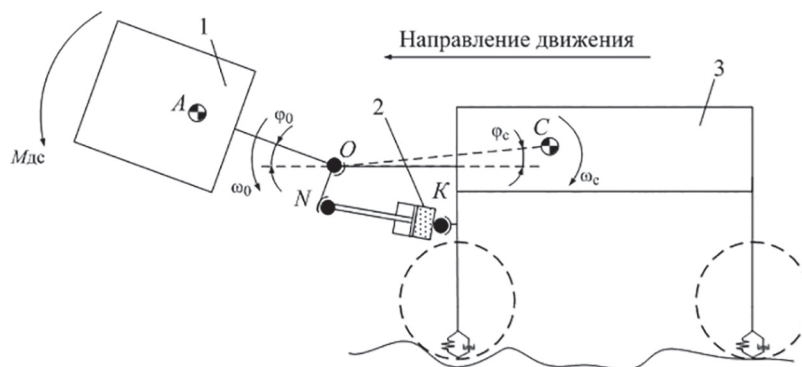


Рис. 2. Схема работы системы стабилизации корпуса самоходного комбайна

Результаты и обсуждение

Для расчетной схемы на рис. 2 упрощенное уравнение возмущенного движения корпуса комбайна, достаточно точно описывающие его колебания в указанной области изменения фазовых координат, имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\omega_c}{dt} = -\frac{1}{J_{к+ад}}(M_{дс} - M_{ст}); \\ \Delta\dot{\varphi}_c = \Delta\omega_c, \end{cases} \quad (1)$$

где $J_{к+ад}$ – момент инерции корпуса с адаптером относительно центра масс КУК; Δ – символ приращения фазовой переменной за время dt ; $M_{дс}$ – динамический стабилизирующий момент; $M_{ст} = m_{ад}g(X_A - X_O)$ – статический момент от веса адаптера; $m_{ад}$ – масса адаптера; X_A , X_O – продольные координаты точек A и O (см. рис. 2) в связанной с центром масс корпуса системе координат перед началом движения, соответственно.

Значение $J_{к+ад}$ является переменным при движении КУК и определяется как:

$$J_{к+ад} = J_{к} + J_{ад} + m_{ад}|AC|^2;$$

$$|AC|^2 = |AO|^2 + |OC|^2 + 2|AO||OC|\cos(\beta + \varphi_0),$$

где $J_{к}$ – момент инерции корпуса без адаптера относительно центра масс КУК; $J_{ад}$ – момент инерции адаптера относительно его центра масс; $| \dots |$ – символ расстояния между точками.

Введем обозначения. Пусть $x_1 = \varphi_c$ – угол наклона корпуса; $x_2 = \omega_c$ – угловая скорость; $M_{дс} - M_{ст} = u$; $J_{к+ад} = j$. Тогда система (1) запишется в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dx_2}{dt} = -\frac{1}{j}u; \\ \dot{x}_1 = x_2. \end{cases} \quad (2)$$

Требуется найти управление, которое доставляет минимум функционалу:

$$J(x, u) = \int_0^\infty \left[r \cdot u^2 + \sum_{i=1}^2 q_i \cdot x_i^2 \right] dt, \quad (3)$$

где $r > 0$; $q_i > 0$; x , u – вектора состояния и управления объекта соответственно.

При этом потребуем, чтобы удовлетворялись следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} x_1(0) &= x_{10}; \quad x_2(0) = x_{20}; \\ x_1(\infty) &= 0; \quad x_2(\infty) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Сформулированная выше задача представляет собой задачу Лагранжа на условный экстремум [13]. В соответствии с методом решения задачи Лагранжа составим вспомогательный функционал:

$$\begin{aligned} J(x, u) &= \int_0^\infty \left[r \cdot u^2 + \sum_{i=1}^2 q_i \cdot x_i^2 + \sum_{i=1}^2 \lambda_i(t) \times \right. \\ &\quad \left. \times x_i - \sum_{k=1}^2 a_{ik} \cdot x_k - b \cdot u \right] dt; \\ A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1/J \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (5)$$

Запишем для функционала (5) систему уравнений Эйлера – Лагранжа:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_i} = 0, \quad i = 1, 2; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial u_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{u}_i} = 0, \quad i = 1, 2, \end{cases} \quad (6)$$

где $\Phi(x_i, u_i, t)$ – подынтегральная функция функционала (3).

Добавив к уравнениям (6) уравнения связей (2), получим следующую систему сопряженных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2; \\ x_2 = \frac{1}{2J^2r} \lambda_2; \\ \dot{\lambda}_1 = 2q_1 x_1; \\ \dot{\lambda}_2 = 2q_2 x_2 - \lambda_1. \end{cases} \quad (7)$$

Запишем характеристическое уравнение для линейной однородной системы дифференциальных уравнений (7):

$$D(\mu) = \begin{bmatrix} -\mu & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\mu & 0 & 1/(2J^2r) \\ 2 \cdot q_1 & 0 & -\mu & 0 \\ 0 & 2 \cdot q_2 & -1 & -\mu \end{bmatrix}, \quad (8)$$

или

$$\frac{\mu^4 \cdot J^2 r - q_2 \cdot \mu^2 + q_1}{r \cdot J^2} = 0.$$

Так как $r > 0$, то корни характеристического уравнения будут равны:

$$\mu_{1,2,3,4} = \pm \left[\frac{2}{J^2 r} \cdot \left(q_2 \pm \sqrt{q_2^2 - 4J^2 r \cdot q_1} \right) \right]^{0,5}.$$

Согласно граничным условиям (4) отбросим собственные числа, лежащие в правой полуплоскости, что приводит к синтезу устойчивой системы автоматического управления. Далее известными методами определим общее решение системы (7):

$$x_1(t) = C_1 \exp(\mu_3 t) + C_2 \exp(\mu_4 t);$$

$$x_2(t) = C_1 \mu_3 \exp(\mu_3 t) + C_2 \mu_4 \exp(\mu_4 t), \quad (9)$$

где μ_3, μ_4 – корни характеристического уравнения (8), которые расположены в левой полуплоскости.

Разрешим равенства (9) относительно $C_2 \exp(\mu_3 t)$ и $C_2 \exp(\mu_4 t)$. Получим:

$$C_1 \exp(\mu_3 t) = \frac{x_1 \cdot \mu_4 - x_2}{\mu_4 - \mu_3};$$

$$C_2 \exp(\mu_4 t) = \frac{x_2 - \mu_3 x_1}{\mu_4 - \mu_3}.$$

Тогда из второго уравнения системы (2) найдем оптимальное управление:

$$u = \mu_4 - \mu_3 \cdot J \cdot \left[-x_1 + \frac{\mu_4 + \mu_3}{\mu_4 \cdot \mu_3} \cdot x_2 \right]. \quad (10)$$

Система (1) с управлением (10) будет устойчивой, т.к. корни ее характеристического уравнения μ_3 и μ_4 расположены в левой полуплоскости. Полученное выражение (10) может быть использовано для оптимального управления пропорционально-дифференциальным регулятором.

Перейдя к начальным переменным, получим:

$$M_{дс} = -J_{к+ад} C_1 (\Delta \varphi_c) + J_{к+ад} C_2 (\Delta \omega_c) + M_{ст};$$

$$C_1 = \mu_3 \cdot \mu_4; \quad C_2 = \mu_3 + \mu_4, \quad (11)$$

где C_1, C_2 – коэффициенты.

Значения коэффициентов C_1 и C_2 в управлении определяют на основании требований к времени затухания и виду переходного процесса в системе, а также времени перерегулирования.

Оценка эффективности и работоспособности

Оценка эффективности разрабатываемой системы стабилизации движения проведена на основе ранее разработанной и верифицированной автором математической и имитационной модели движения ЗУК и КУК [14]. На рис. 3 и 4 показаны спектральные плотности углов продольного наклона корпуса кормоуборочного комбайна (с управлением и без него)

при прямолинейном движении по асфальтобетонному шоссе (рис. 3) и грунтовой дороге (рис. 4) без системы стабилизации (исходное состояние) и при ее включении.

В предыдущих работах автора с помощью аналитических методов обработки экспериментальных данных обосновано, что на остовах КУК действуют угловые ускорения с частотой 0,9–1,2 Гц, а центр масс совершает перемещения в вертикальной плоскости с частотой 1,6–2,1 Гц [2]. В результате имитационного моделирования показано, что на исследуемых режимах эксплуатации при скорости до 5 и 10 км/ч преимущественно выделяется вертикальная мода колебаний, на скорости 15 и 20 км/ч – продольно угловая.

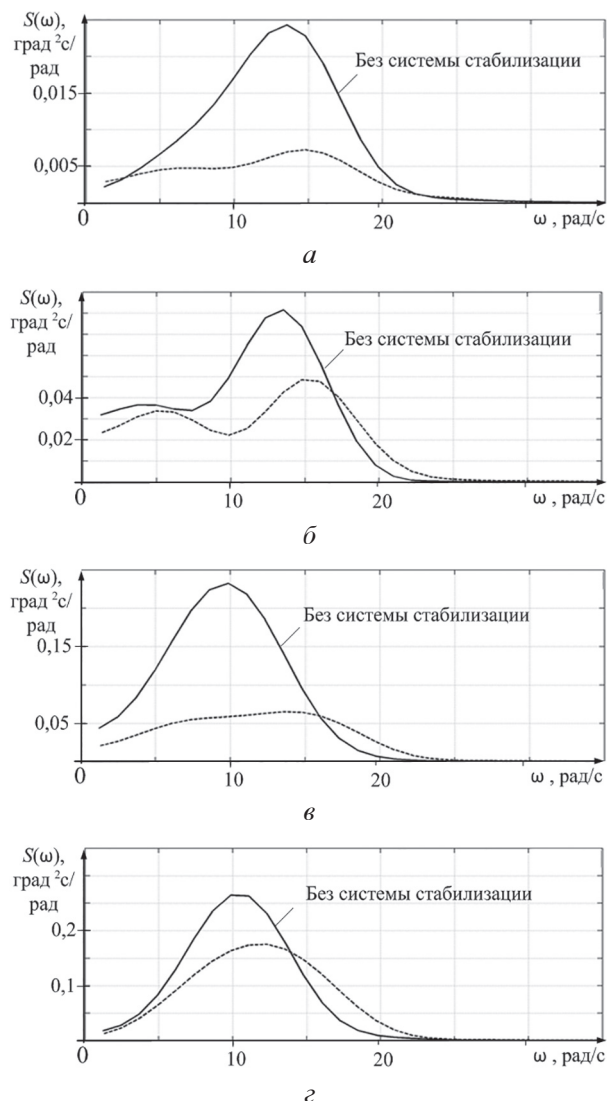


Рис. 3. Спектральные плотности углов продольного наклона корпуса КУК при движении асфальтобетонному шоссе со скоростью:
а – 5 км/ч; б – 10 км/ч; в – 15 км/ч; г – 20 км/ч

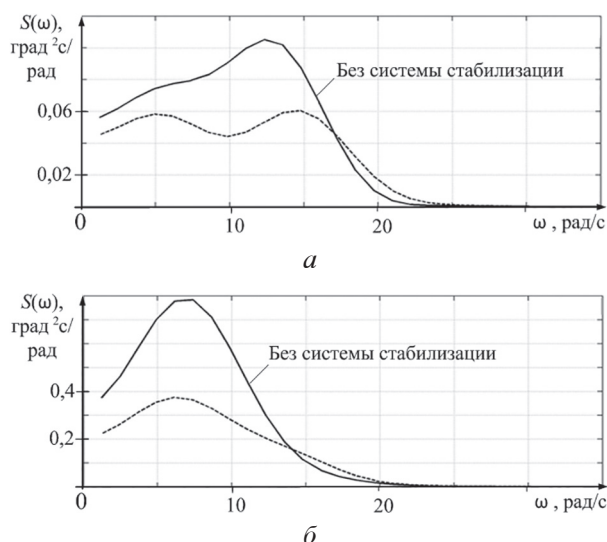


Рис. 4. Спектральные плотности углов продольного наклона корпуса КУК при движении по грунтовой дороге со скоростью:
a – 5 км/ч; *б* – 10 км/ч

На представленных графиках видно, что при движении по асфальтобетонному шоссе наибольшая эффективность системы стабилизации проявляется на скорости 5 и 15 км/ч (рис. 3 *a, в*). Как видно на графиках (рис. 3 *a, б*), при движении по асфальтобетону на скорости до 10 км/ч корпус КУК преимущественно совершает вертикальные перемещения, с угловой частотой около 12–15 рад/с. При этом система стабилизации показывает достаточную эффективность по выбранному критерию, однако в результате срабатывания системы на графиках появляется гармоника на частоте около 6 рад/с, что можно объяснить наведением возмущений на корпус в результате срабатывания системы стабилизации. На скорости 15 и 20 км/ч корпус совершает преимущественно продольно-угловые колебания, которые система стабилизации гасит более эффективно. Особенно эффективность проявляется на скорости 15 км/ч. На скорости 20 км/ч стабилизация снижается из-за существенно большей амплитуды раскачивания корпуса и ограниченности энергосиловых параметров привода.

Как показано ранее [2], движение КУК по грунтовой дороге является основным нагрузочным режимом, при котором на корпус действуют единичные статические нагрузки номинальной величины. При движении КУК по грунтовой дороге со скоростью 5 км/ч система показывает достаточную эффективность, однако, как и в случае движения по асфальто-

бетону, срабатывание системы приводит к появлению гармоник колебаний корпуса с угловой частотой около 6 рад/с. На скорости 10 км/ч система имеет наибольшую эффективность, снижая значения параметра колебаний на 52 %.

Как выявлено ранее, современные самоходные комбайны с адаптерами большой ширины при экстренном срабатывании тормозной системы имеют склонность к тангажу на адаптер с отрывом колес задней оси от опорной поверхности. С целью оценки эффективности разработанного закона управления проведено имитационное моделирование режима экстренного торможения КУК со скорости 20 км/ч, при этом алгоритм системы управления также был основан на уравнении (11). В результате имитационного моделирования экстренного торможения воспроизведен тангаж корпуса КУК. Из рис. 5 видно, что при жестком закреплении адаптера к корпусу после 2-й секунды торможения тангаж корпуса на адаптер увеличивается более чем на 6 градусов, что, как и в случае натурных испытаний КУК, приводит к его опрокидыванию. В случае торможения КУК с системой стабилизации после первой секунды торможения тангаж корпуса уменьшается до второй секунды в результате срабатывания системы и опускания адаптера. В данном случае эффект стабилизации обусловлен принудительным опусканием адаптера, в результате чего изменяется момент инерции КУК, величина которого в первую очередь определяет продольную устойчивость корпуса. После второй секунды наблюдается переходной процесс, интенсивность затухания которого определяется демпфирующими характеристиками шин (рис. 5).

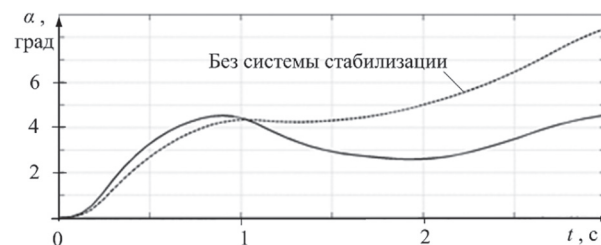


Рис. 5. Временные реализации угла продольного наклона корпуса КУК при торможении

На начальном этапе разработки системы стабилизации в качестве основного параметра оценки работоспособности принята мощность, затрачиваемая на управление ($N_{упр}$), величину которой определяли как:

$$N_{\text{упр}} = \frac{1}{T} \int_0^T M(t) \omega(t) dt, \quad (12)$$

где T – время движения; $M(t)$ – крутящий момент, необходимый для поворота адаптера вокруг оси вращения (шарнира O на рис. 3); $\omega(t)$ – угловая скорость поворота адаптера вокруг оси вращения (шарнира O на рис. 3).

Используя выражение (12), на основе имитационного моделирования установлено, что в установившихся режимах движения КУК по грунтовой дороге и асфальтобетонному шоссе $N_{\text{упр}}$ не превышает 8 кВт. Во всех моделируемых режимах $N_{\text{упр}}$ имеет прямую зависимость от скорости движения комбайна. Наиболее энергоемкими были режимы движения по асфальтобетонному шоссе со скоростью 20 км/ч и по грунтовой дороге со скоростью 10 км/ч. Режим стабилизации движения при торможении оказался наиболее энергоемким. Так, на начальном этапе торможения для компенсации тангажа корпуса требуется до 18 кВт мощности. В переходном процессе уже после первой секунды торможения (рис. 5), как и для режима установившегося движения по асфальтобетону или грунтовой дороге, требуется не более 7–8 кВт.

Заключение

1. Для технической реализации способа активного инерциального динамического гашения колебаний корпуса ЗУК и КУК разработан алгоритм и закон оптимального управления системой стабилизации. Предложенный закон управления разработан на основе известных и широко применяемых положений теории оптимального управления и теории аналитического конструирования оптимальных регуляторов.

2. Методами имитационного моделирования движения кормоуборочного комбайна установлено, что реализация предложенного закона управления системой стабилизации движения комбайна на основе принципа активного инерциального динамического гашения колебаний позволяет существенно уменьшить максимальные значения спектральных плотностей углов продольного наклона корпуса комбайна, как одного из основных параметров плавности хода и безопасности движения самоходных машин. Эффективность предложенного алгоритма показана в режимах прямолинейного движения по асфальтобетонному шоссе и грунтовой дороге, а также для случая

экстренного торможения с целью подавления тангажа корпуса.

3. Методами имитационного моделирования движения кормоуборочного комбайна показано работоспособность предложенного алгоритма по критерию затрачиваемой мощности на управление системой стабилизации. С учетом энергосиловых возможностей силовых установок современных ЗУК и КУК рассчитанные значения $N_{\text{упр}}$ являются несущественными в общем энергетическом балансе комбайна, что обосновывает возможность реализации указанного способа на машинах существующих и новых поколений.

Литература

1. Бабкин К.А. Разумная промышленная политика или как нам выйти из кризиса. М., 2008. 100 с.
2. Sirotin P.V., Sapegin A.G., Zlenko S.V. Experimental studies of ride quality of self-propelled combine harvester // XIV International Scientific-Technical Conference “Dynamic of Technical Systems” (DTS-2018). September 12–14, 2018. Rostov-on-Don, Russian Federation: MATEC Web of Conferences Volume 226 (2018), 2018.
3. Сиротин П.В., Сапегин А.Г., Зленко С.В. Экспериментальная оценка плавности хода самоходного кормоуборочного комбайна // Труды НАМИ. 2017. № 4 (271). С. 67–74.
4. Muharrem KESKİN Yunus Emre ŞEKERLİ. An Evaluation of Combine Harvester Accidents in Turkey. Keskin ve Şekerli, 2018 | MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(2):137-147. ISSN:1300-9362 23(2):137-147 (2018).
5. Об утверждении Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 07.07.2017 № 1455-р.
6. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683.
7. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1972. 392 с.
8. Жилейкин М.М., Сиротин П.В. Способ стабилизации движения самоходных транспортно-технологических машин: патент России № 2 708 404, 2019, Бюл. 34.
9. Андрущенко В.А. Теория систем автоматического управления: учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1990. 256 с.
10. Жилейкин М.М. Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости

сти колесных машин на базе методов нечеткой логики: монография. М.: 2016. 238 с.

11. Елисеев С.В. Динамика управляемых механических систем / под. ред. С.В.Елисеева. Иркутск, ИПИ, 1982. 186 с.
12. Сиротин П.В., Лебединский И.Ю., Кравченко В.В. Анализ виброакустической нагруженности рабочего места операторов зерноуборочных комбайнов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. № 1 (53). С. 113–121.
13. Ванько В.И., Ермошина О.В., Кувыркин Г.Н. Вариационное исчисление и оптимальное управление: учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. 3-е изд., исправл. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. 488 с.
14. Жилейкин М.М., Сиротин П.В. Исследование динамики движения зерно- и кормоуборочных комбайнов методами математического и имитационного моделирования // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 1. С. 53–59.
15. Корчагин П.В., Е.А. Корчагина, И.А. Чакурин. Снижение динамических воздействий на оператора автогрейдера в транспортном режиме: монография. Омск: СибАДИ, 2009. 195 с.

References

1. Babkin K.A. Razumnaya promyshlennaya politika ili kak nam vyyti iz krizisa [Reasonable industrial policy or how we get out of the crisis]. Moscow: 2008. 100 p.
2. Sirotn P.V., Sapegin A.G., Zlenko S.V. Experimental studies of ride quality of self-propelled combine harvester // XIV International Scientific-Technical Conference "Dynamic of Technical Systems" (DTS-2018). September 12–14, 2018. Rostov-on-Don, Russian Federation, : MATEC Web of Conferences Volume 226 (2018), 2018.
3. Sirotn P.V., Sapegin A.G., Zlenko S.V. Experimental evaluation of the smooth running of a self-propelled forage harvester. Trudy NAMI. 2017. No 4 (271), pp. 67–74.
4. Muharrem KESKİN Yunus Emre ŞEKERLİ. An Evaluation of Combine Harvester Accidents in Turkey. Keskin ve Şekerli, 2018 | MKB Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(2):137-147. ISSN:1300-9362 23(2):137-147 (2018).
5. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 07.07.2017 № 1455-r Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroyeniya Rossii na period do 2030 g. [Order of the Government of the Russian Federation of July 07, 2017 No. 1455-r Approval of the Strategy for the development of agricultural engineering in Russia for the period up to 2030.].
6. Ukaz Prezidenta RF ot 31.12.2015 No 683 O Strategii natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii [Decree of the President of the Russian Federation of December 31, 2015 No. 683 The National Security Strategy of the Russian Federation].
7. Rotenberg R.V. Podveska avtomobilya [Vehicle suspension]. Izd. 3-e, pererab. i dop. Moscow, Mashinostroyenie Publ., 1972. 392 p.
8. Zhileykin M.M., Sirotn P.V. Spособ stabilizatsii dvizheniya samokhodnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin [A method for stabilizing the movement of self-propelled transport and technological machinery]. Patent Rossii No 2 708 404. 2019. Byul. 34.
9. Andryushchenko V.A. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya: uchebnoye posobiye [Theory of automatic control systems]. Leningrad: Izd.-vo Leningradskogo universiteta Publ., 1990. 256 p.
10. Zhileykin M.M. Teoreticheskiye osnovy povysheniya pokazateley ustoychivosti i upravlyayemosti kolesnykh mashin na baze metodov nechetkoy logiki [Theoretical foundations for increasing stability and controllability indicators of wheeled vehicles based on fuzzy logic methods]: monografiya. Moscow: 2016. 238 p.
11. Yeliseyev S.V. Dinamika upravlyayemykh mekhanicheskikh system [Dynamics of controlled mechanical systems]. Pod.red. S.V.Eliseyeva. Irkutsk, IPI Publ., 1982. 186 p.
12. Sirotn P.V., Lebedinskiy I.YU., Kravchenko V.V. Analysis of vibroacoustic loading of the workplace of combine harvester operators. Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. Regional'noye prilozheniye. 2018. No 1(53), pp. 113–121.
13. Van'ko V.I., Yermoshina O.V., Kuvyrkin G.N. Variatsionnoye ischisleniye i optimal'noye upravleniye [Calculus of variations and optimal control]: Ucheb. dlya VUZov. Pod red. V.S.Zarubina, A.P.Krishchenko. 3-e izd., ispravl. Moscow: Izd-vo MGТУ im. N.E.Baumana Publ., 2006. 488 p.
14. Zhileykin M.M., Sirotn P.V. The study of the dynamics of the grain and forage harvesting combines by methods of mathematical and simulation modeling. Traktory i sel'khoz mashiny. 2019. No 1, pp. 53–59.
15. Korchagin P.V., Korchagina YE.A., Chakurin I.A. Snizheniye dinamicheskikh vozdeystviy na operatora avto-greydera v transportnom rezhime [Reduction of dynamic impacts on the motor grader operator in transport mode]. Monografiya. Omsk: SiBADI Publ., 2009. 195 p.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ГРАФИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

EFFICIENCY OF A COGENERATION PLANT BASED ON A DIESEL ENGINE UNDER UNEVEN ELECTRICAL LOAD CONDITIONS

Ю.А. АНТИПОВ, К.Т.Н.
П.Р. ВАЛЬЕХО МАЛБДОНАДО
П.П. ОЩЕПКОВ
И.К. ШАТАЛОВ
И.И. ШАТАЛОВА

Российский университет дружбы народов, Москва,
Россия, rudn-tit@yandex.ru

YU.A. ANTIPOV, PhD in Engineering
P.R. VAL'YEKHO MALBDONADO
P.P. OSHCHEPKOV
I.K. SHATALOV
I.I. SHATALOVA

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow,
Russia, rudn-tit@yandex.ru

Особенность электрической энергии состоит в том, что ее нужно производить в данный момент столько, сколько необходимо потребителю. Однако графики потребления энергии имеют весьма неравномерный характер по времени суток. Для покрытия пиковых нагрузок применяется высокоманевренное оборудование, обладающее зачастую меньшей экономичностью. Это оборудование эксплуатируется в режимах частичной мощности, где его эффективность заметно снижается. Одним из реальных способов выхода из этой ситуации может быть использование тепловых насосов (ТН) в схемах с когенерационными установками (КУ) на базе тепловых двигателей. В этом случае появляется возможность использовать тепловой двигатель в экономичном режиме в течение всего времени суток, а излишки электроэнергии в ночные часы направить на привод теплового насоса. В работе рассмотрены два варианта работы когенерационной установки на базе дизельного двигателя в схемах энергообеспечения отдельного потребителя в условиях неравномерного графика электрической нагрузки. В качестве примера взята КУ фирмы Wartsila 12V32. Такие установки эксплуатируются в отдаленных районах РФ. Основные данные КУ в расчетном режиме следующие. Дизель-генератор: электрическая мощность – 6000 кВт, часовой расход топлива – 1080 кг/ч, тепловая мощность – 5240 кВт, температура ОГ – 485 °С, эффективный КПД – 0,46, коэффициент использования теплоты топлива 0,89. В первом варианте КУ работает в стандартном режиме. Таким образом обеспечивается выработка электрической мощности в соответствии с графиком. Во втором варианте КУ используется совместно с ТН для получения дополнительной тепловой мощности. Расчеты показали, что включением теплового насоса в схему когенерационной установки, работающей в режиме неравномерного графика электрической нагрузки, можно обеспечить работу дизеля в течение всего времени суток в режиме максимального КПД и повысить коэффициент использования теплоты топлива на 17–20 %.

Ключевые слова: дизельный двигатель, тепловой насос, когенерационная установка, неравномерный график электрической нагрузки.

Для цитирования: Антипов Ю.А., Вальехо Малбдонадо П.Р., Ощепков П.П., Шаталов И.К., Шаталова И.И. Эффективность когенерационной установки на базе дизельного двигателя при неравномерном графике электрической нагрузки // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2020. № 5. С. 13–17. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-13-17.

A feature of electrical energy is that it must be produced at a given moment as much as the consumer needs. However, the graphs of energy consumption are very uneven over the time of day. In order to cover peak loads, the highly mobile equipment, which is often less economical, is used. This equipment is operated at partial power modes, where its efficiency is markedly reduced. One of the real ways to get out of this situation can be the use of heat pumps (HP) in circuits with cogeneration units (CU) based on heat engines. In this case, it becomes possible to use the heat engine in an economical mode throughout the day, and direct excess electricity at night to the heat pump drive. The paper considers two options for the operation of a cogeneration plant based on a diesel engine in power supply schemes for an individual consumer under conditions of an uneven electrical load schedule. Wartsila 12V32 is taken as an example of a CU. Such plants are operated in different regions of the Russian Federation. The main data of the CU in the design mode are given. Diesel generator: electric power – 6000 kW, hourly fuel consumption – 1080 kg/h, thermal power – 5240 kW, exhaust gas temperature – 485 °C, effective efficiency – 0,46, fuel heat utilization factor 0,89. In the first version, the CU operates in a standard mode. This ensures the generation of electrical power in accordance with the schedule. In the second version, the CU is used in conjunction with the HP to obtain additional thermal power. Calculations have shown that by including a heat pump in a cogeneration unit operating in an uneven electrical load schedule mode, it is possible to ensure that the diesel engine operates at maximum efficiency during the whole day and to increase the fuel heat utilization rate by 17–20 %.

Keywords: diesel engine, heat pump, cogeneration unit, uneven electrical load schedule.

Cite as: Antipov YU.A., Val'yekho Malbdonado P.R., Oshchepkov P.P., Shatalov I.K., Shatalova I.I. Efficiency of a cogeneration plant based on a diesel engine under uneven electrical load conditions. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2020. No 5, pp. 13–17 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-13-17.

Введение

Особенность электрической и частично тепловой энергии состоит в том, что ее нужно производить в данный момент столько, сколько необходимо потребителю. Если вопросы аккумулирования тепловой энергии как-то решаются [1], то проблема аккумулирования электрической энергии в промышленных масштабах еще далека от своего решения. Графики потребления энергии имеют весьма неравномерный характер по времени суток, по дням, неделям, сезонам. Типичный суточный график электрической нагрузки показан на рис. 1. Его принято делить на три зоны: базовую, полупиковую и пиковую. Здесь: α_n – коэффициент неравномерности (отношение минимальной нагрузки к максимальной), β – коэффициент плотности (отношение средней нагрузки к максимальной), W – электрическая нагрузка.

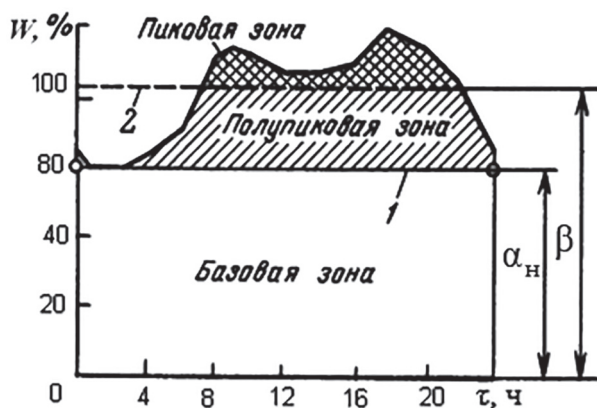


Рис. 1. Основные зоны графика электрической нагрузки:

1 – минимальная нагрузка; 2 – средняя нагрузка

Потребление тепловой энергии также неравномерно в течение суток, но эта проблема может быть решена включением в систему теплоснабжения аккумулятора теплоты. При централизованном энергообеспечении всякая энергосистема должна располагать широким спектром энергетического оборудования для работы в любой части графика. Однако это практически невозможно. Для покрытия пиковых нагрузок применяются высокоманевренное оборудование, обладающее зачастую меньшей экономичностью. Это оборудование эксплуатируется в режимах частичной мощности, где его эффективность заметно снижается.

Цель исследований

Анализ эффективности когенерационной установки на базе дизельного двигателя при неравномерном графике электрической нагрузки.

Материалы и методы

При децентрализованном энергообеспечении для одновременной выработки электрической и тепловой энергии, где чаще всего используются когенерационные установки (КУ), эта проблема еще более усложняется. Одним из реальных способов выхода из такой ситуации может быть использование тепловых насосов (ТН) в схемах с когенерационными установками на базе тепловых двигателей. В этом случае появляется возможность использовать тепловой двигатель на экономичном режиме (номинальной мощности), а излишки электроэнергии в ночные часы направить на привод теплового насоса.

Тепловые насосы широко используются в различных отраслях, чаще всего для теплоснабжения [2]. В США эксплуатируются более 5 млн ТН общей мощностью 5 ГВт. Применяются ТН также для использования вторичных энергоресурсов в промышленности [3, 4]. Наибольшее распространение получили парокомпрессионные ТН.

Эффективность компрессионного ТН оценивается коэффициентом преобразования:

$$\mu = \frac{Q_{\text{ТН}}}{N_{\text{к}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ТН}}$ – тепловой поток, вырабатываемый ТН; $N_{\text{к}}$ – мощность, затрачиваемая на привод компрессора ТН.

Результаты и обсуждение

В работе рассмотрены два варианта работы когенерационной установки на базе дизельного двигателя в схемах энергообеспечения отдельного потребителя в условиях неравномерного графика электрической нагрузки. Объектом энергообеспечения может являться отдельный поселок или микрорайон. В качестве примера взят суточный график потребления электрической мощности (рис. 2). Отношение максимальной потребляемой мощности в течение суток к ее минимальному значению составляет 0,56.

Проведен расчетный анализ энергообеспечения двух вариантов использования коге-

нерационной установки. В качестве примера взята КУ фирмы Wartsila 12V32. Такие установки эксплуатируются в отдаленных районах Российской Федерации. Основные данные КУ в расчетном режиме. Дизель-генератор: электрическая мощность – 6000 кВт, часовой расход топлива – 1080 кг/ч, тепловая мощность – 5240 кВт, температура отработавших газов (ОГ) – 485 °С, эффективный коэффициент полезного действия (КПД) – 0,46.

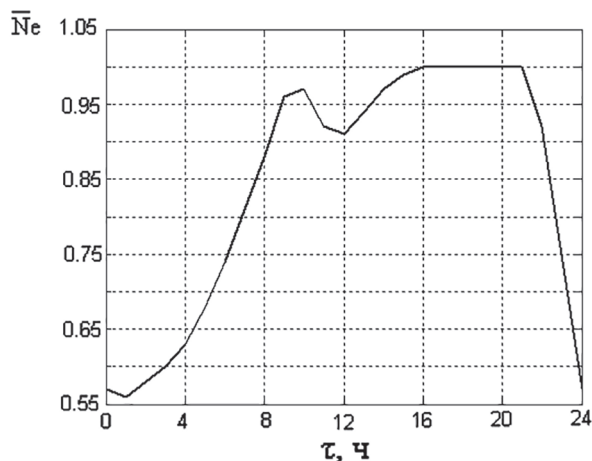


Рис. 2. График потребления электрической мощности в зависимости от времени суток

В первом варианте КУ работает в стандартном режиме и включает в себя: дизель-генератор, теплообменник охлаждающей жидкости, газовой теплообменник, пиковый водогрейный котел, аккумулятор горячей воды. Таким образом обеспечивается выработка электрической мощности в соответствии с графиком $\bar{N}_e = f(\tau)$ (рис. 2). Теплота отработавших газов (ОГ) используется для подогрева сетевой воды, идущей к теплопотребителю. Очевидно, что для обеспечения заданного суточного графика электрической нагрузки дизель значительную часть времени работает в режимах частичной мощности с ухудшенными показателями по экономичности.

Тепловой баланс дизеля в этом случае можно представить в виде:

$$Q_T = \frac{G_T \cdot Q_H^P}{3600} = Q_{N_e} + Q_{OG} + Q_w, \quad (2)$$

где Q_T – химическая теплота топлива; Q_{N_e} – теплота, эквивалентная эффективной мощности дизеля (мощность в каждый момент времени суток по рис. 2); Q_{OG} – теплота отработавших газов; Q_w – теплота, отдаваемая

в охлаждающую воду; G_T – часовой расход топлива дизелем; Q_H^P – теплотворная способность топлива.

Для дизельного двигателя при определении Q_{OG} температура ОГ может быть вычислена, если воспользоваться балансом теплоты, входящей и выходящей из двигателя. Причем поршневой двигатель может быть любого типа, как с наддувом, так и без наддува. Было получено следующее уравнение для вычисления температуры ОГ:

$$t_{gr} = \frac{C_{pv} \alpha \varphi L_0 t_b + Q_H^P (1 - \eta_e - q_w - q_m - q_{ox})}{C_{pg} (1 + \alpha \varphi L_0)}, \quad (3)$$

где t_b – температура на входе в компрессор; t_w , q_m , q_{ox} – относительное количество теплоты, отдаваемое дизелем в охлаждающую воду, масло и получаемое в охладителе наддувочного воздуха; η_e – КПД двигателя; α – коэффициент избытка воздуха; φ – коэффициент продувки; L_0 – стехиометрический коэффициент; C_{pv} и C_{pg} – теплоемкость воздуха и газов при постоянном давлении [5].

Доля теплоты топлива, отдаваемая в охлаждающую жидкость, для дизелей составляет 0,15–0,20, и доля теплоты, отдаваемой в масло, составляет для поршневых двигателей 0,04–0,10 [6].

Во втором варианте когенерационная установка применяется совместно с ТН для получения дополнительной тепловой мощности. Такая КУ на базе дизельного двигателя с включением в схему ТН представлена на рис. 3. Схема включает в себя дизель-генератор, ТН компрессионного типа, теплообменник охлаждающей жидкости, газовой теплообменник, аккумулятор горячей воды. ТН компрессионного типа: рабочий агент – R-134; коэффициент преобразования – 3,9. В этой схеме дизель-генератор все время работает в режиме номинальной мощности, ТН работает в часы минимального потребления электрической энергии (в ночное время).

Баланс теплоты когенерационной установки с тепловым насосом ТН:

$$Q = Q_{теп} + Q_w + Q_{N_e} + Q_{тн}. \quad (4)$$

Так как дизель-генератор в схеме с ТН работает в режиме расчетной мощности, то $Q_{теп}$ – теплота газовой теплообменника – и Q_w – теплота, отдаваемая в охлаждающую жидкость, остаются постоянными и равными расчетным значениям. Q_{N_e} – теплота, экви-

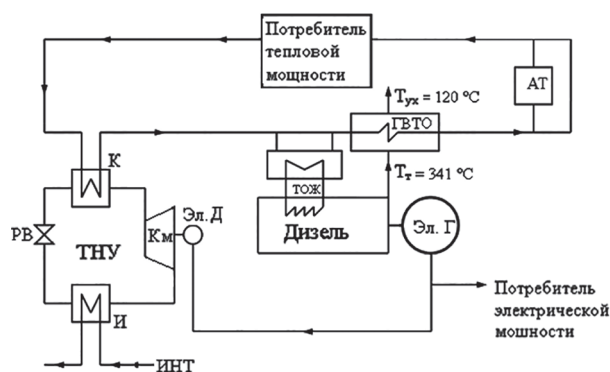


Рис. 3. Схема энергообеспечения отдельного потребителя на базе дизеля, работающего совместно с ТНУ:

ГВТО – газодводяной теплообменник;
ТОЖ – теплообменник охлаждающей жидкости;
Эл. Г – генератор; Эл. Д – электродвигатель;
Км – компрессор; К – конденсатор; И – испаритель;
РВ – регулирующий вентиль; ИНТ – источник низкопотенциальной теплоты;
АТ – аккумулятор теплоты

валентная эффективной мощности дизеля, отданной потребителю, определяется следующим образом:

$$Q_{N_e} = \overline{N_e} \cdot N_{co},$$

где N_{co} – мощность дизеля на расчетном режиме; N_e – относительная доля электрической мощности, идущей потребителю (из рис. 2).

Количество теплоты, полученное в ТН, определяется в зависимости от мощности, затрачиваемой на привод его компрессора, КПД компрессора ТН и коэффициента преобразования ТН:

$$Q_{TH} = \mu \cdot N_K \cdot \eta_m,$$

где η_m – механический КПД компрессора ТН; $N_K = (1 - \overline{N_e}) \cdot N_{co}$ – мощность, затрачиваемая на привод компрессора ТН в данный момент времени (определяется по рис. 2).

Коэффициент использования теплоты топлива (КИТ) с учетом ТН можно определить по формуле:

$$K_T = \frac{Q}{Q_T}.$$

Результаты расчета основных параметров когенерационной установки, по приведенным выше формулам, в течение суток с интервалом в 1 час представлены на рис. 4 и 5. Как следует из рис. 4, при работе КУ совместно с ТН количество тепловой энергии в ночные часы,

отдаваемой теплопотребителю, существенно увеличивается. Коэффициент использования теплоты топлива в ночные часы достигает 1,4 (рис. 5), среднесуточный КИТ равен 1,04–1,07, что превышает КИТ когенерационной установки, работающей без теплового насоса.

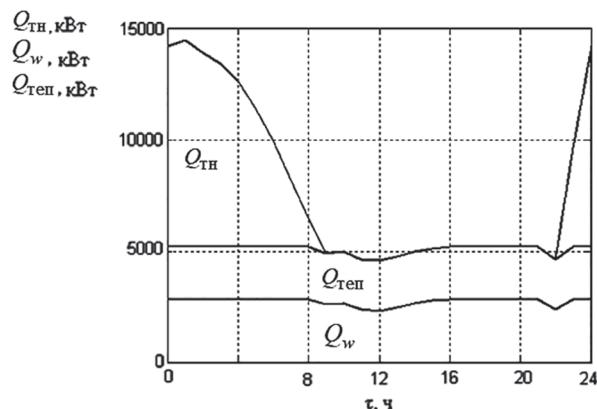


Рис. 4. Количество полученной тепловой мощности в зависимости от времени суток:

Q_{TH} – тепловая мощность ТН; Q_w и $Q_{теп}$ – тепловая мощность, полученная за счет утилизации теплоты охлаждающей жидкости и отработавших газов

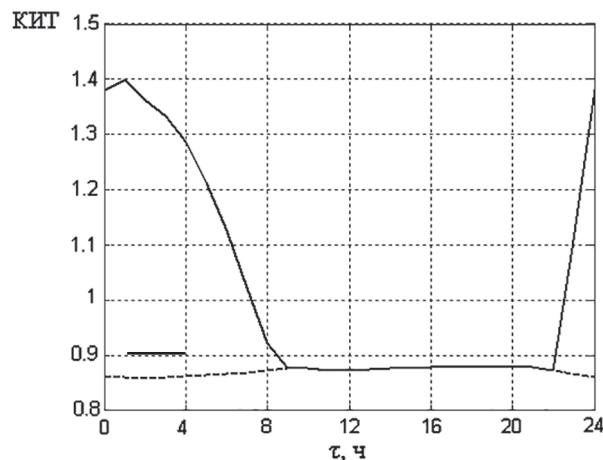


Рис. 5. Зависимость коэффициента использования теплоты топлива (КИТ) от времени суток:

---- без использования ТН;
— с использованием ТН

Закключение

Посредством включения теплового насоса в схему когенерационной установки, работающей в режиме неравномерного графика нагрузки, можно: 1) обеспечить работу дизеля в течение всего времени суток в режиме максимального КПД; 2) увеличить выработку тепловой мощности в ночные часы; 3) повысить коэффициент использования теплоты топлива на 17–20 %

Литература

1. Данилов О.В. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов: под ред. А.В. Клименко М.: Изд. дом МЭИ, 2010, 424 с.
2. Хайнрик Г., Найрок Х., Нестоер В. Теплонасосные установки для отопления горячего водоснабжения: перевод с нем / под ред. Б.К. Явнеля М.: Стройиздат, 1985. 136 с.
3. Lambauer J. Large Scale Industrial Heat Pumps – market analysis, potentials, barriers and Best-Practice examples // 9th International IEA Heat Pump Conference 20–22 May 2008 г. Zurich, Switzerland.
4. Shatalov I.K., Shatalova I.I., Antipov Yu.A., Sobennikov E.V. Utilization of Secondary Energy Resources of Metallurgical Enterprises Using Heat Pump // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Vol 9, No 7S. 2017, 342–352 p.
5. Шаталов И.К., Антипов Ю.А. Утилизация вторичных энергоресурсов тепловых двигателей с использованием тепловых насосов. М.: РУДН, 2015, 173 с.
6. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: учебник для вузов. 2-е изд. М: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 589 с.

References

1. Energoberezhniye v teploenergetike i teplotekhnologiyakh [Energy saving in heat power engi-

neering and heat technologies]: uchebnik dlya vuzov. Danilov O.V. i dr.; pod red. Klimenko A.V. Moscow: Izd. dom M·EI Publ., 2010, 424 p.

2. Khaynrik G., Nayrok KH., Nestoyer V. Teplonasosn-yye ustanovki dlya otopleniya goryachego vodosnabzheniya [Heat pump units for heating hot water supply]: perevod s nem Pod red. Yavnelya B.K. Moscow: Stroyizdat Publ., 1985. 136 p.
3. Lambauer J. Large scale industrial heat pumps – market analysis, potentials, barriers and Best-Practice examples // 9th International IEA Heat Pump Conference 20–22 May 2008 g. Zurich, Switzerland.
4. Shatalov I.K., Shatalova I.I., Antipov Yu.A., Sobennikov E.V. Utilization of secondary energy resources of metal-lurgical enterprises using heat pump. Journal of Fundamental and Applied Sciences. Vol 9, No 7S. 2017, 342–352 p.
5. Shatalov I.K., Antipov YU.A. Utilizatsiya vtorichnykh energoresursov teplovykh dvigateley s ispol'zovaniyem teplovykh nasosov [Utilization of secondary energy resources of heat engines using heat pumps]. Moscow: RUDN Publ., 2015, 173 p.
6. Kavtaradze R.Z. Teoriya porshnevykh dvigateley. Spetsial'n-yye glavy [The theory of piston engines. Special chapters]: uchebnik dlya vuzov. 2-e izd. Moscow: Izd. MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2016, 589 p.

О МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF LOCALIZATION OF AGRICULTURAL TRACTORS PRODUCTION

З.А. ГОДЖАЕВ, д.т.н.
А.В. ЛАВРОВ, к.т.н.
В.Г. ШЕВЦОВ, к.т.н.
В.А. ЗУБИНА

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия, fic51@mail.ru

Z.A. GODZHAYEV, DSc in Engineering
A.V. LAVROV, PhD in Engineering
V.G. SHEVTSOV, PhD in Engineering
V.A. ZUBINA

Federal Scientific Agroengineering Center VIM (All-Union
Research Institute of Agricultural Mechanization), Moscow,
Russia, fic51@mail.ru

Рассмотрен существующий перечень требований, которые предъявляются к сельскохозяйственным тракторам для отнесения их к продукции, произведенной в России. Проведена оценка влияния требований постановления Правительства РФ на выполнение задач по развитию экономики России. Предложено стимулировать создание рабочих мест установлением пороговой величины уровня локализации по стоимостному показателю. Проведена оценка технологической потребности в сельскохозяйственных тракторах для первоочередного стимулирования производства наиболее дефицитной техники. Предложен подход для мотивации технологического развития производства и совершенствования технического уровня продукции предприятий. Указывается на необходимость учета в методике важных для сельскохозяйственного потребителя направлений деятельности производителя. Представлена усовершенствованная методика оценки уровня локализации производства сельскохозяйственных мобильных энергетических средств. Базовая методика существенно скорректирована: переходом от произвольного перечня устаревших технологических операций – к стоимостной оценке современных технологий, количественному учету дефицитности производимой техники, объему сервисного обслуживания, развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, оперативному обеспечению запасными частями и др. Уровень локализации, достаточный для признания конкретной модели, как произведенной в России, рассчитывается как сумма долей стоимости трактора с учетом ряда снижающих коэффициентов, учитывающих прогрессивное влияние локализуемого производства: коэффициента дефицитности производимой модели; коэффициента сервисной сети; коэффициента финансирования НИОКР; коэффициента наличия склада запчастей. Реализация данной методики способствует решению следующих задач по развитию экономики России: создание рабочих мест; организация производства дефицитной техники (импортозамещение); продвижение инновационных технологий; обеспечение сервисного обслуживания; развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; оперативное обеспечение запасными частями.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, отнесение продукции к созданной в России, уровень локализации производства, стимулирование развития экономики, методика.

Для цитирования: Годжаев З.А., Лавров А.В., Шевцов В.Г., Зубина В.А. О методике оценки уровня локализации производства сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 5. С. 18–24. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-18-24.

The existing list of requirements for agricultural tractors to classify them as products manufactured in Russia is considered. An assessment of the impact of the requirements of the Government of the Russian Federation decree on the fulfillment of tasks for the development of the Russian economy was made. It is proposed to stimulate the creation of jobs by setting a threshold value for the level of localization in terms of cost indicator. An assessment of the technological need for agricultural tractors for the primary stimulation of the production of the most scarce equipment was carried out. An approach to motivate the technological development of production and improve the technical level of products of enterprises is proposed. It is indicated that it is necessary to take into account in the methodology the directions of the manufacturer's activity that are important for the agricultural consumer. An improved methodology for assessing the level of localization of production of agricultural mobile energy products is presented. The basic methodology was significantly adjusted with the transition from an arbitrary list of obsolete technological operations to the cost assessment of modern technologies, quantitative accounting of the scarcity of manufactured equipment, the volume of service, the development of R&D works, the operational provision of spare parts, etc. The level of localization, which is sufficient to recognize a specific model as produced in Russia, is calculated as the sum of the shares of the cost of the tractor using a number of reducing factors that take into account the progressive influence of localized production: the scarcity ratio of the manufactured model; the service network coefficient; R&D funding ratio; spare parts warehouse availability factor. The implementation of this methodology contributes to the solution of tasks for the development of the Russian economy: job creation; organization of production of scarce equipment (import substitution); promotion of innovative technologies; maintenance of service; development of research and development work; prompt provision of spare parts.

Keywords: agricultural tractor, classification of products as created in Russia, the level of localization of production, stimulating economic development, methodology.

Cite as: Godzhayev Z.A., Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Zubina V.A. The methodology for assessing the level of localization of agricultural tractors production. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2020. No 5, pp. 18–24 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-18-24.

Введение

Перед экономикой Российской Федерации стоит задача уменьшения зависимости от импорта промышленной продукции и развития отечественного производства [1–3].

Признание продукции, как произведенной на территории страны, является в настоящее время одним из основных методов развития экономик развивающихся стран за счет привлечения инвестиций в промышленного производства, в том числе и за счет локализации производства наиболее передовых международных компаний.

При этом в развивающихся странах должны решаться следующие задачи:

- 1) создание рабочих мест;
- 2) организация производства дефицитной техники (импортозамещение);
- 3) продвижение инновационных технологий;
- 4) обеспечение сервисного обслуживания;
- 5) развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- 6) оперативное обеспечение запасными частями.

Цель исследований

Разработка усовершенствованной методики оценки уровня локализации производства сельскохозяйственных мобильных энергетических средств в России.

Материалы и методы

Рассмотрены требования к тракторам для сельского хозяйства, предъявляемые постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719 [4], для признания их произведенными в России.

Постановление № 719 предусматривает для сельскохозяйственных тракторов осуществление на территории Российской Федерации, включая обязательное осуществление производства, сборки и сварки (при необходимости) несущей рамы (при наличии), подрамников (при наличии), производства, включая раскрой и гибку заготовок, сварку, сборку и окраску, кабины, с 1 января 2016 г. не менее 13, с 1 января 2018 г. – не менее 14, с 1 января 2020 г. – не менее 15 из следующих операций: 1 – производство, сборка и сварка (при необходимости) несущей рамы (при наличии), подрамников (при наличии); 2 – покраска несущей рамы (при наличии), подрамников (при наличии); 3 – производство,

включая раскрой и гибку заготовок, сварку, сборку и окраску, кабины; 4 – производство или использование произведенного на территории стран – членов Евразийского экономического союза моста (мостов); 5 – производство или использование произведенного на территории стран – членов Евразийского экономического союза трансмиссии; 6 – производство или использование произведенного на территории стран – членов Евразийского экономического союза двигателя; 7 – сборка моторно-силовой установки; 8 – сборка трансмиссии; 9 – сборка моста (мостов); 10 – производство, сборка и окраска (при необходимости) элементов экстерьера; 11 – монтаж и покраска моторного агрегата, осей и мостов, трансмиссии, навесного устройства; 12 – монтаж системы электрооборудования; 13 – сборка и монтаж гидрооборудования; 14 – сборка и окраска (при необходимости) элементов интерьера; 15 – производство шиномонтажа колес; 16 – производство и монтаж гидробаков и топливных баков; 17 – производство, окраска и монтаж балластных и балансирных грузов.

Оценка влияния требований постановления Правительства РФ от 17 июля 2015 г. № 719 на выполнение задач по развитию экономики России показала следующее.

Создание рабочих мест косвенно представлено объемным перечнем технологических операций, но такой подход должен быть конкретизирован по примеру Автопрома РФ (рис. 1), когда для каждой группы компонентов указывается доля в стоимости автомобиля.

Расчет допустимого уровня локализации должен иметь конкретную величину (проценты), определяющую базовый уровень отрасли по стоимостному показателю, выраженному как сумма относительных стоимостей контрольного перечня технологических операций.

Организация производства дефицитной техники (импортозамещение) является ключевым фактором для покупателя сельскохозяйственной техники, во имя которого и должна работать промышленность со всеми ее характеристиками, включая локализацию. В соответствии с опытом передовых зарубежных стран государство должно субсидировать фермеров, которые на рынке в конкурентных для фирм условиях выбирают лучшую технику. В нашем случае из-за некредитоспособности сельского хозяйства их финансовая поддержка идет через промышленность [5, 6].



Локализация производства – один из основных факторов, влияющих на конкурентоспособность и себестоимость продукции

● Высокий уровень локализации ○ Низкий уровень локализации

По пяти группам компонентов достигнут средний
уровень локализации производства



Рис. 1. Пример расчета уровня локализации производства легковых автомобилей в Российской Федерации

В этом случае привлекаться для производства в России в первую очередь должны производители, выпускающие дефицитную технику (табл. 1) [7–9].

Наличие сельскохозяйственных тракторов в 2017 г. составило всего 216,8 тыс. шт. (средняя мощность – 114,1 л.с.). В 2018 году парк сократился до 211,9 тысяч. Всего потребность составляет 900,0 тыс. тракторов (средняя мощность – 125 л.с.). Общая дефицитность – 683,2 тыс. тракторов при почти 100%-м наличии колесных тракторов класса 1,4 («Беларус 82.1») для 90 млн

га пашни, требуемых Российской Федерации. Поскольку сегодня в обработке у сельскохозяйственных организаций находится 70 млн га пашни, то указанное количество тракторов класса 1,4 теоретически может обеспечить потребности отрасли с 5%-м избытком [10].

В соответствии с проведенным ФГБНУ ФНАЦ ВИМ мониторингом производство сельскохозяйственных тракторов в России за рассматриваемый период уменьшилось с 135,9 тыс. тракторов в 1990 г. до 5,8 тыс. тракторов в 2019 г., то есть в 23,4 раза (рис. 2) [11].

Таблица 1

Наличие и дефицит тракторов в сельскохозяйственных организациях (СХО) в 2017 г.
по отношению к оптимальной технологической потребности в тракторах

Колесные тракторы										
	Тяговый класс									
	8	6	5	4	3	2	1,4	0,9	0,6	Всего
Потребность, тыс. шт.	1,0	20,0	40,0	60,0	100,0	50,0	170,0	30,0	90,0	560,0
Наличие, тыс. шт.	0,4	13,2	3,9	1,8	19,6	20,4	139,2	1,3	12,5	211,6
Дефицит, % от потребности	60,0	34,0	90,3	97,0	80,4	59,2	18,1	95,7	86,1	62,2
Гусеничные тракторы										
	Тяговый класс									
	8	6	5	4	3	2	Всего			
Потребность, тыс. шт.	2,0	4,0	52,0	90,0	70,0	20,0	340,0			
Наличие, тыс. шт.	0,0	0,0	0,0	0,7	4,0	0,5	5,2			
Дефицит, % от потребности	100,0	100,0	100,0	99,2	97,6	97,5	98,5			

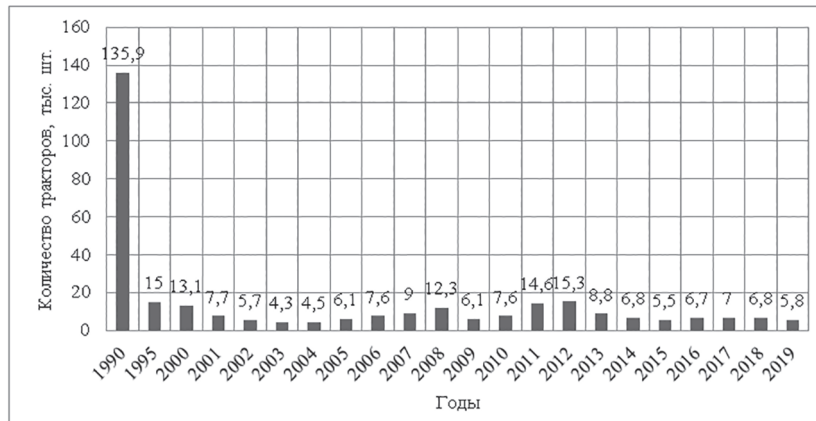


Рис. 2. Производство сельскохозяйственных тракторов предприятиями-изготовителями России с 1990 по 2019 г.

Представленные данные свидетельствуют о практическом разрушении тракторного парка и требуют принятия чрезвычайных государственных мер по его восстановлению. Особого внимания требует гусеничная составляющая парка, имеющая двойное назначение и приближающаяся к абсолютному нулю, что для почвенно-климатических условий России крайне опасно [11–13].

Относительно продвижения инновационных технологий можно отметить следующее. Представленный выше перечень из 17 технологических операций разработан на основе действующего производства предприятий, которые в настоящее время являются монополистами в своей отрасли, поэтому данный принцип свидетельствует о фактическом препятствии конкуренции и нарушает п. 2 ст. 34 Конституции РФ и п. 1 ст. 15 Федерального закона РФ от 26 июля 2006 г. № 135-ФЗ «О защите конкуренции».

Таким образом, в неравное положение ставятся предприятия, использующие альтернативные технологии и принцип международной кооперации и разделения труда, что позволяет покупателям приобретать технику, оснащенную узлами и агрегатами лучших мировых производителей. Исходя из вышесказанного, законодательно закреплённый принцип обязательных производственных операций не создает стимулов для технологического развития производства и совершенствования технического уровня продукции предприятий, выполняющих обязательные операции, обрекая покупателей их продукции на использование технически отсталой техники.

Оперативное обеспечение запасными частями. Принцип обязательных производственных операций, положенный в основу постановле-

ния № 719 об обеспечении бесперебойного сервисного обслуживания, развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и оперативном обеспечении запасными частями, не учитывает важных для сельскохозяйственного потребителя направлений деятельности производителя, таких как обеспечение бесперебойного сервисного обслуживания; развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; оперативное обеспечение запасными частями.

Результаты и обсуждение

В качестве альтернативы, устраняющей вышеуказанные недостатки критериев отнесения промышленной продукции к промышленной продукции, произведенной в России, предлагаем следующую методику.

Уровень локализации R_m , достаточный для признания конкретной модели, как произведенной в России, должен рассчитываться как сумма R_{ct} (табл. 2) с учетом ряда снижающих коэффициентов, учитывающих прогрессивное влияние локализуемого производства, исходя из следующего неравенства:

$$\frac{R_m}{R_s^O - 0,5 \cdot R_s^O \cdot (1 - K_D^M)} \geq 1;$$

$$R_m = R_{ct} - R_{ct} (1 - K_C^M) - R_{ct} (1 - K_H^M) - R_{ct} (1 - K_{3ч}^M),$$

где R_s^O – требуемый отраслевой базовый уровень, учитывающий стоимостные характеристики выполненных технологических операций; K_D^M – коэффициент дефицитности производимой модели; K_C^M – коэффициент сервисной сети; K_H^M – коэффициент финанси-

рования НИОКР; $K_{зч}^M$ – коэффициент наличия склада запчастей.

Отраслевой базовый уровень R_s^O должен составлять не менее 70 %, рассчитанных на основании ценового паритета технологических операций (таблица 2).

Коэффициент дефицитности K_D^M модели трактора в сложившемся тракторном парке:

$$K_D^M = \frac{P_p^M}{P_{тех}^M},$$

где P_p^M – количество тракторов конкретной модели в реальном парке, зафиксированное в результате мониторинга; $P_{тех}^M$ – оптимальная технологическая потребность в данной модели, определенная по методике Минсельхоза РФ (см. табл. 1).

При $P_p^M = 0$ – базовый отраслевой уровень локализации для 100%-ого дефицита модели должен быть снижен в 2 раза благодаря коэффициенту 0,5.

При $P_p^M = P_{тех}^M$ для этой модели сохраняется полное значение базового отраслевого уровня локализации.

Оценка отраслевого коэффициента K_C^M , учитывающего наличие сервисной сети обслуживания техники, производится с учетом коэффициента сервиса, определяемого как:

$$S = \frac{K_{рс}}{79},$$

где $K_{рс}$ – количество регионов (областей, краев и республик), в которых расположены и рабо-

тают сервисные центры, имеющие на это соответствующие юридически оформленное полномочие и техническую базу, что должно быть подтверждено документально, и осуществляющие сервисное обслуживание поставляемого изделия.

Для тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов:

– если $S < 0,2$, то $K_C^M = 0,9$;

– если $S = 0,2...0,4$, то $K_C^M = 0,95$;

– если $S > 0,4$, то $K_C^M = 1$.

Для прочей техники:

– если $S < 5$, то $K_C^M = 0,95$;

– если $S > 5$, то $K_C^M = 1$.

Оценка коэффициента финансирования НИОКР K_H^M в результате объема финансирования научно-исследовательских (в том числе и через учебные организации, вузы), опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКР), осуществляемых в Российской Федерации в связи с производством изделия, показала:

– если затраты от выручки от продаж за поставленное изделие за отчетный период составляют 0,1, то $K_H^M = 0,9$;

– если затраты от выручки от продаж за поставленное изделие за отчетный период составляют от 0,1 до 0,5 %, то $K_H^M = 0,95$;

– если затраты от выручки от продаж за поставленное изделие за отчетный период составляют от 0,5 % до 1,01 %, то $K_H^M = 0,975$;

Таблица 2

Технологические операции для тракторов

Технологические операции	Доля в стоимости трактора $R_{ст}$, проценты
Производство, включая сварку, покраску и сборку кабины	20
Производство, включая сварку (при необходимости), окраску и сборку несущей рамы (при ее наличии)	8
Производство и сборка моста (мостов)	10
Производство, включая окраску и сборку колес и колесных грузов	10
Производство, сборка и окраску элементов экстерьера: грузов и отливок	6
металлических изделий	4
пластмассовых изделий	6
Сборка моторно-силовой установки	4
Сборка трансмиссии	4
Монтаж моторно-силовой установки, мостов, трансмиссии, кабины и навесного устройства	12
Монтаж системы электрооборудования, гидрооборудования	10
Приемо-сдаточные испытания трактора	6
Итого:	100

– если затраты от выручки от продаж за поставленное изделие за отчетный период составляют свыше 1,01 %, то $K_{\text{н}}^{\text{М}} = 1$.

Оценка отраслевого коэффициента наличия склада запчастей $K_{\text{зч}}^{\text{М}}$, учитывающего наличие центрального склада запасных частей, в том числе в форме аффилированной структуры, показала:

– если стоимость поставляемых запасных частей на центральный склад от объема продаж изделия за отчетный период составляет от 0 до 1,0 %, то $K_{\text{зч}}^{\text{М}} = 0,92$;

– если стоимость поставляемых запасных частей на центральный склад от объема продаж изделия за отчетный период составляет от 1,1 до 3 %, то $K_{\text{зч}}^{\text{М}} = 0,95$;

– если стоимости поставляемых запасных частей на центральный склад от объема продаж изделия за отчетный период составляет от 3,1 до 10 %, то $K_{\text{зч}}^{\text{М}} = 1$.

Выводы

Проведенные научные исследования, анализ дефицитности парка тракторов и состояния рынка тракторного производства показали следующие:

1. Список технологических операций, приведенный в постановлении Правительства РФ от 17 июля 2015 г. № 719 является фиксацией сложившегося монопольного положения предприятий, создает препятствия для конкуренции и не мотивирует к технологическому развитию производства и совершенствованию технического уровня продукции предприятий сельскохозяйственного машиностроения.

2. По методологии построения оценка уровня локализации производства, предложенная рассматриваемым Постановлением Правительства РФ от 17 июля № 719, должна быть существенно скорректирована: переходом от произвольного перечня устаревших технологических операций к стоимостной оценке современных технологий, количественному учету дефицитности производимой техники, объему сервисного обслуживания, развитию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, оперативному обеспечению запасными частями и др.

Литература

1. Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Гурылев Г.С., Лавров А.В. Прогноз развития сельского хозяйства на основе первоочередного воспроизводства тракторного парка // Интеллектуальные машин-

ные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сборник научных докладов международной научно-технической конференции: Ч. 2. М.: ВИМ, 2015. С. 9–14.

2. Кряжков В.М., Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Гурылев Г.С., Лавров А.В. Исследование состояния парка сельскохозяйственных тракторов России и приоритетные направления его развития // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сб. науч. докл. МНТК. М.: ВИМ, 2014. С. 305–311.
3. Шевцов В.Г., Лавров А.В., Колос В.А., Зубина В.А. Методика оценки эффективности сельскохозяйственного производства при нарушенном воспроизводстве тракторного парка // Материалы Международной научно-практической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» БГАТУ. 2017. С. 520–523.
4. О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации: постановление Правительства РФ от 17.07.2015 № 719 (с изменениями и дополнениями).
5. Смирнов М.А., Лавров А.В., Шевцов В.Г. О необходимости восстановления механизированного сельскохозяйственного производства в России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. Т. 14. № 1 (358). С. 48–61.
6. Шевцов В.Г., Лавров А.В. Условия восстановления тракторного парка сельскохозяйственного производства как системы с ограниченными ресурсами // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 2. С. 3–6.
7. Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности. М: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 56 с.
8. ГОСТ27021-86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы.
9. Стандарт организации СТО ВИМСТАНДАРТ 001-2016. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы и мощностные разряды; ФГБНУ ВИМ: М.: 2016. 24 с.
10. Россия в цифрах. 2019: Крат. стат. сб. М.: Росстат. 2019. 549 с.
11. Производство автомобильной, тракторной и сельскохозяйственной техники и компонентов к ней производителями России и других стран СНГ // Аналитический обзор, ОАО «АСМ-Холдинг». 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019. № 12.

12. Kryhkov V.M., Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. The development of the Russian agricultural tractor market from 2008 to 2014. COMVEC 2016 SAE, doi: 10.4271/2016-01-8128. 2016.
13. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A. and Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production // SAE: 2015-26-0147. DOI: 10.4271/2015-26-0147.

References

1. Godzhayev Z.A., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. Agriculture development forecast based on the priority reproduction of the tractor fleet. *Intellektual'nyye mashinnyye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sbornik nauchnykh dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Intelligent machine technologies and equipment for the implementation of the State Program for the Development of Agriculture: Collection of scientific reports of the international scientific and technical conference], CH. 2. Moscow: VIM Publ., 2015, pp. 9–14.
2. Kryazhkov V.M., Godzhayev Z.A., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. Research of the state of the Russian agricultural tractor park and priority directions of its development. *Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. nauch. dokl. MNTK* [Innovative development of the agro-industrial complex of Russia on the basis of intelligent machine technologies: Collection of scientific reports of the international scientific and technical conference]. Moscow: VIM Publ., 2014, pp. 305–311.
3. Shevtsov V.G., Lavrov A.V., Kolos V.A., Zubina V.A. Methodology for assessing the efficiency of agricultural production with disturbed reproduction of the tractor fleet. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve»* [Materials of the International Scientific and Practical Conference “Technical Support of Innovative Technologies in Agriculture”] BGATU Publ. 2017, pp. 520–523.
4. O podtverzhenii proizvodstva promyshlennoy produktsii na territorii Rossiyskoy Federatsii: postanovleniye Pravitel'stva RF ot 17.07.2015 No 719 (s izmeneniyami i dopolneniyami) [The confirmation of the production of industrial products on the territory of the Russian Federation: Resolution of the Government of the Russian Federation of July 17, 2015 No. 719 (with amendments and additions)].
5. Smirnov M.A., Lavrov A.V., Shevtsov V.G. The need to restore mechanized agricultural production in Russia. *Natsional'nyye interesy: priority i bezopasnost'*. 2018. Vol. 14. No 1(358), pp. 48–61.
6. Shevtsov V.G., Lavrov A.V. Conditions for the restoration of the tractor fleet of agricultural production as a system with limited resources. *Traktory i sel'khozmashiny*. 2012. No 2, pp. 3–6.
7. Metodika ispol'zovaniya uslovykh koeffitsiyentov perevoda traktorov, zernouborochnykh i kormouborochnykh kombaynov v etalonnyye yedinitsey pri opredelenii normativov ikh potrebnosti [Method of using conditional coefficients for converting tractors, grain and forage harvesters into reference units when determining the standards for their needs]. Moscow: FGNU «RosinformagroteKH» Publ., 2009. 56 p.
8. GOST27021-86. Agricultural and forestry tractors. Traction classes.
9. Standart organizatsii STO VIMSTANDART 001-2016. Agricultural and forestry tractors. Traction classes and power categories, FGBNU VIM, Moscow: 2016. 24 p.
10. Rossiya v tsifrakh. 2019 [Russia in numbers. 2019]: *Krat. stat. sb.* Moscow: Rosstat Publ. 2019. 549 p.
11. Proizvodstvo avtomobil'noy, traktornoy i sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i komponentov k ney proizvoditelyami Rossii i drugikh stran SNG [Production of automotive, tractor and agricultural machinery and components to it by manufacturers in Russia and other CIS countries]. *Analiticheskiy obzor. OAO «ASM-KholdinG»*. 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019. No 12.
12. Kryhkov V.M., Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. The development of the Russian agricultural tractor market from 2008 to 2014. COMVEC 2016 SAE, doi: 10.4271/2016-01-8128. 2016.
13. Shevtsov V., Lavrov A., Izmailov A. and Lobachevskii Y. Formation of quantitative and age structure of tractor park in the conditions of limitation of resources of agricultural production. SAE: 2015. 26-0147, doi: 10.4271/2015-26-0147.

РАСЧЕТ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ КООРДИНАТЫ ВЫБРОСА СТРУИ МАСЛА ИЗ ЗАЗОРА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ШАТУННОГО ПОДШИПНИКА

CALCULATION AND IDENTIFICATION OF THE COORDINATE OF OIL JET EJECTION FROM THE GAP OF A ROTATING CONNECTING ROD BEARING

С.В. ПУТИНЦЕВ¹, д.т.н.
С.С. СТРЕЛЬНИКОВА²
С.А. АНИКИН³, к.т.н.

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

² ИМАШ им. А.А. Благоднарова РАН, Москва, Россия

³ ВА ВКО им. Г.К. Жукова, Тверь, Россия,
putintsev50@yandex.ru

S.V. PUTINTSEV¹, Dsc in Engineering
S.S. STRELNIKOVA²
S.A. ANIKIN³, PhD in Engineering

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

² Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

³ Military Academy of Space Defense n.a. G.K. Zhukov, Tver, Russian Federation, putintsev50@yandex.ru

Разработка современного быстроходного, энергоэффективного и надежного дизеля требует качественной смазки всех трущихся деталей в целом и деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) в особенности. Актуальность данного исследования обусловлена недостаточной изученностью процесса струйного маслоснабжения деталей ЦПГ, реализуемого в комбинированных системах смазки современных быстроходных четырехтактных двигателей и существенно влияющего на процессы трения, износа и задира деталей этой группы. Анализ ранее выполненных работ в этой области показал целесообразность не только постановки эксперимента, но и использования расчетного моделирования с целью повышения информативности получаемых результатов. Задачей исследования являлось определение координат точки выброса струи масла из зазора вращающегося шатунного подшипника. Согласно принятой рабочей гипотезе, точкой выброса струи масла являлось геометрическое место максимального зазора в шатунном подшипнике. Для расчета угловой координаты этой точки использовался метод составления и решения уравнений плоского движения твердого тела. В результате проведенного исследования получено аналитическое выражение искомой координаты и рассчитано ее значение в течение рабочего цикла для условий номинального режима работы объекта исследования – быстроходного универсального дизеля воздушного охлаждения 1СН 8,5/8,0 (ТМЗ-450Д). Обеспечение достоверности и повышение точности результатов исследования подтверждается сравнением с расчетными данными, полученными методом классической динамики поршневых двигателей. Массив расчетных значений координаты точки выброса струи масла из зазора вращающегося шатунного подшипника указанного дизеля, определенный в данной работе, будет использован для отладки разрабатываемого средства расчетного моделирования процесса струйной подачи масла и последующей оптимизации на этой основе условий смазки, трения и износа деталей ЦПГ.

Ключевые слова: быстроходный дизель, струйная подача масла, поршень, шатун, шатунная шейка, численное моделирование.

Для цитирования: Путинцев С.В., Стрельникова С.С., Аникин С.А. Расчет и идентификация координаты выброса струи масла из зазора вращающегося шатунного подшипника // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2020. № 5. С. 25–32. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-25-32.

The development of a modern high-speed, energy-efficient and reliable diesel engine requires high-quality lubrication of all friction parts in general and parts of the cylinder-piston group (CPG) in particular. The relevance of this research is due to the insufficient study of the process of oil jet supply of CPG parts, implemented in combined lubrication systems of modern high-speed four-stroke engines and significantly affecting the processes of friction, wear and scuffing of parts of this group. The analysis of previously performed works in this area has shown the feasibility of not only setting up an experiment, but also using computational modeling in order to increase the informativity of the results obtained. The aim of the study was to determine the coordinates of the point of ejection of the oil jet from the gap of the rotating connecting rod bearing. According to the accepted working hypothesis, the point of ejection of the oil jet was the geometric place of the maximum gap in the connecting rod bearing. To calculate the angular coordinate of this point, we used the method of composing and solving equations of plane motion of a solid body. As a result of the research, an analytical expression of the desired coordinate was obtained and its value was calculated during the working cycle for the conditions of the nominal operating mode of the research object – a high-speed universal air-cooled diesel engine 1CH 8.5/8.0 (TMZ-450D). Ensuring the reliability and increasing the accuracy of the results of the study is confirmed by comparison with the calculated data obtained by the method of classical dynamics of piston engines. The array of calculated values of the coordinate of the oil jet ejection point from the gap of the rotating connecting rod bearing of the diesel engine, defined in this paper, will be used for debugging the developed tool for calculating modeling of the oil jet feed process and subsequent optimization of the conditions of lubrication, friction and wear of CPG parts on this basis.

Keywords: high-speed diesel, oil jet supply, piston, connecting rod, connecting rod neck, numerical modeling.

Cite as: Putintsev S.V., Strelnikova S.S., Anikin S.A. Calculation and identification of the coordinate of oil jet ejection from the gap of a rotating connecting rod bearing. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 5, pp. 25–32 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-25-32.

Введение

Известно, что надежное и эффективное смазывание деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) является неперенным условием достижения не только безотказности, но и энергоэффективности работы поршневых двигателей. Принято считать, что одним из путей доставки моторного масла к трущимся деталям ЦПГ при использовании наиболее распространенной в конструкциях быстроходных ДВС комбинированной системы смазки является разбрызгивание струй смазочного материала из торцовых зазоров вращающегося шатунного подшипника под действием силы давления масла в зазоре сопряжения «шатунная шейка – вкладыши кривошипной головки шатуна» и сил инерции, возникающих при вращении шатунной шейки [1–4]. Несмотря на кажущуюся очевидность и простоту струйного маслоснабжения трущихся деталей ЦПГ, действительная картина протекания этого процесса остается не до конца ясной, а рациональность (в ряде типичных случаев конструкционного исполнения элементов системы смазки) может быть поставлена под сомнение.

Основания для такого утверждения следующие:

- одна из наиболее вероятных и часто встречающихся причин задира поршня – это перегрев данной детали, вызванный температурной вспышкой при трении в результате дефицита моторного масла («масляного голодания») в зоне контактирования поверхностей поршня и цилиндра; при этом ответ на вопрос, почему возник дефицит масла в зоне трения, если при этом имела место штатная работа системы смазки, как правило, остается без ответа [5–7];

- осмотр состояния поверхностей трения изношенных поршней указывает на определенную закономерность, состоящую в том, что наиболее подверженной изнашиванию и задиру является так называемая нагруженная сторона поверхности поршня: то есть та сторона, на которую действует максимальное значение боковой силы в плоскости качания шатуна, развиваемое у четырехтактных ДВС во время такта «Рабочий ход» [8, 9];

- однонаправленность вращения коленчатых валов четырехтактных быстроходных ДВС априори дает основание сомневаться в равномерности и, тем более, в рациональности распределения количества смазочного материала, доставляемого путем инерционно-го разбрызгивания на неравномерно нагружае-

мые боковой силой стороны (полуокружности) сопряжения «цилиндр – поршень» в плоскости качания шатуна, что нашло экспериментальное подтверждение в ряде работ [10–13].

Из вышеприведенного следует очевидное указание на актуальность более детального и многоуровневого исследования процесса струйного маслоснабжения деталей ЦПГ четырехтактных поршневых ДВС с комбинированной системой смазки с целью установления общих, устойчиво повторяющихся свойств этого процесса и последующего рационального согласования этих свойств с характером кинематики и динамики деталей ЦПГ и КШМ для повышения надежности и энергоэффективности работы двигателя.

Попытки изучения и оптимизации процесса струйного маслоснабжения ЦПГ на основе постановки эксперимента наталкиваются на целый ряд препятствий, связанных с невозможностью получения даже приближенно адекватной визуализации отдельной струи масла по следующим причинам:

- затрудненность оптического доступа в зону вращения кривошипа;

- высокая скорость и цикличность протекания процесса, а также наложение на него большого числа искажающих факторов;

- масляный туман, отражение струй от препятствий, параллельно протекающий процесс выброса струй масла из отверстий в стержне шатуна (при их наличии) и др.

В этих условиях решение задачи визуализации процесса струйного маслоснабжения ЦПГ на первом этапе исследования целесообразно выполнить расчетно-аналитическим путем, опираясь на надежные математические модели механики твердого тела.

Рабочая гипотеза

Основываясь на ранее полученных экспериментальных результатах [14], в качестве рабочей гипотезы полагаем, что наиболее вероятной точкой истечения отдельной струи масла из зазора вращающегося шатунного подшипника является точка максимального зазора на окружности сопряжения «шатунная шейка – вкладыши кривошипной головки шатуна» – M , которая располагается строго напротив точки K приложения вектора суммарной силы Q , действующей на шатунную шейку кривошипа коленчатого вала со стороны шатуна. Положение точек M и K однозначно определяется угловой координатой γ (рис. 1).

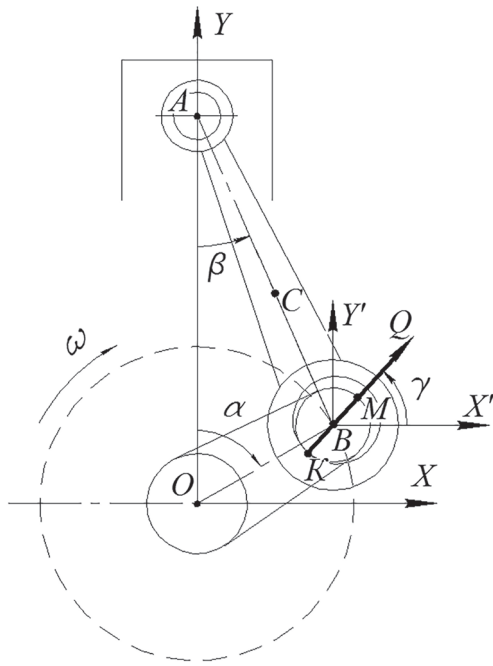


Рис. 1. Схема КШМ с основными линейными и угловыми размерами:

α – угол поворота коленчатого вала (ПКВ);
 β – угол качания шатуна; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала; A – ось поршневого пальца; $AC = l$ – расстояние от оси поршневой головки шатуна до его центра масс C ; B – ось шатунной шейки; $AB = L$ – длина шатуна; K – точка касания шатунной шейки с кривошипной головкой шатуна (точка приложения силы Q , действующей на шатунную шейку со стороны шатуна); O – ось коленчатого вала; $OB = R$ – радиус кривошипа коленчатого вала; γ – искомая угловая координата

Цель исследований

Исходя из описанной проблемы и принятой для ее решения рабочей гипотезы, цель исследований сводится к определению угловой координаты γ точки M на наружной цилиндрической поверхности шатунной шейки коленчатого вала.

Постановка задачи и допущения

Для решения поставленной задачи принимаем следующие допущения:

- угловая скорость вращения коленчатого вала ω – постоянная;
- все детали кривошипно-шатунного механизма (КШМ) – абсолютно жесткие;
- центр масс поршня лежит на оси поршневого пальца;
- поршневой палец – бесконечно тонкий (сила давления поршня на шатун приложена к центру масс поршня);

- реакция стенки цилиндра на поршень действует в направлении центра масс поршня;
- движение поршня в пределах зазоров с цилиндром отсутствует;
- ось цилиндра имеет вертикальное направление;
- силами трения пренебрегаем.

Объект исследования

Объектом исследования был выбран универсальный одноцилиндровый быстроходный дизель 1Ч 8,5/8,0 (ГМЗ-450Д) с традиционной схемой КШМ и комбинированной системой смазки, предусматривающей струйное маслонабжение трущихся деталей ЦПГ.

Материалы и методы

Вышеприведенная постановка задачи в принципе позволяет использовать для решения положения классической динамики ДВС, рассматривающие шатунную шейку как точку и включающие упрощенные выражения для определения показателей кинематики и динамики движущихся тел КШМ. Однако, с целью максимального повышения точности последующих расчетов как модуля, так и направления приложенной к шатуну со стороны шатунной шейки силы, для получения решения применяем принцип Д Аламбера и вытекающие из него уравнения механики твердого тела при плоском движении:

$$\begin{cases} ma^x = \sum F^x; \\ ma^y = \sum F^y; \\ J\varepsilon = \sum M, \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса твердого тела; a – ускорение центра масс тела; F – сила, приложенная к телу; J – момент инерции тела относительно центра масс; ε – угловое ускорение тела при вращении относительно центра масс; M – момент, приложенный к телу относительно центра масс; x , y – соответственно признаки проекции векторов линейных ускорений и сил на оси X и Y координатной системы XOY .

Применительно к расчетной схеме КШМ, представленной тремя сопряженными телами – поршнем, шатуном и шатунной шейкой, совершающими движение в плоскости качания шатуна (рис. 2), для каждого из этих тел можно составить уравнения движения. Однако, ввиду того, что для шатуна и шатунной шейки сила O

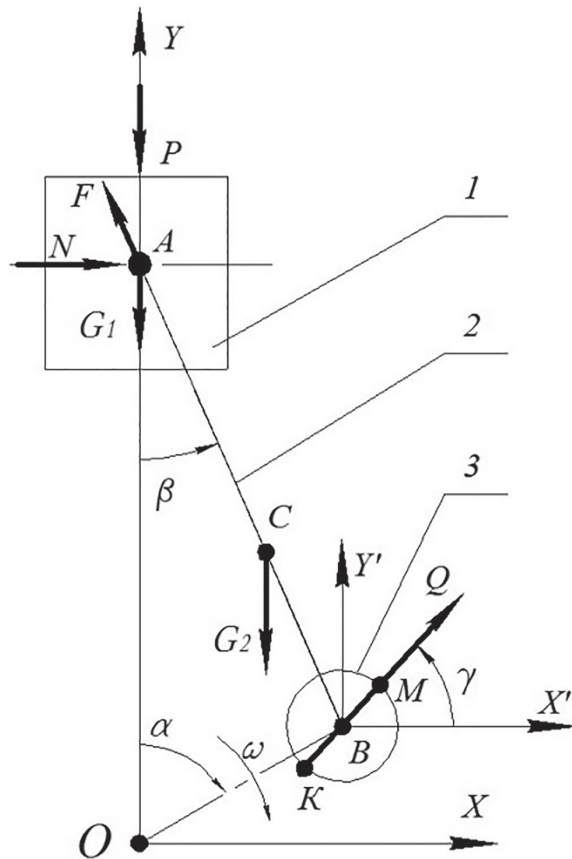


Рис. 2. Общая расчетная схема КШМ:

1 – поршень; 2 – шатун; 3 – шатунная шейка;
 P – сила давления газов, действующая на поршень;
 F – сила, приложенная к поршню со стороны шатуна; N – сила, приложенная к поршню со стороны цилиндра (не показан); G_1 – сила тяжести поршня; G_2 – сила тяжести шатуна

является общей, при составлении уравнений движения можно ограничиться рассмотрением только двух связанных тел (деталей) системы, а именно: поршнем 1 и шатуном 2.

Поскольку, согласно принятым допущениям, поршень совершает поступательное движение в цилиндре, из трех уравнений системы (1) для составления уравнений движения поршня используем только проекции сил на оси системы координат XOY :

$$\begin{cases} N - F^x = 0; \\ m_1 a_1^y = -P - G_1 - F^y \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} N - F^x = 0; \\ m_1 a_1^y = -P - m_1 g - F^y, \end{cases} \quad (2)$$

где нижний индекс 1 – признак принадлежности массы m и линейного ускорения a к телу 1

(т.е. поршню) рассматриваемой системы двух движущихся тел «поршень (1) – шатун (2)»; g – ускорение свободного падения тела.

После записи в координатной форме система уравнений (2) приобретает вид:

$$\begin{cases} N - F^x = 0; \\ m_1 \ddot{y}_A = -P - m_1 g - F^y, \end{cases} \quad (3)$$

где $\ddot{y}_A$ – ускорение точки A (центра масс поршня) в направлении координаты y .

Поскольку силу давления газов на поршень P и массу поршня m_1 считаем известными входными величинами, а ускорение $\ddot{y}_A$ – подлежащим отдельному вычислению, в системе уравнений (3) имеются три неизвестные, а именно: боковая сила N и две проекции F^x и F^y вектора F .

Для сопряженного с поршнем тела 2 – шатуна, который совершает сложное (поступательное и вращательное) движение, уравнения движения в координатной форме получают следующий вид:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_C = F^x + Q^x; \\ m_2 \ddot{y}_C = F^y - m_2 g + Q^y; \\ J \ddot{\beta} = -l(\cos \beta \cdot F^x + \sin \beta \cdot F^y) + \\ + (L - l) \cos \beta \cdot Q^x + (R - \lambda l) \sin \alpha \cdot Q^y, \end{cases} \quad (4)$$

где нижний индекс 2 – признак принадлежности массы m и линейного ускорения a к телу 2 (т.е. шатуну) рассматриваемой системы двух движущихся тел «поршень (1) – шатун (2)»; J – момент инерции шатуна относительно центра масс C ; $\ddot{\beta}$ – угловое ускорение качания шатуна; λ – отношение радиуса кривошипа R к длине шатуна L .

В системе уравнений (4) присутствуют четыре неизвестные проекции сил, а именно: F^x , F^y , Q^x и Q^y . Для получения решения производим объединение систем уравнений (3) и (4):

$$\begin{cases} N - F^x = 0; \\ m_1 \ddot{y}_A = -P - m_1 g - F^y; \\ m_2 \ddot{x}_C = F^x + Q^x; \\ m_2 \ddot{y}_C = F^y - m_2 g + Q^y; \\ J \ddot{\beta} = -l(\cos \beta \cdot F^x + \sin \beta \cdot F^y) + \\ + (L - l) \cos \beta \cdot Q^x + (R - \lambda l) \sin \alpha \cdot Q^y. \end{cases} \quad (5)$$

Объединенная система (5) является замкнутой, т.к. состоит из пяти уравнений, содержащих пять неизвестных: N , F^x , F^y , Q^x и Q^y .

Результаты и обсуждение

Решая систему уравнений (5), получаем выражения искомым проекций силы Q на оси координат X и Y :

$$Q^x = \frac{J\ddot{\beta} + lm_2[\cos\beta \cdot \ddot{x}_C + \sin\beta \cdot (\ddot{y}_C + g)] - R\sin\alpha \cdot Q^y}{L\cos\beta}; \quad (6)$$

$$Q^y = -m_1(\ddot{y}_A + g) + m_2(\ddot{y}_C + g) - P. \quad (7)$$

Проекции (6) и (7) используем для нахождения искомой угловой координаты γ точки M , из которой согласно принятой гипотезе происходит истечение струи моторного масла:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{Q^y}{Q^x}\right). \quad (8)$$

Для входных данных, соответствующих номинальному режиму работы (значений давления газов в цилиндре, а также размеров и масс деталей КШМ дизеля-объекта исследования), на основе выражения (8) были рассчитаны значения угла γ (табл. 1) и представлена их геометрическая интерпретация за период четырехтактного рабочего цикла указанного ДВС (рис. 3).

Если свести все изображения кривошипа на рис. 3 в положение верхней мертвой точки КШМ, то можно заметить, что зона касания наружной поверхности шатунной шейки с внутренней поверхностью отверстия кривошипной головки располагается преимущественно в нижней полуокружности сопряженных поверхностей этих элементов шатунного подшипника. Именно в этой зоне касания происходит изнашивание шатунных вкладышей и шатунной шейки, что соответствует практике и что подтверждают диаграммы износа шатунной шейки, построенные на основе значений силы Q , полученных разными методами расчета (рис. 4).

Качественное совпадение сравниваемых результатов износа шатунной шейки на рис. 4 указывает на правомерность применения

Таблица 1

Результат расчета угла γ по формулам (6)–(8) данной работы для номинального режима работы, размеров и масс деталей КШМ дизеля 1С 8,5/8,0 (ТМЗ-450Д)

Угол ПКВ α , град.	Давление газов в цилиндре p , кПа	Угловая координата т. M γ , град.
0	70	90
30	31	83
60	24	54
90	25	332
120	38	303
150	53	286
180	81	270
210	91	254
240	113	239
270	224	219
300	578	188
330	2182	244
360	11435	270
390	5964	282
420	1855	302
450	870	305
480	551	296
510	332	285
540	281	270
570	163	254
600	99	238
630	72	211
660	68	130
690	66	98
720	70	90

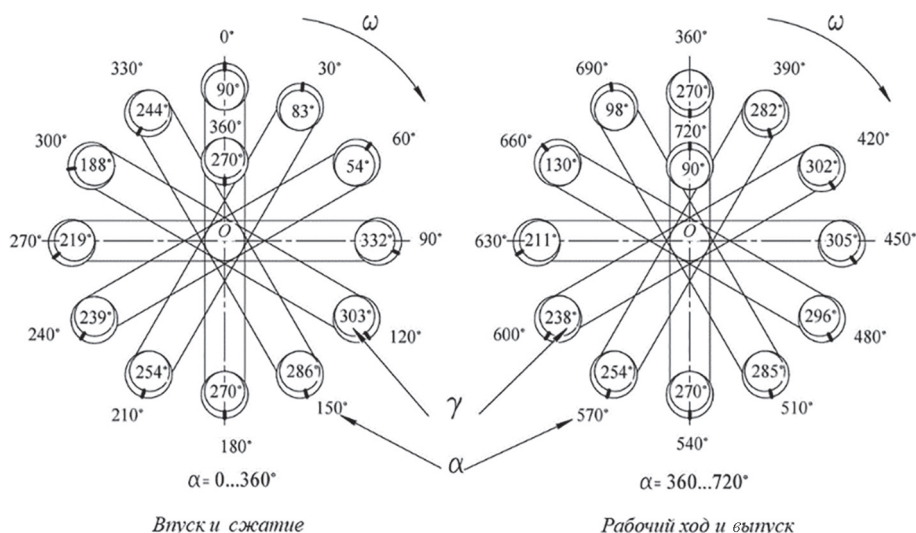


Рис. 3. Геометрическая интерпретация изменения угла γ – координаты точки выброса струи масла из вращающегося шатунного подшипника в течение рабочего цикла дизеля 1Ч 8,5/8,0 (ТМЗ-450Д)

Таблица 2

Сравнение расчетных значений силы Q , полученных при использовании разных методик расчета

Угол ПКВ α , град.	Сила Q (в Н), рассчитанная согласно методике		Разница значений	
	данной работы	работы [15]	Абсолютная, Н	Относительная, % (с точностью до целых)
0	8012	7979	-33	0
30	6702	6699	-3	0
60	3383	3479	96	3
90	3328	3533	205	6
120	5283	5514	231	4
150	6018	6138	120	2
180	6255	6288	33	1
210	6234	6385	151	2
240	5704	5995	291	5
270	4245	4497	252	6
300	2847	2926	79	3
330	6159	6284	125	2
360	56479	56520	41	0
390	27643	27890	247	1
420	8996	9216	220	2
450	7731	8003	272	4
480	8200	8479	279	3
510	7607	7734	127	2
540	7389	7423	34	1
570	6643	6799	156	2
600	5625	5914	289	5
630	3530	3769	239	7
660	3226	3303	77	2
690	6509	6505	-4	0
720	8012	7979	-33	0

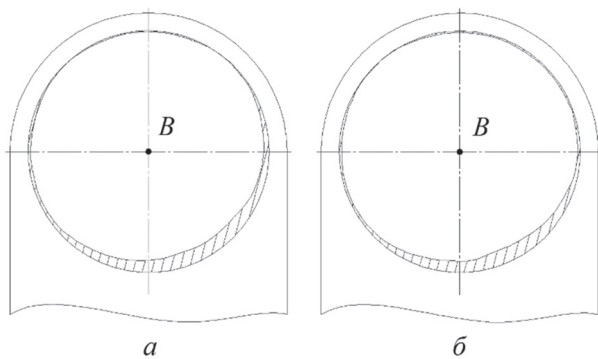


Рис. 4. Сопоставление диаграмм износа шатунной шейки дизеля 1Ч 8,5/8,0 (ТМЗ-450Д):

a – по результатам данного исследования;
б – согласно методике работы [15]

обоих подходов к расчету силы Q . В то же время, представленное в табл. 2 количественное расхождение и его численный уровень, достигающий на ряде расчетных шагов 7 %, свидетельствуют о том, что при использовании в данном исследовании более строгой модели, каковой является система уравнений механики твердого тела, по сравнению с упрощенными выражениями для расчета этой силы в работе [15] имеет место соразмерное с указанным выше расхождением повышение точности и достоверности результатов расчета как силы Q , так и, соответственно, определяемого этой силой искомого угла γ .

Полученный в результате выполненного исследования массив уточненных расчетных значений угловой координаты точки выброса струи масла будет использован для программирования, а затем моделирования и оптимизации процессов струйного маслоснабжения, трения и изнашивания деталей ЦПГ.

Выводы

1. На основе составления и решения системы уравнений механики твердого тела применительно к традиционному КШМ получены аналитические выражения для расчета угловой координаты точки истечения струи масла из вращающегося шатунного подшипника.

2. Достоверность разработанной расчетной модели и результатов расчета значений угловой координаты подтверждена на качественном и количественном уровнях сопоставлением соответственно диаграмм износа шатунной шейки и значений силы, действующей на эту шейку, полученных разными методами; при этом применение принятого в данном исследовании метода позволило на 7 % повысить

точность вычисления силы, определяющей положение искомой точки выброса струи масла.

3. В результате расчета по разработанной модели определен массив угловых координат точек истечения струй моторного масла из вращающегося шатунного подшипника, предназначенный для последующего расчетного моделирования процесса струйного маслоснабжения и оптимизации на этой основе условий смазки, трения и изнашивания деталей ЦПГ.

Литература

1. Алексеев В.П., Воронин В.Ф., Грехов Л.В. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
2. Manz D., Cowart J., Cheng W. High-speed video observation of engine oil aeration. SAE Techn. Pap. 2004-01-2913. 2004. DOI: 10.4271/2004-01-2913.
3. Gamble R.J., Priest M., Taylor C.M. Detailed analysis of oil transport in the piston assembly of a gasoline engine. Tribology letters. 2003. Vol. 14. No. 2. P. 147–156.
4. Honel B., Meillier R., Brix F., Noda Y., Andou T., Hosoya M. Model of an engine lubrication circuit including predictive bearing components. SAE Techn. Pap. 2003-01-1965. 2003. DOI: 10.4271/2003-01-1965.
5. Матвеевский Р.М., Комендант В.И. Влияние температуры на трение и задир при возвратно-поступательном движении образцов // Исследование смазочных материалов при трении. М.: Наука, 1981. С. 89–96.
6. Заренбин В.Г. Теория и тепловые расчеты на заедание в деталях цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания: автореф. дис. докт. техн. наук. 05.04.02. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1995. 32 с.
7. Богач В.М., Молодцов Н.С. Повышение надежности МОД в условиях повышенных износов и задиров сопряжения втулка цилиндра – поршневое кольцо // Судовые энергетические установки. 2008. № 22. С. 11–18.
8. Никишин В.Н. Исследование неравномерности температурного поля гильзы цилиндра и поршня автомобильного дизеля // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2006. № 7. С. 1–5.
9. Доценко В.Н., Белогуб А.В., Москаленко И.Н. Методика проектирования профиля поршня ДВС // Вісник двигунобудування. 2015. № 1. С. 74–80.

10. Путинцев С.В., Агеев А.Г. Экспериментальное исследование условий маслоснабжения цилиндра быстроходного четырехтактного двигателя внутреннего сгорания // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 10. С. 45–49.
11. Takiguchi M., Nakayama K., Furuhashi S., Yoshida H. Variation of piston ring oil film thickness in an internal combustion engine – comparison between thrust and anti-thrust sides. SAE Techn. Pap. 980563. 1998. DOI: 10.4271/980563.
12. Tamminen J., Sandström C.E., Andersson P. Influence of load on the tribological conditions in piston ring and cylinder liner contacts in a medium-speed diesel engine // Tribology international. 2006. Vol. 39. № 12. P. 1643–1652. DOI: 10.1016/j.triboint.2006.04.003.
13. Агеев А.Г. Снижение механических потерь в быстроходном дизеле воздушного охлаждения совершенствованием конструкции деталей ЦПГ: автореф. дисс. канд. техн. наук. 05.04.02. Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017. 16 с.
14. Путинцев С.В., Бикташев А.Ф., Пилацкая С.С. Некоторые результаты экспериментального моделирования условий маслоснабжения ЦПГ малоразмерного четырехтактного дизеля // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 5. С. 69–75.
15. Попык Г.К. Динамика автомобильных и тракторных двигателей. М.: Машиностроение, 1965. 258 с.
1. Alekseev V.P., Voronin V.F., Grekhov L.V. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Ustroistvo i rabota porshnevnykh i kombinirovannykh dvigatelei [Internal combustion engines. Design and operation of piston and supercharged engines]. Moscow. Mashinostroenie Publ. 1990. 288 p.
2. Manz D., Cowart J., Cheng W. High-speed video observation of engine oil aeration. SAE Techn. Pap. 2004-01-2913. 2004. DOI: 10.4271/2004-01-2913.
3. Gamble R.J., Priest M., Taylor C.M. Detailed analysis of oil transport in the piston assembly of a gasoline engine. Tribology letters. 2003. Vol. 14. No. 2. P. 147–156.
4. Honel B., Meillier R., Brix F., Noda Y., Andou T., Hosoya M. Model of an engine lubrication circuit including predictive bearing components. SAE Techn. Pap. 2003-01-1965. 2003. DOI: 10.4271/2003-01-1965.
5. Matveevsky R.M., Komendant V.I. Influence of temperature on friction and scuffing under reciprocating movement of samples. Issledovanie smazochnykh materialov pri trenii. [Research of lubricants under friction]. Moscow. Nauka Publ. 1981. P. 89–96.
6. Zarenbin V.G. Teoriya i teplovye raschety na zaedanie v detalyakh tsilindroporshnevoi gruppy dvigatelei vnutrennego sgoraniya: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Theory and thermal calculations for jamming of cylinder-piston group parts of internal combustion engines]: abstract of diss...doc. sci. in eng.]. 05.04.02. Moscow. BMSTU. 1995. 32 p.
7. Bogach V.M., Molodtsov N.S. Improving the reliability of low-speed diesels in conditions of increased wear and scuffing of the coupling cylinder sleeve-piston ring. Sudovye energeticheskie ustanovki. 2008. No. 22. P. 11–18.
8. Nikishin V.N. Investigation of the uneven temperature field of the cylinder liner and piston of an automobile diesel engine. Sotsialno-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya. 2006. No. 7. P. 1–5 (in Russ.).
9. Dotsenko V.N., Belogub A.V., Moskalenko I.N. Method of designing the internal combustion engine piston profile. Visnik dvigunobuduvannya. 2015. No. 1. P. 74–80.
10. Putintsev S.V., Ageev A.G. An experimental research of cylinder oil supply condition in a hi-speed four-stroke piston engine. Traktory i sel'khoz mashiny. 2016. No. 10. P. 45–49.
11. Takiguchi M., Nakayama K., Furuhashi S., Yoshida H. Variation of piston ring oil film thickness in an internal combustion engine – comparison between thrust and anti-thrust sides. SAE Techn. Pap. 980563. 1998. DOI: 10.4271/980563.
12. Tamminen J., Sandström C.E., Andersson P. Influence of load on the tribological conditions in piston ring and cylinder liner contacts in a medium-speed diesel engine. Tribology international. 2006. Vol. 39. No. 12. P. 1643–1652. DOI: 10.1016/j.triboint.2006.04.003.
13. Ageev F.G. Snizhenie mekhanicheskikh poter' v bystrokhodnom dizele vozdušnogo okhlazhdeniya sovershenstvovaniem konstruktssii detalei TSPG [Reduction of mechanical losses in a high-speed air-cooled diesel engine by improving the design of CPG parts]: abstract of diss. cand. sci. in eng.]. 05.04.02. Moscow. BMSTU. 2017. 16 p.
14. Popyk G.K. Dinamika avtomobilnykh i traktornykh dvigatelei [Dynamics of automobile and tractor engines]. Moscow. Mashinostroenie Publ. 1965. 258 p.
15. Putintsev S.V., Biktashev A.F., Pilatskaya S.S. Some results of experimental modeling cylinder and piston group oil supply conditions of the low-sized four-stroke diesel engine. Traktory i sel'khoz mashiny. 2018. No. 5. P. 69–75 (in Russ.).

Reference

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНОСОЛОМИСТОГО ВОРОХА

MODERNIZATION OF TECHNICAL MEANS FOR SEPARATION OF GRAIN-GRAIN GRAFF

Г.И. ХАРАЕВ¹, д.т.н.

С.Н. ШУХАНОВ², д.т.н.

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управлений, Улан-Удэ, Россия

² Иркутский государственный аграрный университет, Иркутск, Россия, Shuhanov56@mail.ru

G.I. HARAYEV¹, Dsc in Engineering

S.N. SHUKHANOV², Dsc in Engineering

¹ East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

² Irkutsk State Agrarian University, Irkutsk, Russia, Shuhanov56@mail.ru

Успешное функционирование сельскохозяйственного производства на современном этапе развития предполагает создание агроинженерных систем, работающих на инновационных принципах. В этом комплексе задач ключевое место отводится техническому обеспечению производства зерновых культур. Первостепенное значение имеет послеуборочная обработка зерна, в том числе его предварительная очистка, а именно разделение зерносоломистого вороха. Поэтому решение технической задачи по модернизации технического средства для разделения зерносоломистого вороха является актуальной проблемой. Широкий обзор литературных источников, посвященных данной тематике, всесторонний и вдумчивый анализ изобретений дали возможность модернизировать техническое средство на уровне патентпригодности. Предлагаемая модернизация аппарата достигается за счет равномерной подачи, обеспечивающей тонкослойное расслоение с необходимой ориентацией частиц, перемещаемых коническим разбрасывателем в образуемый кольцевой воздушный поток. Отличительной особенностью предлагаемого аппарата является новая форма известных конструктивных составляющих, а именно: выполнение питателя в виде бункера воронкообразной формы с выпускной щелью и дозатором кольцевой конструкции; реализация конического разбрасывателя, снабженного прямолинейными лопастями. Под разбрасывателем смонтировано приспособление для направления потока воздуха в виде конуса, а приемные камеры выполнены в форме кольцевых воронкообразных рабочих камер. Бункер воронкообразной конструкции с выпускной щелью позволяет стабилизировать перемещение составных частей обрабатываемого материала перед их поступлением на кольцевой дозатор. Наличие конструктивных особенностей предлагаемого аппарата обеспечивают реализацию технического результата на уровне патентпригодности, обеспечивающего повышение производительности, а также эффективности выделения из обрабатываемого материала сходовых компонентов.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, солоmistый ворох, техническое средство, модернизация.

Для цитирования: Хараев Г.И., Шуханов С.Н. Модернизация технического средства для разделения зерносоломистого вороха // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 5. С. 33–36. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-33-36.

The successful functioning of agricultural production at the present stage of development presupposes the creation of agro-engineering systems operating on innovative principles. In this set of tasks, the technical support of cereal production has a key place. Post-harvest treatment of grain is of paramount importance, including its pre-purification, namely, separation of grain straw heap. Therefore, the solution of the technical task of modernizing the technical means for separation of grain straw heap is a pressing problem. A wide overview of literary sources devoted to this topic, a comprehensive and thoughtful analysis of inventions made it possible to modernize device at the level of patentability. Proposed modernization of apparatus is achieved due to uniform feed, which provides thin-layer stratification with required orientation of particles moved by conical spreader into formed annular air flow. A distinctive feature of the proposed device is a new form of execution of known structural components, namely, the representation of the feeder in the form of a funnel-shaped hopper with an outlet slot, as well as a ring-shaped dispenser, the design of a conical spreader equipped with straight blades, including receiving chambers made in the form of a design of circular funnel-shaped working chambers. In addition, a characteristic feature of the proposed apparatus is the presence of a device for directing the air flow in the form of a cone. The hopper of a funnel-shaped design with an outlet slot allows to stabilize the movement of the components of the processed material before they arrive at the ring dispenser. Availability of design features of the proposed apparatus ensures realization of technical result at the level of patentability, which provides an increase of productivity, as well as efficiency of extraction of output components from processed material.

Keywords: agricultural production, straw graff, technical means, modernization.

Cite as: Harayev G.I., Shukhanov S.N. Modernization of a technical means for separating a grain-straw heap. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 5, pp. 33–36 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-33-36.

Введение

Успешное функционирование сельскохозяйственного производства на современном этапе развития предполагает создание агроинженерных систем, работающих на инновационных принципах [1, 2]. В этом комплексе задач ключевое место отводится техническому обеспечению производства зерновых культур [3–6]. В частности, первостепенное значение имеет послеуборочная обработка зерна, в том числе его предварительная очистка, а именно разделение зерносоломистого вороха.

Цель исследований

Решение технической задачи по модернизации технического средства для разделения зерносоломистого вороха.

Материалы и методы

Широкий обзор литературных источников, посвященной данной тематике, всесторонний и вдумчивый анализ изобретений дали возможность модернизировать техническое средство на уровне патентопригодности.

Результаты и обсуждение

Наиболее распространены аппараты для разделения зерносоломистого вороха, включающие в себя загрузочный бункер, питатель, состоящий из двух транспортеров ленточного типа, осевой вентилятор, поток воздуха делительной камеры с непосредственным выходным клапаном, на консоле которого смонтированы щелевые пылеотделители, отводящие транспортеры очищенного зерна и полученных отходов 2-й фракции [7].

Предлагаемая модернизация аппарата достигается за счет равномерной подачи, обеспечивающей тонкослойное расслоение с необходимой ориентацией частиц, перемещаемых коническим разбрасывателем в образуемый кольцевой воздушный поток. Технический результат получается с помощью того, что в аппарате для непосредственного разделения частиц вороха, состоящего из питателя, рабочего разбрасывателя и осевого вентилятора, сопло для нагнетания смонтировано в направлении, перпендикулярном траектории перемещения частиц вороха, и состоит из собственно разбрасывателя и специальных конструкций приемных камер для эффективного сбора фракций. Конструкция питателя изготовлена в виде воронкообразного бункера с узкой выпускной

щелью и специальным кольцевым дозатором, непосредственно под которым смонтирован конический разбрасыватель, закрепленный на вертикальном валу с возможностью необходимого вращения и свободного перемещения по вертикали, на рабочей поверхности разбрасывателя перпендикулярно расположены прямолинейные лопасти. Далее под разбрасывателем смонтировано приспособление для направления воздушного потока в форме конуса, функционирующие приемные камеры изготовлены в форме кольцевых воронкообразных рабочих осадочных камер.

В результате реализации проекта по модернизации предлагаемого аппарата решена задача повышения рабочей производительности, а также эффективности разделения составных частей компонентов вороха за счет равномерной подачи, осуществления тонкослойного расслоения с необходимой ориентацией частиц, разбрасываемых с помощью конического разбрасывателя в образуемый кольцевой воздушный поток.

Конструктивная сущность модернизации аппарата иллюстрируется рисунком. Аппарат для разделения зерносоломистого вороха включает в себя цилиндрический ограждающий кожух 1, непосредственно в верхней части которого закреплен бункер воронкообразной формы 2 с выпускной щелью 3, сразу к которой прикреплен кольцевой дозатор 4. Непосредственно под дозатором 4 установлен разбрасыватель 5 в виде конуса, на рабочей поверхности которого (перпендикулярно ей) смонтированы прямолинейные лопасти 6. Конструкция разбрасывателя 5 закреплена на вертикальном валу 7 с необходимой возможностью вращения, а также перемещения по вертикали, в том числе фиксации его непосредственного положения на валу посредством приспособления 8. Приводной вал 7 соединен с электроприводом 9. Специальные приемные камеры 10 и 11 изготовлены в виде кольцевых осадочных рабочих камер в форме воронки с функцией сбора непосредственно разделенных фракций. Собственно нагнетательное сопло 12 осевого вентилятора 13 закреплено в направлении, перпендикулярном траектории перемещения частиц вороха из корпуса разбрасывателя 5. В нижней части конструкции приемных кольцевых рабочих осадочных камер в форме воронки 10 и 11 смонтированы клапаны 14, 15 для надежного

предотвращения подсоса атмосферного воздуха, а также транспортеры 16, 17 для перемещения зерна, в том числе для отвода движущихся солоmistых частиц. В конструкции верхней части аппарата закреплен выходной кольцевой специальный канал 18 с целью удаления пыли, в том числе легких примесей, непосредственно в циклон. Под самым разбрасывателем 5 смонтировано приспособление 19 для направления воздушного потока в форме конуса.

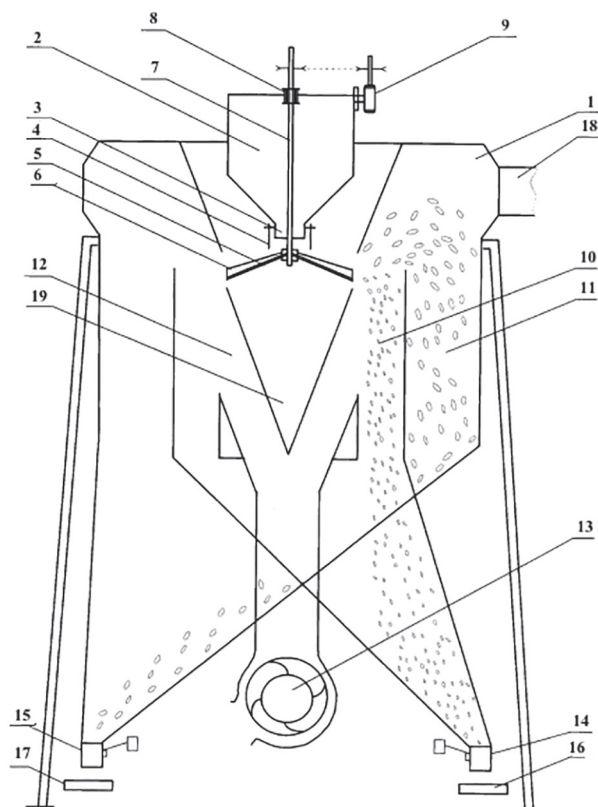


Рис. Конструктивно-технологическая схема аппарата

Техническое устройство функционирует следующим образом. Обрабатываемый материал направляется в бункер в виде конуса 2, где выводится непосредственно через выпускную щель 3, а также поступает в щель дозатора в виде кольца 4 с целью регулирования, в том числе обеспечения необходимой толщины вороха. После, в соответствии с видом, составом, а также состоянием вороха направляется на конический разбрасыватель 5, в процессе вращения которого обрабатываемый ворох перемещается в поток воздуха в форме кольца при функционирующем вентиляторе 13, чье нагнетательное рабочее сопло смонтировано в направлении, перпендикулярном траектории движения собственно частиц вороха.

Распределение частиц осуществляют с определенной скоростью с помощью варьирования скорости разбрасывателя 5. Посредством приспособления 8 варьировать высоту разбрасывателя. Конструкция приспособления 19 обеспечивает создание вентилятором 13 необходимого направленного потока воздуха, значение скорости которого превышает величины критических скоростей разделяемых составных частей обрабатываемого материала. Частицы компонентов вороха до контакта с воздушным потоком, перемещаясь по линиям наименьшего значения лобового сопротивления, распределяются так, что их продольная осевая линия пересекается с осевой линией реального потока воздуха под заданным углом. В этом случае составные компоненты обрабатываемого вороха, зерно, а также солоmistые частицы, которым присущи разные значения кинетической энергии, будут перемещаться по совершенно разным траекториям. Собственно зерно преодолевает сопротивление воздушного потока, а затем непосредственно поступает в приемную часть осадочной камеры в форме воронки 10 для зерна. Реальная траектория полета составных солоmistых компонентов обрабатываемого материала отклоняется, и затем они поступают непосредственно в приемную осадочную рабочую камеру в виде кольца 11 для соломы. Легкие частицы, в том числе полова, транспортируются потоком воздуха в циклон посредством выходного канала в виде кольца 18. Установленные клапаны 14 и 15 обеспечивают герметичность процесса выгрузки собственно отдельных фракций.

Вывод

Таким образом, в результате выполненной работы по модернизации аппарата разделения зерносолоmistого вороха удалось достичь технического результата на уровне патентопригодности за счет равномерной подачи, осуществления тонкослойного расслоения с необходимой ориентацией частиц, разбрасываемых с помощью конического разбрасывателя в образуемый кольцевой воздушный поток. Это повысило производительность аппарата, а также эффективность выделения из обрабатываемого материала сходовых компонентов.

Литература

1. Клибанова Ю.Ю., Кузнецов Б.Ф. Проекты и разработки в области цифрового сельского хозяй-

- ства, реализуемые на энергетическом факультете Иркутского ГАУ // Актуальные вопросы аграрной науки. 2019. № 31. С. 56–63.
2. Степанов Н.В., Шуханов С.Н. Новая защитная смазка для хранения сельскохозяйственной техники // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2019. № 1 (53). С. 352–358.
 3. Алтухова Т.А., Шуханов С.Н. Энергосберегающий аппарат для сушки зернистых материалов // Актуальные вопросы аграрной науки. 2018. № 27. С. 12–17.
 4. Сухаева А.Р., Шуханов С.Н. Состояние вопроса самонагревания хлебной массы в скирдах // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (71). С. 165–167.
 5. Поляков Г.Н., Шуханов С.Н. Модернизация сепаратора измельченного вороха зерновых колосовых культур // Пермский аграрный вестник. 2019. № 1 (25). С. 4–9.
 6. Сухаева А.Р., Шуханов С.Н., Коваливнич В.Д. Технологии уборки зерновых культур // Известия международной академии аграрного образования. 2019. № 46. С. 66–69.
 7. Косилов Н.И. Рекомендации по совершенствованию технологии и технических средств для предварительной очистки зерна в хозяйствах РСФСР. М.: ГАПК, 1988. С. 12–19.

Reference

1. Klibanova Yu.Yu., Kuznetsov B.F. Projects and developments in the field of digital agriculture, implemented at the Faculty of Energy, Irkutsk State Agrarian University. Actual problems of agricultural science. 2019. No. 31, pp. 56–63.
2. Stepanov N.V., Shukhanov S.N. New protective lubricant for the storage of agricultural machinery. Izvestia of the Nizhnevolzhsky agricultural university complex. 2019. No. 1 (53), pp. 352–358.
3. Altukhova T.A., Shukhanov S.N. Energy saving apparatus for drying grain materials. Topical issues of agrarian science. 2018. No 27, pp. 12–17.
4. Sukhayeva A.R., Shukhanov S.N. State of the issue of self-heating of bread mass in skirds. News of the Orenburg State Agrarian University. 2018. No 3 (71), pp. 165–167.
5. Polyakov G.N., Shukhanov S.N. Modernization of grinded graff separator of cereal crops. Perm Agrarian Gazette. 2019. No 1 (25), pp. 4–9.
6. Sukhayeva A.R., Shukhanov S.N., Kovalivnich V.D. Grain harvesting technologies. News of the International Academy of Agrarian Education. 2019. No 46, pp. 66–69.
7. Kosilov N.I. Recommendations for Improvement of Technology and Technical Means for Preliminary Grain Purification in RSFSR. Moscow: ГАПК, 1988, pp. 12–19.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОИМОСТИ ХАРВЕСТЕРОВ НА ВТОРИЧНОМ РЫНКЕ КАК АСПЕКТА ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

RESEARCH ON THE PRICE OF HARVESTERS IN THE SECONDARY MARKET AS AN ASPECT OF CHANGING THEIR TECHNICAL CONDITION

М.А. ПИСКУНОВ, к.т.н.

Петрозаводский государственный университет,
Петрозаводск, Россия, piskunov_mp@list.ru

M.A. PISKUNOV, PhD in Engineering

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia,
piskunov_mp@list.ru

В лесопромышленном комплексе России средние и мелкие предприятия с объемом лесозаготовок до 100 тыс. куб. м в год занимают в общем объеме 48 %. Большая часть этих предприятий не обладают возможностями для приобретения новых харвестеров. Альтернативой новым машинам выступают харвестеры с вторичного рынка. Актуальными являются исследования по изучению изменения технического состояния харвестеров в процессе эксплуатации. Был проведен сбор данных о моделях, возрасте, количестве отработанных моточасов и стоимости харвестеров, предлагаемых на вторичном рынке. Собрано 202 предложения. На машины возрастом до 5 лет приходится 31 ед.; возрастом от 5 до 10 – 99; от 10 до 15 – 56; старше 15 – 16; по моделям: John Deere (включая устаревший бренд Timberjack) – 73, в том числе 8 гусеничных машин; Ponsse – 29; Komatsu (включая устаревший бренд Valmet) – 49, включая 4 машины на базе гусеничного экскаватора; харвестеры разных моделей, выполненные на базе гусеничных экскаваторов – 37; прочие модели – 18. Гипотетически полагая, наличие связи между стоимостью машины и ее состоянием, построены корреляционные зависимости: между стоимостью и возрастом харвестера; между стоимостью и количеством моточасов. Зависимость между стоимостью и возрастом описывается степенной и экспоненциальной кривыми, коэффициенты детерминации соответственно – 0,56 и 0,54. Фильтрация данных по диапазону мощности (160–205 кВт) и по модели (рассмотрено три модели: John Deere 1270, Ponsse Ergo, Komatsu 931) не привела к однозначной определенности в виде регрессии, хотя незначительно увеличила коэффициент детерминации. Выделены группы факторов, которые могут влиять на характер регрессии: фактор продавца, фактор ремонта, фактор эксплуатации, фактор технических характеристик, но определение степени влияния этих групп требует дополнительных исследований. Зависимость между стоимостью и количеством моточасов характеризуется очень слабой связью из-за большого разброса данных вследствие некорректных значений моточасов, отмеченных продавцами. Общие регрессионные тренды для харвестеров согласовываются с данными для других типов тракторов, но для определения однозначности в регрессиях требуется накопление эмпирических данных по надежности машин и изменению их стоимости в течение ряда лет.

Ключевые слова: харвестер, стоимость, вторичный рынок, техническое состояние, возраст машины, регрессия.

Для цитирования: Пискунов М.А. Исследование стоимости харвестеров на вторичном рынке как аспекта изменения их технического состояния // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2020. № 5. С. 37–44. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-37-44.

In the timber industry complex of Russia, medium-sized and small enterprises with a volume of timber harvesting up to 100 thousand cubic meters per year occupy a share of 48 % in the total volume. Most of these enterprises do not have the capacity to purchase new harvesters. An alternative to the new harvesters are the harvesters from the secondary market. Thus the study of changes in the technical condition of harvesters during their operation is an actual study for Russia. The data on the models, age, number of hours worked and the cost of harvesters that are offered on the secondary market was collected. 202 commercial offers were collected. In total there are 31 harvesters under 5 years of operation; 99 harvesters from 5 to 10 years of operation; 56 – from 10 to 15 years of operation; and 16 – older than 15 years of operation. There are 73 John Deere harvesters (including the outdated Timberjack models), with 8 tracked vehicles, 29 Ponsse harvesters; 49 Komatsu harvesters (including the outdated Valmet models) with 4 harvesters based on a tracked excavator; 37 harvesters of different models made on the basis of tracked excavators and 18 harvesters of other models. Hypothetically assuming that there is a connection between the price of the harvester and its condition, correlations were analyzed between the price and the age of the harvester and between the price and the number of worked hours of the harvester. The relationship between the price and the age is described by power and exponential curves, with coefficients of determination of 0,56 and 0,54, respectively. Filtering data by power range (160–205 kW) and by model (three models were considered: John Deere 1270; Ponsse Ergo; Komatsu 931) did not lead to clear certainty about the form of regression, although it slightly increased the coefficient of determination. There are groups of factors that can influence the type of regression: the seller's factor, the repair factor, the operation factor, and the technical characteristics factor, but determining the degree of influence of these groups requires additional research. The dependence between the price and the number of worked hours is characterized by a very weak relation due to a large spread of data owing to incorrect values of the hours marked by sellers. General regression trends for harvesters are consistent with data for other types of tractors. But to determine unambiguity in regressions requires the accumulation of empirical data on the reliability of machinery and changes in their price over a number of years.

Keywords: harvester, price, secondary market, technical condition, machine age, regression.

Cite as: Piskunov M.A. Research on the price of harvesters in the secondary market as an aspect of changing their technical condition. Traktory i sel'khoz mashiny. 2020. No 5, pp. 37–44 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-5-37-44.

Введение

Лесозаготовительная машина – харвестер, как и любое изделие, обладает своим жизненным циклом. Государственный стандарт [1] определяет термин «стадия жизненного цикла продукции». Этот же стандарт выделяет следующие стадии: «обоснование разработки; разработка технического задания; проведение опытно-конструкторских работ; производство и испытание; модернизация; использование (эксплуатацию); ликвидацию (с избавлением от отходов путем их утилизация и/или удаления)».

Кроме стадий жизненного цикла государственный стандарт [2] определяет термин «этап жизненного цикла» – «часть стадии жизненного цикла, выделяемая по признакам моментов контроля (контрольных рубежей), в которые предусматривается проверка характеристик проектных решений типовой конструкции и (или) физических характеристик экземпляров изделий». ГОСТ дает определение понятию «эксплуатация» – «стадия, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается качество изделия, включающая в общем случае использование по назначению, транспортирование и техническую эксплуатацию: хранение, техническое обслуживание и все виды ремонта, кроме тех, которые выполняются на условиях временного вывода изделия из эксплуатации, например капитальный ремонт».

Исследователями разработаны различные укрупненные модели жизненного цикла изделий, организаций, систем и пр. Однако если рассматривать отдельно взятую отрасль или систему схожих отраслей, то жизненный цикл изделий той или иной отрасли должен обладать своими специфическими свойствами. Причем разные стадии жизненного цикла машин той или иной отрасли может также отмечаться своими специфическими чертами.

Существуют некоторые общие фундаментальные тренды в описании и моделировании жизненного цикла какого-либо объекта, но в ряде случаев необходимы поправки на специфику отрасли.

Рассматривая эксплуатацию как стадию жизненного цикла технологической машины, отметим факт изменения технического состояния машины на этой стадии с течением времени. Изменение технического состояния может быть формализовано и представлено в виде некоторых закономерностей.

Существуют разные способы для этой формализации. Один из фундаментальных

способов – это рассмотрение изменения технического состояния через терминологию, понятийный и математический аппарат теории надежности [3].

Для решения прикладных задач управления жизненным циклом необходим непрерывный сбор и анализ данных о состоянии технического объекта, о дефектах, повреждениях, отказах, возникающих у объекта в процессе эксплуатации.

Полноценный, для построения адекватных моделей, объем информации о том, как меняется состояние технического объекта в ходе эксплуатации, может собрать производитель техники или предприятие, которое эту технику долго эксплуатирует и располагает возможностью собрать адекватный набор статистической информации.

В обоих случаях в современных реалиях в области лесозаготовительной техники эта информация широко не распространяется, поскольку представляет коммерческую тайну, а в некоторых случаях на основе этой информации выстраивается бизнес-процесс, например, на предприятиях сервисного обслуживания.

Источником информации об изменении технического состояния лесозаготовительных машин являются в основном исследователи, собирающие эмпирическую информацию о надежности лесозаготовительных машин.

Альтернативным подходом для моделирования изменения состояния выступает подход, предлагаемый специалистами в области оценки стоимости машин и оборудования.

В качестве одного из методов для моделирования состояния технического объекта исследователи используют корреляционную зависимость между коэффициентом физического износа и возрастом технического объекта. В качестве коэффициента физического износа здесь выступает соотношение между ценой поддержанного объекта и ценой такого же объекта, только нового [4, 5].

Исследователи исходят от того, что в стоимость поддержанного технического объекта потенциальный продавец закладывает износ оборудования или какой-то обобщенный показатель, характеризующий текущее техническое состояние объекта.

В работе С.А. Смоляка [6] представлены обширные эмпирические данные о снижении с возрастом стоимости различных машин. В этой же работе предлагается универсаль-

ная теоретическая модель, которая описывает снижение стоимости машин в понятиях экономической парадигмы. В других работах автора модель развивается на основе учета различных факторов, которые влияют на стоимость.

При анализе жизненного цикла харвестера в структуре его эксплуатации, как стадии жизненного цикла, нередко наблюдается случай, когда машина проходит через дополнительный этап – этап смены владельца. Этап смены владельца может происходить на разных временных отсечках с момента начала эксплуатации машины (теоретически в любой момент времени), соответственно она будет иметь разное техническое состояние в эти периоды или, в соответствии с терминологией стандарта [2], разные физические характеристики.

На лесозаготовках в России в настоящее время преобладает сортиментная технология. На российском рынке форвардеров и харвестеров – машин для сортиментной технологии – сегодня доминируют три компании: это John Deere, Komatsu, Ponsse. Две компании – это глобальные транснациональные корпорации, производящие не только лесозаготовительную технику, но и широкую линейку машин для других отраслей.

По сведениям, представленным в документе Правительства РФ [7], все арендаторы лесных площадей, занимающиеся заготовкой древесины, разделены на 4 группы: очень крупные (объем выше 500 тыс. куб. м в год); крупные (от 100 до 500); средние (от 20 до 100); мелкие (до 20). Крупные и очень крупные предприятия занимают 52 % от всего годового объема заготовки древесины, соответственно на средние и мелкие предприятия приходится 48 %.

Так как современный харвестер – это высокопроизводительная машина, обладающая очень высокой стоимостью и для обеспечения номинальных производственных показателей требующая квалифицированного использования, то не все лесопромышленники могут позволить себе приобретение и обслуживание новой машины. В эту категорию попадает большая часть средних и все мелкие предприятия, которые без дополнительных финансовых инструментов не могут рассчитывать на приобретение новых машин от «брендов», доминирующих на российском рынке. А это почти половина всей заготовки древесины в России (общий объем в 2019 г. составил 218,5 млн куб. м.).

В сегменте средних и мелких предприятий лесопромышленники, которые не могут приобрести новый харвестер, используют разнообразные организационные и технологические решения для обеспечения производственного процесса необходимым оборудованием и машинами.

Одним из таких решений выступает приобретение поддержанных харвестеров на вторичном рынке. В этой связи исследования, направленные на понимание того, как происходит изменение технического состояния харвестера и как, в этой связи, меняется его стоимость, представляются актуальными для лесопромышленного комплекса.

Цель исследований

Построить эмпирические закономерности изменения стоимости харвестера в зависимости от возраста и сравнить эти данные с моделями, предлагаемыми для описания изменения в процессе эксплуатации технического состояния и стоимости машин в других отраслях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- собрать данные о возрасте, моделях и стоимости харвестеров, продаваемых компаниями и частными лицами на вторичном рынке;
- построить корреляционные зависимости между возрастом харвестера и его стоимостью;
- выполнить фильтрацию полученных данных по критериям: модель харвестера, мощность харвестера;
- выполнить анализ факторов, которые могут существенно оказать влияние на характер корреляционных зависимостей.

Материалы и методы

Для получения необходимой эмпирической информации осуществлялся сбор сведений от компаний и частных лиц о предлагаемых на вторичном рынке моделях харвестеров, их стоимости, годе выпуска или годе ввода в эксплуатацию, количестве отработанных моточасов на момент сбора данных. Данные собирались по моделям харвестеров, предлагаемых на вторичном рынке, и их стоимости во временном промежутке, который охватывал период с 1 сентября 2019 г. по 14 апреля 2020 г.

С помощью методов математической статистики выполнялся корреляционный анализ. В ходе корреляционного анализа осуществлялся поиск регрессионного уравнения, наиболее близко описывающего исследуемый процесс.

Определялись корреляционные зависимости между стоимостью машины и ее возрастом, а также между стоимостью машины и количеством отработанных моточасов на момент продажи.

В работе исследовались зависимости без учета критериев и факторов, которые могли оказать влияние на характер зависимостей, то есть корреляция определялась между всеми моделями и всеми возрастами харвестеров и их стоимостью, который попали в исследуемый временной отрезок.

Также в работе выполнялся корреляционный анализ с использованием фильтров. В качестве фильтров выступали: диапазон мощности – проводился анализ только для моделей машин попадающих в заданный диапазон мощности двигателя; модель машины – рассматривалась конкретная марка машины и анализировалось изменение стоимости только для этой марки. В работе рассматривались регрессии для трех моделей машин.

Результаты

Всего было получено 202 позиции разнообразных моделей харвестеров, данные о их стоимости и года выпуска, предлагаемых на вторичном рынке. Данные, сгруппированные по годам, представлены на рис. 1. Из общего объема на машины возрастом до 5 лет приходится 31 ед.; возрастом от 5 до 10 – 99; от 10 до 15 – 56; старше 15 – 16. По моделям харвестеры распределены следующим образом: John Deere (включая устаревший бренд Timberjack) – 73, в том числе 8 гусеничных машин; Ponsse – 29; Komatsu (в том числе устаревший бренд Valmet) – 49, включая 4 машины на базе гусеничного экскаватора; харвестеры разных моделей, выполненные на базе гусеничных экскаваторов – 37; прочие модели – 18.

Наибольшая группа машин по возрасту – это машины с возрастом от 5 до 10 лет. Эта группа занимает около 50 % от всего объема харвестеров на вторичном рынке. Доля в 36 % приходится на машины семейства John Deere.

На рис. 1 показана корреляционная зависимость между стоимостью машины и ее возрастом. Корреляция построена без фильтров, на основе всех полученных позиций. Наиболее близкими моделями, описывающими процесс изменения стоимости, являются степенная и экспоненциальная зависимости.

Экспоненциальное уравнение регрессии имеет вид:

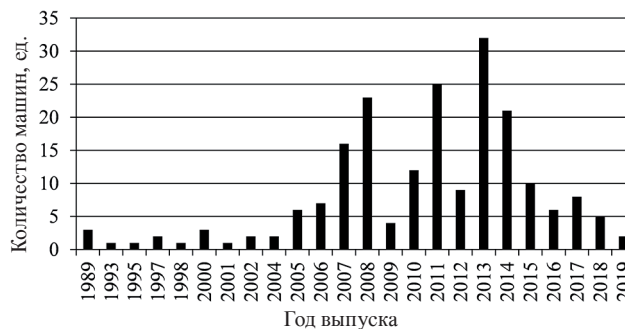


Рис. 1. Распределение харвестеров по возрасту

$$C = 17,47 \cdot e^{-0,092 \cdot N},$$

где C – стоимость в млн руб.; N – возраст, лет.

Коэффициент детерминации $r^2 = 0,54$.

Уравнение степенной регрессии имеет вид:

$$C = 45,04 \cdot N^{-0,863}.$$

Коэффициент детерминации $r^2 = 0,56$. На рис. 2 изображен график именно степенной зависимости.

На рис. 3 показана зависимость между стоимостью машины и количеством, отработанных ею моточасов. Количество моточасов, отработанных машиной, записывалось по сведениям, предоставленным продавцами, без фактической проверки. В связи с чем наблюдается боль-

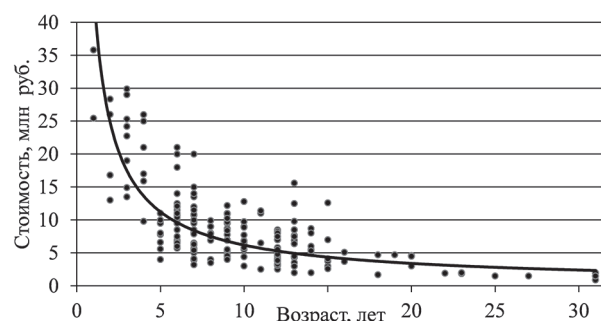


Рис. 2. Зависимость между стоимостью машины и ее возрастом



Рис. 3. Зависимость между стоимостью машины и количеством отработанных моточасов, заявляемых продавцом

шой разброс в значениях, и, несмотря на общий тренд, отсутствует тесная корреляционная зависимость между стоимостью и количеством моточасов. Для линейной регрессии коэффициент детерминации составляет 0,23.

Такой разброс объясняется тем, что многие продавцы некорректно или неправильно указывали фактическое число отработанных моточасов.

На рис. 4 показаны корреляционные зависимости для отдельных моделей машин. Зависимости рассмотрены для трех моделей харвестеров: John Deere 1270, Komatsu 931, Ponsse Ergo. В расчете использовались все модификации указанных моделей, которые попали в массив данных.

Зависимости между стоимостью и возрастом для харвестера модели John Deere 1270:

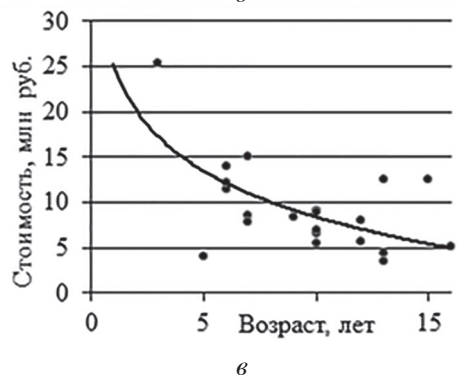
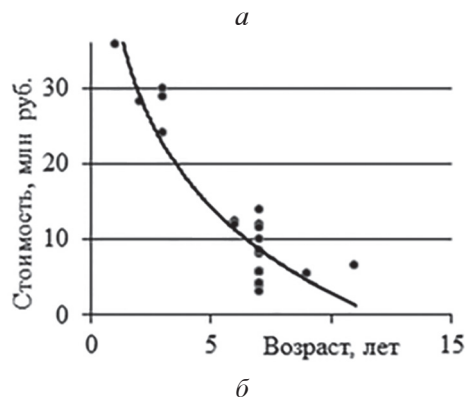
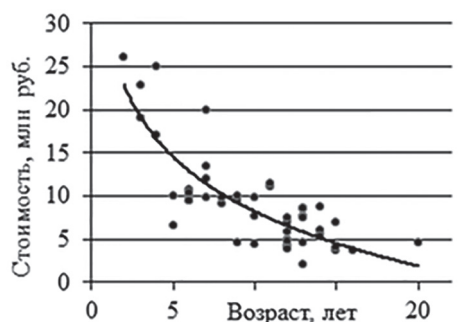


Рис. 4. Зависимости между стоимостью и возрастом для отдельных моделей харвестеров:
а) John Deere 1270; б) Komatsu 931; в) Ponsse Ergo

– логарифмическая регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,68$:

$$C = -9,13 \cdot \ln(N) + 29,23 ;$$

– степенная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,6$:

$$C = 51,95 \cdot N^{-0,85} ;$$

– экспоненциальная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,57$:

$$C = 22,05 \cdot e^{-0,103 \cdot N} .$$

Зависимости между стоимостью и возрастом для харвестера модели Komatsu 931:

– логарифмическая регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,88$:

$$C = -16,4 \cdot \ln(N) + 40,66 ;$$

– степенная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,64$:

$$C = 59,18 \cdot N^{-1,06} ;$$

– экспоненциальная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,63$:

$$C = 45,69 \cdot e^{-0,252 \cdot N} .$$

Зависимости между стоимостью и возрастом для харвестера модели Ponsse Ergo:

– логарифмическая регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,37$:

$$C = -7,3 \cdot \ln(N) + 25,23 ;$$

– степенная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,27$:

$$C = 31,16 \cdot N^{-0,61} ;$$

– экспоненциальная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,21$:

$$C = 15,39 \cdot e^{-0,065 \cdot N} .$$

На рис. 5 представлен «отфильтрованный» массив данных. Из общего количества позиций исключены те, которые представляют гусеничные харвестеры и харвестеры с мощностью двигателя меньше 160 кВт и больше 205 кВт.

Наиболее адекватны данным, представленным на рис. 5, регрессионные зависимости:

– степенная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,58$:

$$C = 55,72 \cdot N^{-0,92} ;$$

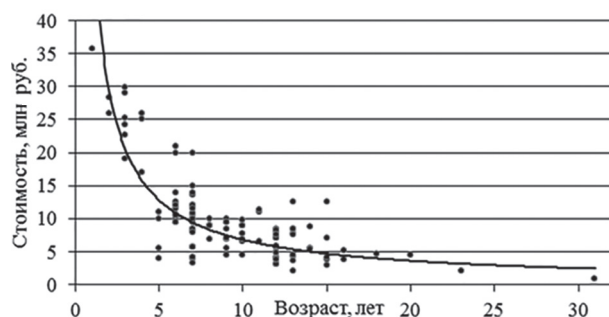


Рис. 5. Зависимость для массива данных с ограничениями по мощности

– экспоненциальная регрессия, коэффициент детерминации $r^2 = 0,55$:

$$C = 21,36 \cdot e^{-0,104 \cdot N}.$$

Обсуждение

Полученные регрессии изменения стоимости на основе эмпирических данных в целом согласуются с данными, представленными в работах других авторов. При этом полагаем, что существует связь между зависимостями, которые строят исследователи – оценщики стоимости машин и исследователи в области надежности машин.

С учетом работ [8, 9, 10], в которых автор дополняет свою теоретическую модель, описывающую процесс изменения стоимости машины, факторами зависимости стоимости от надежности, наработки и физического износа машин, считаем, что принципиальные тренды в изменении стоимости харвестеров и изменении их технического состояния не отличаются от процессов, происходящих в других отраслях.

Так, например, в работе [11] приводятся сведения об изменении наработки на отказ бульдозеров в зависимости от длительности эксплуатации. Авторы показывают, что в течение первых 5 лет наработка на отказ подчинена экспоненциальному закону, в последующие годы – наработка распределена равномерно.

В работе [12] авторы предлагают зависимость изменения наработки на отказ от срока службы для зерноуборочных комбайнов, и эта зависимость имеет экспоненциальный вид.

В работах [13, 14] показан схожий общий тренд изменения наработки на отказ с течением времени для зерноуборочных комбайнов российских и зарубежных производителей.

Для гусеничных сельскохозяйственных тракторов изменение наработки на отказ с те-

чением времени аппроксимируется логарифмической (натуральный логарифм) зависимостью в работе [15].

Таким образом, общий тренд в изменении состояния харвестеров не обладает отличительными особенностями по сравнению с технологическими машинами других отраслей.

Но необходима детальная информация, которая определяет уже особенность процесса, изменения стоимости или технического состояния, характерного именно для лесозаготовительной техники.

Наличие нескольких регрессий, описывающих один и тот же процесс со значениями коэффициентов корреляции, которые характеризуют исследуемые связи как заметные и высокие, указывает на необходимость определения факторов, которые влияют на разброс данных.

Фильтрация значений по диапазону мощности и модели машины не внесла однозначности в общую картину процесса, хотя и для отдельных случаев повысила коэффициент корреляции.

Также в работе [16] выдвигается положение, что физический износ тракторов нельзя считать пропорциональным возрасту. Это положение косвенно подтверждается и данными, представленными в этой статье, когда для машин одного возраста стоимость варьируется в широких пределах. Например, на рис. 4, а) диапазон стоимости машин одного года выпуска находится в пределах от 2 до 8 млн руб., другого – от 10 до 20 млн руб. и т.д.

Анализируя и группируя сведения, полученные от продавцов техники, выделим ряд дополнительных факторов, которые оказывают влияние на модель процесса.

1. Фактор продавца. Всех продавцов разделим на группы. Группа 1 – крупные лесопромышленные компании, имеющие утвержденный план по обновлению лесозаготовительной техники. Для таких компаний продажа машин на вторичном рынке не является главным источником средств для обновления собственного парка. Группа 2 – сервисные компании, предлагающие технику, выкупленную по системе «трейд-ин». Группа 3 – продавцы, предлагающие поддержанную технику из других стран. Группа 4 – небольшие компании, для которых продажа техники на вторичном рынке является важным источником средств для обновления собственного парка лесозаготовительных машин. Группа 5 – прочие продавцы.

2. Фактор ремонта. Разделим продаваемые машины на группы. Группа 1 – в машине заменялось или капитально ремонтировалось технологическое оборудование: манипулятор или харвестерная головка. Группа 2 – в машине заменялись отдельные агрегаты. Группа 3 – машина на момент продажи требует ремонта отдельных агрегатов. Группа 4 – машина находится в работоспособном состоянии, но в течение срока службы машина не подвергалась никаким ремонтным работам. Группа 5 – проведен полный капитальный ремонт машины и предоставляется гарантия на машину.

3. Фактор эксплуатации. Группа 1 – машины, для которых проводилось полноценное техническое обслуживание с рекомендуемой периодичностью в течение всего срока. Группа 2 – машины, для которых нарушались периодичность и состав работ по техническому обслуживанию. Группа 3 – машины были в эксплуатации более чем у одного владельца.

На отдельные группы необходимо разделять машины по режимам работы. Здесь под режимом работы понимается количество рабочих часов, которое машина работает в течение суток.

4. Фактор технических характеристик. Необходимо более детально группировать машины по техническим характеристикам. Например, по массе, типу движителя, мощности и др.

На данном этапе полноценное исследование влияния каждого из этих факторов представляется затруднительным в силу малых выборок в каждой группе, в том числе и из-за того, что вторичный рынок харвестеров в России существует относительно недавно, по сравнению с рынками других видов технологических машин. Необходимо формирование статистического массива данных в течение ряда лет.

Заключение

Вторичный рынок харвестеров отличается многообразием предлагаемых моделей в разных ценовых категориях. Лидерами здесь являются те же самые компании, что и на первичном рынке. Общий тренд изменения стоимости подобен трендам, которые исследованы для технологических машин в других отраслях. Построение однозначно определяемой зависимости между стоимостью и возрастом затруднительно в силу необходимости введения поправочных коэффициентов, учитывающих разнообразные факторы. Фильтрация по моде-

лям и диапазону мощности сохранила общий тренд в зависимостях, но не внесла однозначной определенности в их специфику.

В настоящем исследовании предложены несколько регрессий, построенных по эмпирическим данным: логарифмическая, степенная, экспоненциальная. Так как работы исследователей, изучавших процессы изменения стоимости и состояния машин, связаны с изучением разных регрессий, то в данной работе не будем выделять ту, которая обладает наибольшим коэффициентом корреляции, без исследования факторов, искажающих реальную картину.

Для выявления особенностей, свойственных именно закономерностям изменения состояния харвестеров, необходимо накопление обширных эмпирических данных в течение ряда лет, как по стоимости, так и по надежности техники.

Данная работа вносит свой вклад в понимание процессов изменения технического состояния лесозаготовительных машин. Результаты могут быть использованы как специалистами в области организации лесозаготовительных работ, так и специалистами, которые занимаются эксплуатацией и ремонтом машин для анализа их надежности и разработки технологических и организационных решений для повышения долговечности харвестеров.

Литература

1. ГОСТ Р 53791-2010. Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2011. 8 с.
2. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения. М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам.
4. Быкова В.Г., Ковалев А.П. Как оценить износ оборудования // Оборудование: рынок, предложение, цены. 2000. № 3. С. 78–79.
5. Ковалев А.П., Кушель А.А., Королев И.В., Фадеев П.В. Основы оценки стоимости машин и оборудования / под. ред. М.А. Федотовой. М.: Финансы и статистика, 2006. 288 с.
6. Смоляк С.А. Статистические и теоретические модели зависимости стоимости машин от возраста / препринт # WP/2014/311. М.: ЦЭМИ РАН, 2014. 50 с.

7. Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р.
8. Смоляк С.А. Влияние надежности машин и оборудования на их стоимость // Экономика и математические методы. 2017. № 1. С. 57–74.
9. Смоляк С.А. Влияние физического износа машин на динамику их рыночной стоимости // Экономика и математические методы. 2019. № 3. С. 124–140.
10. Смоляк С.А. Влияние наработки и надежности машин на динамику их обесценения // Вестник ЦЭМИ. 2018. № 3. 9 с.
11. Сандан Н.Т., Максимов С.Е., Горшков В.Н., Дружинин П.В. Возраст наземных транспортно-технологических машин как фактор влияния на интенсивность отказов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 207–210.
12. Шепелев С.Д., Плаксин А.М., Черкасов Ю.Б. Влияние срока службы и сезонной наработки на показатели эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов // АПК России. 2016. № 1 (75). С. 122–126.
13. Соломкин А.П., Мяло О.В., Прокопов С.П. Влияние фактора старения на показатели надежности сельскохозяйственной техники // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 1 (29). С. 61–63.
14. Бабченко Л.А. Формирование технического сервиса сельскохозяйственной техники: дис. ... докт. техн. наук. Алматы, 2010. 318 с.
15. Буравин А.В. Изменение затрат на поддержание работоспособности тракторов в зависимости от возрастного состава парка // Вестник НГИЭИ. 2011. № 6 (7). С. 22–27.
16. Смоляк С.А. Зависимость стоимости различных видов машин от их возраста // Оценочная деятельность. 2014. № 2. С. 65–71.
5. Kovalev A.P., Kushel' A.A., Korolev I.V., Fadeyev P.V. Osnovy otsenki stoimosti mashin i oborudovaniya [Fundamentals of the valuation of machinery and equipment]. Pod. red. M.A. Fedotovoy. Moscow: Finansy i statistika Publ., 2006. 288 p.
6. Smolyak S.A. Statistical and theoretical models of the dependence of the cost of vehicles on their operation period. Preprint # WP/2014/311. Moscow: TS-EMI RAN, 2014. 50 p.
7. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 20.09.2018 No 1989-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda». Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 g. Strategiya razvitiya LPK [Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018 No. 1989-r "The approval of the Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030".]
8. Smolyak S.A. The influence of the reliability of machinery and equipment on their cost. Ekonomika i matematicheskiye metody. 2017. No 1, pp. 57–74.
9. Smolyak S.A. Influence of physical wear of machinery on the dynamics of their market value. Ekonomika i matematicheskiye metody. 2019. No 3, pp. 124–140.
10. Smolyak S.A. Influence of operating time and reliability of machinery on the dynamics of their depreciation. Vestnik TS-EMI. 2018. No 3. 9 p.
11. Sandan N.T., Maksimov S.E., Gorshkov V.N., Druzhinin P.V. Age of ground transport and technological machinery as a factor influencing the failure rate. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2017. No 3 (62), pp. 207–210.
12. Shepel'ev S.D., Plaksin A.M., Cherkasov YU.B. Influence of service life and seasonal operating time on indicators of operational reliability of combine harvesters. APK Rossii. 2016. No 1(75), pp. 122–126.
13. Solomkin A.P., Myalo O.V., Prokopov S.P. The influence of the wearing factor on the reliability indicators of agri-cultural machinery. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015. No 1 (29), pp. 61–63.
14. Babchenko L.A. Formirovaniye tekhnicheskogo servisa sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: di.S.... d-ra tekhn. nauk [Formation of technical service for agricultural machinery: Dissertatation for Degree of DrSc in Engineering]. Almaty Publ., 2010. 318 p.
15. Buravin A.V. Changes in the costs of maintaining the operability of tractors depending on the operation period composition of the fleet. Vestnik NGIEI. 2011. No 6 (7), pp. 22–27.
16. Smolyak S.A. Dependence of the cost of various types of vehicles on their operation period. Otsenchnaya deyatel'nost'. 2014. No 2, pp. 65–71.

Reference

1. GOST R 53791-2010. Resource saving. Stages of the life cycle of products for industrial and technical purposes. General provisions. Moscow: Standartinform Publ., 2011. 8 p.
2. GOST R 56136-2014. Lifecycle management of military products. Terms and definitions. Moscow: Standartinform Publ., 2015. 12 p.
3. GOST 27.002-89. Reliability in engineering (SSNT). Basic concepts. Terms and definitions. Moscow: Gosudarstvennyy komitet SSSR po upravleniyu kachestvom produktsii i standartam.
4. Bykova V.G., Kovalev A.P. How to assess equipment wear. Oborudovaniye: rynek, predlozheniye, tseny. 2000. No 3, pp. 78–79.