

УДК 631.361.5

**САЖЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ДИЗЕЛЬНОГО СИЛОВОГО АГРЕГАТА**
Алашвили И.К., Макарова О.И., Яруллин Ф.Ф.

Реферат. В статье представлена технико-экономическая и экологическая проблема, которая возникает при эксплуатации силовых агрегатов любого рода. Вредные компоненты, отравляющие окружающую среду при эксплуатации дизельных силовых агрегатов, представляют собой совокупность разных химических соединений. В выхлопных газах силовых агрегатов обильно присутствуют окислы азота, оксид углерода и разного рода несгоревшие углеводороды, но, на наш взгляд, наиболее коварным является сажа, и она же занимает почти 50% всех отравляющих веществ дизельного двигателя. Целью данной работы является повышение технико-экономических и экологических показателей работы двигателя внутреннего сгорания путем подачи в цилиндры дополнительной воздушной смеси. Предложены возможные способы решения вышеотмеченной проблемы, а именно, один из вариантов завихрения заряда путем подачи дополнительного воздуха в нижнюю часть гильзы цилиндра в конце такта наполнения и в начале сжатия. Суть данного процесса заключается в следующем, струя дополнительного воздуха создаёт кинетическую энергию основного заряда и одновременно снижает температуру внутри цилиндра до дозволённых величин, тем самым обеспечивает благоприятную атмосферу для окисления горючей смеси и способствует снижению токсичных компонентов продуктов горения, в том числе и сажи. В результате вышеизложенного следует заключить, что введенный в цилиндр дополнительная порция воздуха способствует повышению кинетической энергии рабочего тела, а это в свою очередь является гарантом максимального догорания топливоздушная смеси. Кроме того, в ней приведены результаты экспериментов в виде графиков и на основании этих данных проведён сравнительный анализ и сделаны определённые выводы по положительной динамике технико-экономических и экологических показателей силовых агрегатов.

Ключевые слова: силовой агрегат, ДВС, пиролиз, окружающая среда, завихрение заряда, термический распад, окис углерода, окислы азота, сероводород, сажеобразование, грубодисперсная аэрозоль.

Введение. Вредные компоненты, отравляющие окружающую среду при эксплуатации дизельных силовых агрегатов, представляют собой совокупность разных химических соединений [1,2,3,4]. В выхлопных газах силовых агрегатов обильно присутствуют окислы азота, оксид углерода и разного рода несгоревшие углеводороды, но, на наш взгляд, наиболее коварным является сажа, и она же занимает почти 50% всех отравляющих веществ дизельного двигателя.

Целью данной работы является повышение технико-экономических и экологических показателей работы двигателя внутреннего сгорания путем подачи в цилиндры дополнительной воздушной смеси.

Для оценки эффективности завихрения заряда, в отличие от известных методик, разработан способ завихрения заряда, позволяющий одновременно повысить технико-экономические и экологические показатели силовых агрегатов.

Научной новизной данного исследования является предложенный способ завихрения заряда в цилиндре, который обеспечивает наилучшее распределение горючей смеси в камере сгорания и полное ее догорание вследствие чего повышается экологичность и экономичность двигателя в целом.

По результатам экспериментальных исследований получены зависимости, характеризующие влияние давления в цилиндре на эксплуатационные показатели ДВС. Разработана конструкция системы подачи дополнительного воздуха в цилиндре двигателя внутреннего сгорания.

Предложена методика завихрения рабочего заряда в цилиндре, которая благоприятно влияет на повышение эксплуатационных показателей ДВС.

Отдельные результаты экспериментов показали, что система дополнительного завихрения заряда позволяет снизить в отработавших газах содержание сажи на 60...65%. Кроме того, снижается как удельный, так и часовой расход топлива.

Условия, материалы, методы и объекты исследования. Выхлопные газы являются основным источником токсичных веществ двигателя внутреннего сгорания, которые представляют собой неоднородную смесь с разнообразными химическими и физическими свойствами. Основными нормируемыми токсичными компонентами выхлопных газов двигателей являются окислы углерода, азота, углерода, сажа и другие компоненты. На наш взгляд, одним из основных неблагоприятных компонентов является сажа, и она же за-

нимает почти 50% всех отравляющих веществ дизельного двигателя (рисунок 1).



Рисунок 1 – Токсичность выхлопа дизельного двигателя

Как правило, она образуется в результате пиролиза (термического распада) углеводородных молекул в условиях острого дефицита кислорода в цилиндре двигателя. В процессе окисления, в условиях высоких температур, при остром недостатке кислорода, отдельные атомы водорода отрываются от основных углеводородных молекул дизельного топлива, а уже в свою очередь атомы водорода провоцируют дальнейшую дегидрогенизацию молекул углеводородов [5,6]. Есть такое предположение, что на определенных стадиях пиролиза, отдельные небольшие молекулы углеводородов и углеводородных радикалов одновремен-

но претерпевают дегидрогенизацию и полимеризацию, которые в свою очередь приводят к образованию твердых частиц углерода (сажи). При рассмотрении работы ДВС можно отметить, что в процессе такта расширения в цилиндре дизельного двигателя к частицам сажи поступает кислород, тем самым создаются благоприятные условия для выгорания сажи. Хотя, из-за короткого временного коэффициента процесса сгорания в дизельном силовом агрегате, сажа полностью не окисляется и выделяется с выхлопными газами в атмосферу [7,8,]. Сажеобразованию так же способствует повышение давления в цилиндре дизельного двигателя, поскольку имеет место высокая степень сжатия, это, как мы знаем характерная черта для дизельных силовых агрегатов. Но следует отметить, что при турбулентном режиме течение рабочего тела, ее образование уменьшается, а выгорание, наоборот, увеличивается. Кроме того, образование сажи в дизельном двигателе может быть вызван при попадании струей горячего топлива на относительно холодную поверхность стенки цилиндра [5,6].

Основываясь на исследованиях и методах математического анализа, нами были получены результаты, из которых видно, что количество сажи и других вредных компонентов на разных режимах работы дизельного силового агрегата при равных условиях существенно отличается (рисунок 2) [9,10,11,12].

Анализ и обсуждение результатов исследования. Исследования показали, что выхлоп дизельных силовых агрегатов, не что иное, как

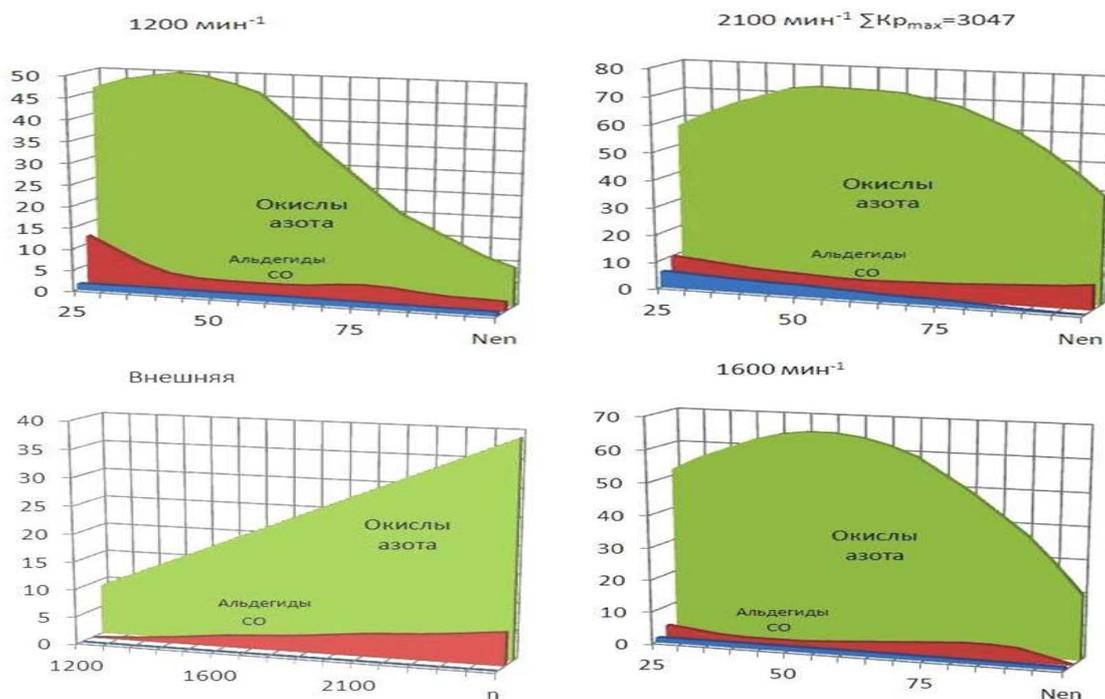


Рисунок 2 – Токсичность выхлопных газов дизельного двигателя на разных режимах работы

смесь грубодисперсного аэрозоля с размером частицы 0,5...1,0 мк., но следует отметить, что дисперсная фаза такого рода смешанного аэрозоля представляет собой довольно сложную структуру и состоит из жидких, полужидких (смолообразных) и твердых несгоревших элементов. А основу этой структуры составляет сама сажа с адсорбированными на её поверхности несгоревшими углеводородами, сконцентрированными в виде разного рода смол. Определение концентрации сажи в выхлопе дизельного силового агрегата при функционировании автотракторной техники показывают, что она не превышает 1,0...1,1 мг/л и лишь в отдельных случаях может достигать 1,5 мг/л.

На сегодняшний день известны огромное количество способов снижения токсичности силовых агрегатов, в том числе и сажи. Некоторые из них очищают выхлоп силового агрегата, а некоторые позволяют совершенствовать процесс окисления в камере сгорания путём принудительного завихрения рабочего заряда. [13,14].

Из вышеотмеченного наиболее оправданы способы, которые предполагают изменения рабочего процесса. В этих случаях мы имеем дело с более грамотным подходом решения вопроса, во первых – любое улучшение в целом конструкции ДВС и его рабочего процесса в частности, это ведет к развитию двигателестроения; во вторых – такого рода вмешательства всегда даёт положительный результат на долгие перспективы; в третьих – в случае применения дополнительного нейтрализатора, или дожигателя отработавших газов, безусловно, приводит к усложнению и повышению металлоёмкости существующей конструкции. Данный список в пользу доработки рабочего процесса можно продолжить до бесконечности, поэтому мы предпочитаем сни-

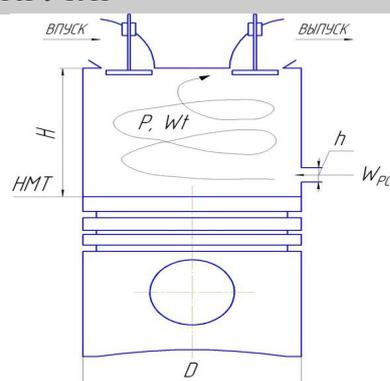


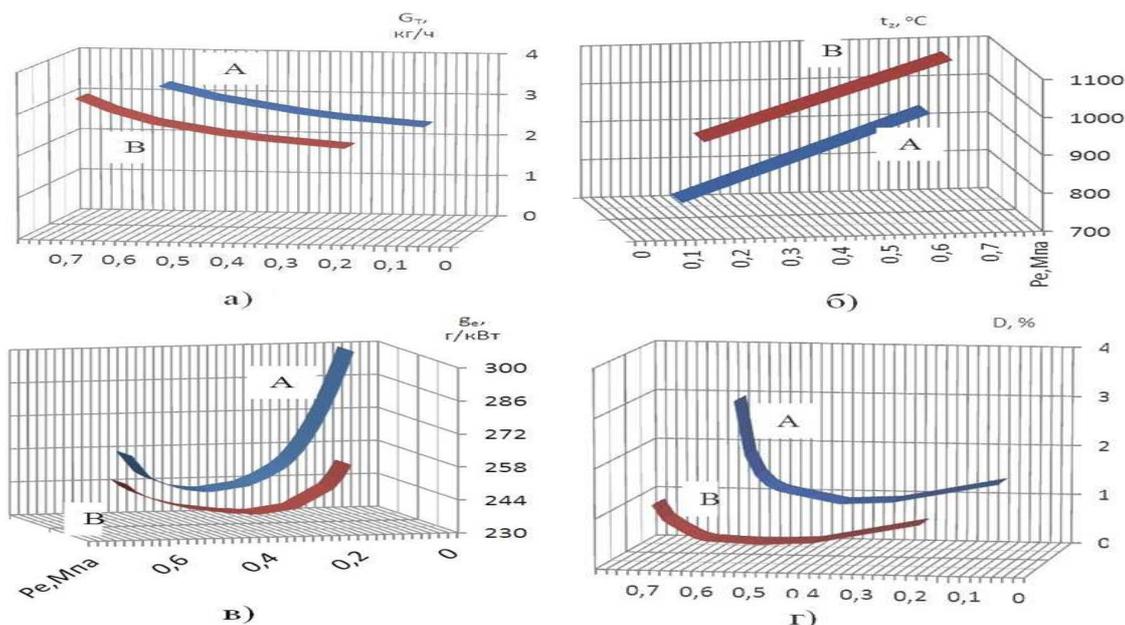
Рисунок 3 – Схема подачи в цилиндр дополнительного воздуха

зить токсичность силовых агрегатов путём изменений рабочего процесса в целом.

В современной науке известны много способов – это дополнительное завихрение рабочего тела. На сегодняшний день оно имеет великое множество разновидностей, которые имеют как положительные, так и отрицательные стороны при эксплуатации в целом машины, и в частности, силового агрегата, независимо от системы питания.

На основе сравнительного анализа большинства известных способов завихрения заряда, было установлено, что наиболее эффективным способом является завихрение путём дополнительной подачи воздуха в конце такта наполнения и в начале такта сжатия (рисунок 3).

Суть работы данного метода основана на завихрении заряда, путем подачи дополнительного воздуха под определенным углом внутри цилиндра через специальные штуцеры. Струя дополнительного воздуха создаёт кинетическую энергию основного заряда и одно-



А – двигатель без дополнительного завихрения заряда В – двигатель с дополнительным завихрением заряда

Рисунок 4 – Технико-экономические и экологические показатели двигателя Д-21

временно снижает температуру внутри цилиндра до дозволённых величин, тем самым создаёт благоприятную атмосферу для окисления горючей смеси и по снижению токсичных компонентов продуктов горения, в том числе и сажи. [4,11,12].

На рисунке 4 представлены результаты стендовых испытаний двигателя Д-21А в варианте исполнения с дополнительным завихрением заряда воздушной смеси и без него. Как видно из рисунков 4а, 4б, 4в, 4г, с увеличением нагрузки при давлении в цилиндрах 0,45 МПа у дизельного двигателя с отключённой системой подачи дополнительной воздуха дымность резко растёт, также растут удельный, часовой расход топлива и температура. А у двигателя с включённой системой завихрения заряда вышеуказанные явления наблюдаются при давлении в двигателе, равном 0,75 МПа. Это говорит о том, что двигатель с

включённой системой подачи дополнительно воздуха будет превосходить двигатель в стандартном исполнении в экологическом аспекте, так и по экономии топлива, что является немаловажным фактом в условиях острого дефицита углеводородных топлив в современных условиях.

Выводы. В результате вышеизложенного следует заключить, что введённый в цилиндр дополнительная порция воздуха способствует повышению кинетической энергии рабочего тела, а это в свою очередь является гарантом максимального догорания топливовоздушной смеси.

В конечном итоге мы имеем благоприятную почву для протекания процесса окисления в цилиндре силового агрегата, из-за чего повышается технико-экономические и экологические показатели ДВС в целом.

Литература

1. Аюгин П.Н. Исследование процесса сгорания топлива в дизельном двигателе в зимних условиях / П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин, Р.Ш. Халимов, Р.К. Сафаров, Д.Е. Молочников, В.А. Голубев // Техника и оборудование для села.– 2015.– №8.– с. 20-23.
2. Глущенко, А.А. К вопросу очистки отработанных масел от нерастворимых примесей в гидроциклоне / А.А. Глущенко, Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, И.Н. Гаязиев // Вестник Казанского ГАУ. – № 3 (50). – 2018. – С. 81-84.
3. Миниаметова, Г.У. Охрана труда на предприятии / Г.У. Миниаметова, И.Н. Гаязиев, В.М. Медведев, О.И. Макарова, Ф.Ф. Яруллин // Агроинженерная наука XXI века. Труды региональной научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2018. – 390 с.
4. Сибатуллина, Д.И. Обеспечение безопасности и охраны труда на производстве / Д.И. Сибатуллина, И.Н. Гаязиев, В.М.Медведев, О.И. Макарова, Ф.Ф. Яруллин // Агроинженерная наука XXI века. Труды региональной научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2018. – 397 с.
5. Аладашвили, И.К. Современное состояние проблемы токсичности дизелей в сельском хозяйстве И.К. Аладашвили, М.А. Зарубина, О.И. Макарова // Сборник международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса» – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2018.- С.268.
6. Аладашвили, И.К. Анализ некоторых результатов испытаний дизельного двигателя Д-21, И.К.Аладашвили, О.И.Макарова // Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков. Материалы научно-практической конференции - Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2016.–137-139 с.
7. Макарова, О.И. Особенности охраны труда на производстве / О.И. Макарова // Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков. Материалы научно-практической конференции - Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2016.–С. 229-232.
8. Макарова, О.И. Актуальность проведения аттестации рабочих мест в современном мире // Сборник международной научно-практической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса» – Казань: Изд-во Казанского ГАУ. – 2018.– С. 163-166.
9. Валиев, А.Р. Исследование взаимодействия ротационного конического рабочего органа с почвой / А.Р. Валиев, Ф.Ф. Яруллин // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 10 (220). – С. 27-31.
10. Валиев, А.Р. Обоснование параметров конического почвообрабатывающего рабочего органа путем решения многокритериальной задачи оптимизации / А.Р. Валиев, Р.И. Ибятгов, Ф.Ф. Яруллин // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 7. – С.69-72.
11. Gussak A., V.P.Karpov and Yu. V. Tikhonov. The Application of hay-Process in Prechamber Engines. SAE 2000.
12. Kobig Axel. Ellinger Karl – Werner. Kolllel kurl engine operation on partially dissociated methanol // SAE. – 2005.
13. Гизатуллин, Р.Р. Влияние вредных производственных факторов на работников цементной промышленности / И.Н. Гаязиев, О.И.Макарова, Р.Р. Гизатуллин, Ф.Ф. Яруллин // Студенческая наука – аграрному производству: Материалы 76-ой студенческой (региональной) научной конференции.- Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2018. – С. 167-172.
14. Aroma Constantin Newapproches to fuel economy in spark-ignition engines Progr. Energy and Combust Sei. 2006. 1. № 4.

Сведения об авторах:

Аладашвили Иосиф Карлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки», e-mail: s.aladashvili1101@gmail.com;
 Макарова Ольга Ивановна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: olga_180472@mail.ru;
 Яруллин Фанис Фаридович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: fanis4444@mail.ru
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия.

SOOT FORMATION WHILE OPERATING A DIESEL POWER UNIT

Aladashvili I.K., Makarova O.I., Yarullin, F.F.

Abstract. The article presents the technical, economic and environmental problems that arise during the operation of power units of any kind. Harmful components that poison the environment during the operation of diesel power units are a combination of different chemical compounds. Oxides of nitrogen, carbon monoxide and various unburned hydrocarbons are abundantly present in the exhaust gases of power units, but in our opinion soot is the most insidious, and it also takes up almost 50% of all diesel engine poisonous substances. The purpose of this work is to improve the technical, economic and environmental performance of the internal combustion engine, by feeding an additional air mixture into the cylinders. Possible ways to solve the above-mentioned problem are proposed, namely, one of the variants of charge turbulence by supplying additional air to the lower part of the cylinder liner at the end of the filling stroke and at the beginning of compression. The essence of this process is as follows: a jet of additional air creates kinetic energy of the main charge and simultaneously lowers the temperature inside the cylinder to the allowed values, thereby providing a favorable atmosphere for oxidizing the combustible mixture and helps reduce toxic components of combustion products, including soot. As a result of the foregoing, it should be concluded that the additional portion of air introduced into the cylinder contributes to an increase in the kinetic energy of the working fluid, and this in turn is the guarantor of the maximum burn-out of the air-fuel mixture. In addition, it presents the results of experiments in the form of graphs and on the basis of these data a comparative analysis was conducted and certain conclusions were made on the positive dynamics of technical, economic and environmental performance of power units.

Key words: power unit, internal combustion engine, pyrolysis, environment, charge swirling, thermal decomposition, carbon monoxide, nitrogen oxides, hydrogen sulfide, soot formation, coarse aerosol.

References

1. Ayugin P.N. Study of the combustion process of fuel in a diesel engine in winter conditions. [Issledovanie protsessa sgoraniya topliva v dizelnom dvigatele v zimnikh usloviyakh]. / P.N. Ayugin, N.P. Ayugin, R.Sh. Khalimov, R.K. Safarov, D.E. Molochnikov, V.A. Golubev // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela. - Technique and equipment for the village.* - 2015.- №8.- P. 20-23.
2. Gluschenko A.A. On the issue of purification of waste oil from insoluble impurities in a hydrocyclone. [K voprosu oчитки otrabotannykh masel ot nerastvorimykh primesey v gidrotsiklone]. / A.A. Gluschenko, D.E. Molochnikov, S.A. Yakovlev, I.N. Gayaziyev // *Vestnik Kazanskogo GAU. - Herald of Kazan State Agrarian University*, № 3 (50), 2018. P. 81-84.
3. Miniakhmetova G.U. *Okhrana truda na predpriyatii. // Agrozhenernaya nauka XXI veka. Trudy regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nauchnoe izdanie.* (Labor protection at the enterprise. / G.U. Miniakhmetova, I.N. Gayaziyev, V.M. Medvedev, O.I. Makarova, F.F. Yarullin // *Agroengineering science of the XXI century. Proceedings of the regional scientific and practical conference. Scientific publication.* - Kazan: Izdatelstvo Kazanskogo GAU, 2018. - P. 390.
4. Sibagatullina D.I. *Obespechenie bezopasnosti i okhrany truda na proizvodstve. // Agrozhenernaya nauka XXI veka. Trudy regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nauchnoe izdanie.* (Safety and labor protection at work. / D.I. Sibagatullina, I.N. Gayaziyev, V.M. Medvedev, O.I. Makarova, F.F. Yarullin // *Agroengineering science of the XXI century. Proceedings of the regional scientific-practical conference.* - Kazan: Izdatelstvo Kazanskogo GAU, 2018. - P. 397.
5. Aladashvili I.K. *Sovremennoe sostoyanie problemy toksichnosti dizeley v selskom khozyaystve. // Sbornik mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya mekhanizatsii i tekhnicheskogo servisa agropromyshlennogo kompleksa". / I.K. Aladashvili, M.A. Zarubina, O.I. Makarova.* [The current state of the problem of diesel engines toxicity in agriculture. // Collection of the international scientific and practical conference. "The current state, problems and prospects for the development of mechanization and technical service of the agro-industrial complex"). - Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2018. - P. 268.
6. Aladashvili I.K. *Analiz nekotorykh rezul'tatov ispytaniy dizelnogo dvigatelya D-21. // Ustoychivoe razvitie selskogo khozyaystva v usloviyakh globalnykh riskov. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* (Analysis of some test results of the D-21 diesel engine. / I.K. Aladashvili, O.I. Makakova // *Sustainable development of agriculture in the context of global risks. Proceedings of scientific and practical conference.* - Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2016. - P. 137-139.
7. Makarova O.I. *Osobennosti okhrany truda na proizvodstve. // Ustoychivoe razvitie selskogo khozyaystva v usloviyakh globalnykh riskov. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* (Features of labor protection at work. / O.I. Makarova // *Sustainable agriculture in the context of global risks. Proceedings of the scientific and practical conference.* - Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2016. - P. 229-232.
8. Makarova O.I. *Aktualnost provedeniya attestatsii rabochikh mest v sovremennom mire. // Sbornik mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya mekhanizatsii i tekhnicheskogo servisa agropromyshlennogo kompleksa".* (The relevance of the certification of workplaces in the modern world. // Collection of the international scientific and practical conference "The current state, problems and prospects for the development of mechanization and technical service of the agro-industrial complex"). - Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2018. - P. 163-166.
9. Valiev A.R. Study of the interaction of a rotary conical working unit with the soil. [Issledovanie vzaimodeystviya rotatsionnogo konicheskogo rabocheho organa s pochvoy]. / A.R. Valiev, F.F. Yarullin // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela. - Technique and equipment for the village.* - 2015. - № 10 (220). - P. 27-31.
10. Valiev A.R. Justification of the parameters of a conical soil-cultivating working unit by solving a multi-criteria optimization problem. [Obosnovanie parametrov konicheskogo pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa putem resheniya mnogokriterialnoy zadachi optimizatsii]. / A.R. Valiev, R.I. Ibyatov, F.F. Yarullin // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - Achievements of science and technology of agrarian and industrial complex.* 2017. № 7. P. 69-72.
11. Gussak A., V.P.Karpov and Yu. V. Tikhonov. The Application of hay-Process in Prechamber Engines. SAE 2000.
12. Kobig Axel. Ellinger Karl – Werner. Kollel kurl engine operation on partially dissociated methanol // SAE. – 2005.
13. Gizatullin R.R. *Vliyaniye vrednykh proizvodstvennykh faktorov na rabotnikov tsementnoy promyshlennosti. // Studencheskaya nauka-agrarnomu proizvodstvu. Materialy 76-oy studencheskoy (regionalnoy) nauchnoy konferentsii.* (Influence of harmful production factors on cement industry workers / I.N. Gayaziyev, O.I. Makarova, R.R. Gizatullin, F.F. Yarullin // *Student Science-Agrarian Production: Proceedings of 76th Student (Regional) Scientific Conference.* - Kazan: Izdatelstvo Kazanskogo GAU, 2018. - P. 167-172.
14. Aroma Constantin *New approaches to fuel economy in spark-ignition engines* Progr. Energy and Combust Sei. 2006. 1. № 4.

Authors:

Aladashvili Iosif Karloevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of "Tractors, automobiles and power plants" Department, e-mail: s.aladashvili1101@gmail.com
 Makarova Olga Ivanovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor of "Technosphere safety" Department, e-mail: olga_180472@mail.ru
 Yarullin Fanis Faridovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of "Technosphere safety" Department, e-mail: fanis4444@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.