

Генератор пара для гидротермообработки сельскохозяйственного оборудования

Валентин Александрович Гусаров,
главный научный сотрудник,
доктор технических наук,
e-mail: cosinys50@mail.ru;

Леонид Юрьевич Юферов,
главный научный сотрудник,
доктор технических наук,
e-mail: leouf@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим негативные стороны загрязнения рабочих поверхностей сельскохозяйственной техники. Описали существующее современное оборудование для ее очистки. (*Цель исследования*) Разработать систему очистки машин, оборудования и инструмента в полевых условиях с помощью мобильного генератора пара, способного обеспечить давление 5 килограммов на квадратный сантиметр и температуру 150 градусов Цельсия и работать на биотопливе (дровах, чурках, соломе и других отходах сельскохозяйственного производства). (*Материалы и методы*) Описали алгоритм работы парогенератора. Представили его основные технические характеристики, схему устройства. Теоретически рассчитали расход воздуха для систем постоянной и регулируемой подачи воздуха. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что при одной загрузке 8 килограммов биотоплива и 6 литров воды время активной выработки пара составляет 20-25 минут. Генератор пара оснастили двумя системами подачи воздуха в топку, предохранительным клапаном сброса пара при избыточном давлении. В котел встроили пароперегреватель, обеспечивающий необходимые характеристики пара на выходе из котла. (*Выводы*) Выявили преимущества разработанного генератора пара: мобильность, использование биотоплива, непрерывная подача перегретого пара на одной загрузке в течение 20-25 минут. Заключение, что новая установка предназначена для продолжительной работы и способна не только разморозить и обработать примерзший навозоуборочный транспортер, тележку и разбрасыватель навоза, рабочие органы погрузчиков, но и разогреть более крупную сельхозтехнику. Она пригодна также для санобработки посевного уборочного и животноводческого оборудования в полевых условиях.

Ключевые слова: генератор пара, биотопливо, система постоянной подачи воздуха, система регулируемой подачи воздуха, очистка сельхозтехники и оборудования.

■ **Для цитирования:** Гусаров В.А., Юферов Л.Ю. Генератор пара для гидротермообработки сельскохозяйственного оборудования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №2. С. 76-81. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-76-81. EDN WQWRNL.

Steam Generator for Hydrothermal Treatment of Agricultural Equipment

Valentin A. Gusarov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: cosinys50@mail.ru;

Leonid Yu. Yuferev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: leouf@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the importance of keeping the working surfaces of agricultural machinery clean and describes the existing modern equipment for its cleaning. (*Research purpose*) To develop a biofuel system for cleaning machines, equipment and tools in the field. It is proposed to apply a mobile steam generator using wood, chocks, straw and other agricultural waste as a fuel and capable of providing pressure of 5 kilograms per square centimeter and a temperature of 150 degrees Celsius. (*Materials and methods*) The paper describes the algorithm of the steam generator operation and presents its main technical characteristics and the design diagram. Theoretical calculations of the air consumption for the constant and adjustable air supply systems are provided. (*Results and discussion*) It has been established that one load of 8 kilograms of biofuel and 6 liters of water ensures 20-25 minutes of intense steam production. The steam generator was equipped with two systems for supplying air to the furnace, a safety valve for dumping steam at excess pressure. The boiler has a built-in superheater that ensures the necessary steam characteristics at the boiler outlet. (*Conclusions*) The developed steam generator reveals the following advantages: mobility, use of biofuel, a 20-25 minutes continuous supply of superheated steam at one load. The new unit is designed for long-term operation and it is capable

of not only defrosting and cleaning a frozen manure conveyor, a manure trolley, a spreader, and loader working bodies, but also warming up larger agricultural machinery. It is also suitable for sanitizing seed harvesting and livestock equipment in the field.

Keywords: steam generator, biofuel, constant air supply system, controlled air supply system, agricultural machinery and equipment cleaning.

For citation: Gusarov V.A., Yuferev L.Yu. Generator para dlya gidrotermoobrabotki sel'skokhozyaystvennogo oborudovaniya [Steam generator for hydrothermal treatment of agricultural equipment]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N2. 76-81 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-76-81. EDN WQWRNL

Для повышения надежности и долговечности машин, их узлов и деталей в процессе эксплуатации, перед техническим обслуживанием и ремонтом применяют различные технологии очистки поверхностей [1-3].

Одновременно с этим важно предохранить семена от заражения инфекциями во время использования посевного оборудования [4-6]. После выполнения посевных работ в сеялках часто остается посевной материал, на котором со временем возникает грибковая микрофлора.

Сельскохозяйственная техника требует ухода, промывки и обеззараживания. Для этого применяют различные способы, например мойку высокого давления [7, 8]. В наиболее перспективных и распространенных технологиях очистки и мойки сельхозтехники используют йодные струи высокого давления [10]. Однако повышенный распыл и разбрызгивание водной струи снижают интенсивность, качество очистки и повышают влажность воздуха рабочей зоны оператора, что отрицательно сказывается на его здоровье. Кроме того, как правило такой процесс очистки возможен только от стационарного источника электропитания.

Перед вводом сельхозтехники в эксплуатацию выполняют комплекс операций по удалению веществ противокоррозионной защиты. Расконсервация включает в себя снятие машин с хранения, разгерметизацию и удаление консервационных составов [11]. Для этого используют различные способы очистки:

- физико-химические (в растворе электролита или под действием специальных химических реагентов);
- механические (с помощью щеток, механизированного инструмента, гидроабразивных и воздушно-абразивных струй) [12].

Механический способ очистки по принципу воздействия можно разделить на воздушно-абразивный, с воздействием энергии водяных струй, и механический, за счет энергии вращательного движения скребков и щеток (рис. 1).

Но в зимнее время такой способ не приемлем, так как в последнее время участились случаи атмосферных осадков в виде ледяного дождя (рис. 2).

На помощь приходят бытовые генераторы пара. Однако из-за малой мощности ими можно отогреть лишь небольшие узлы и механизмы автомобильной



Рис. 1. Механический способ очистки воздействием воздушно-абразивных струй

Fig. 1. Mechanical cleaning by air-abrasive jets



Рис. 2. Последствие ледяного дождя

Fig. 2. Effect of freezing rain



Рис. 3. Разморозка тормозных барабанов

Fig. 3. Brake drum defrosting

и сельскохозяйственной техники (рис. 3).

Цель исследования – разработать систему очистки машин, оборудования и инструмента в полевых

условиях с помощью мобильного генератора пара, способного обеспечить давление 5 кг/см^2 и температуру 150°C и работать на биотопливе (дровах, чурках, соломе и других отходах сельскохозяйственного производства).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В работе применены методы моделирования и конструирования, а также экспериментальные исследования скорости разогрева, продолжительности работы, расхода биотоплива, давления в системе.

В целях безопасности установка должна располагаться в местах, где поблизости отсутствуют легко воспламеняющиеся предметы. Разведение огня допустимо согласно ГОСТ 34518-2019 (Печи промышленные и агрегаты тепловые. Правила организации и производства работ, контроль выполнения и требования к результатам работ). Пар подается по резинометаллическому шлангу с теплоотражающим покрытием в соответствии с ГОСТ 31598-2012 (Стерилизаторы паровые большие).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Генератор пара включает: кожух котла, систему постоянной подачи воздуха, систему регулируемой подачи воздуха, двухсекционный паровой котел, пароперегреватель, манометр, аварийный клапан, запорную аппаратуру (рис. 4). Разработан также узел загрузки топлива генератора пара (рис. 5).

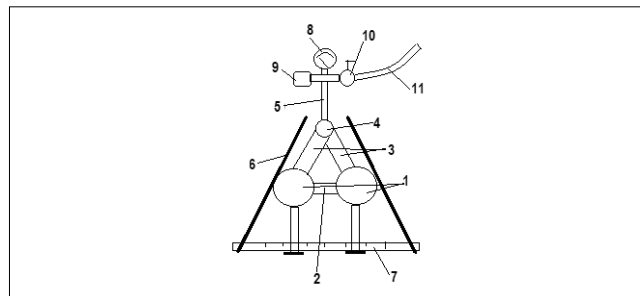


Рис. 4. Схема устройства генератора пара: 1 – водяные трубы котла; 2 – водоперепускная труба; 3 – паропровод влажного пара; 4 – пароперегреватель; 5 – паропровод перегретого пара; 6 – термостойкий кожух котла; 7 – воздухопровод постоянной подачи; 8 – манометр; 9 – предохранительный клапан; 10 – запорная арматура; 11 – резинометаллический шланг

Fig. 4. The steam generator design diagram: 1 – boiler water pipes; 2 – water bypass pipe; 3 – wet steam pipeline; 4 – superheater; 5 – superheated steam pipeline; 6 – heat-resistant boiler casing; 7 – constant supply air duct; 8 – manometer; 9 – safety valve; 10 – shutoff valves; 11 – rubber-metal hose

Новая установка предназначена для продолжительной работы и способна не только разморозить и обработать примерзший навозоуборочный транспортер, тележку и разбрасыватель навоза, рабочие органы погрузчиков, но и разогреть более крупную сельхозтехнику. Она пригодна также для санобработки



Рис. 5. Узел загрузки топлива

Fig. 5. Fuel loading unit

посевого уборочного и животноводческого оборудования в полевых условиях.

Источником тепла служит биотопливо, рабочим телом – вода или водные растворы.

Для контроля эффективности парогенератора при известном количестве топлива определяют количество воздуха V_B , подаваемого в топочное отделение. Для этого рассчитывают коэффициент избытка воздуха α_B :

$$\alpha_B = \alpha_{ппв} + \alpha_{рпв}, \quad (1)$$

где $\alpha_{рпв}$ – коэффициент избытка воздуха при регулируемой подаче, равный 1,25;

$\alpha_{ппв}$ – коэффициент избытка воздуха при постоянной подаче, равный 0,06,

то есть $\alpha_B = 1,25 + 0,06 = 1,31$.

Удельный теоретический расход воздуха V_B^0 , $\text{м}^3/\text{кг}$, определяется исходя из состава рабочей массы топлива:

$$V_B^0 = 0,0889(C^p + 0,375S^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p, \quad (2)$$

где C^p – удельная доля углерода, 46,4%;

S^p – удельная доля серы, 3,5%;

H^p – удельная доля водорода, 3,4%;

O^p – удельная доля кислорода, 5,6%.

Подставив значения, получаем:

$$V_B^0 = 0,0889 \cdot (3,7 + 0,375 \cdot 3,5) + 0,265 \cdot 3,4 - 0,0333 \times 5,6 = 1,16 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

При потреблении топлива 8 кг расход воздуха составляет:

$$V_B = m_T \cdot V_B^0 \cdot \alpha_B, \quad (3)$$

$$V_B = 8 \cdot 1,16 \cdot 1,31 = 12,16 \text{ м}^3.$$

Для разработанной системы с естественной конвекцией расход воздуха составил $12,15 \text{ м}^3$ за один рабочий цикл, продолжительность цикла – 34 мин.

Расход воздуха системой постоянной подачи воздуха равен:

$$V_{ппв} = V_B \cdot \alpha_{ппв}, \quad (4)$$

$$V_{ппв} = 12,16 \cdot 0,06 = 0,73 \text{ м}^3.$$

Расход воздуха системой регулируемой подачи воздуха составляет:

$$V_{\text{РПВ}} = V_{\text{В}} \cdot \alpha_{\text{РПВ}}, \quad (5)$$

$$V_{\text{РПВ}} = 12,16 \cdot 1,25 = 15,2 \text{ м}^3.$$

Техническая характеристика генератора пара (рис. 6):

- рабочее давление пара – 5 кг/см²;
- предельно допустимое давление пара – 18 кг/см²;
- емкость для воды – 6 л;
- расход биотоплива – 8 кг;
- температура исходящего пара – 150°C;
- время эффективного парообразования – 20-25 мин.



Рис. 6. Генератор перегретого пара в работе
Fig. 6. Superheated steam generator in operation

В котел генератора пара через горловину заливают 6 л воды или водного раствора и плотно закручивают крышку. Во избежание образования накипи на внутренней поверхности котла рекомендуется применять очищенную или дистиллированную воду. Затем в узел загрузки топлива помещают 8 кг древесных чурок влажностью не более 20% или другое горючее сухое биотопливо схожей теплотворности. Топливо разжигают и в ручном режиме регулируют подачу воздуха в топку для стабильного горения.

При температуре более 100°C в котле образуется пар, давление в замкнутом пространстве поднимается до критического – 5 кг/см². При превышении этого уровня происходит сброс пара в атмосферу через предохранительный клапан, что служит сигналом начала использования пара, температура которого около 150°C.

Пар для очистки оборудования поступает через запорный кран и гибкий резинометаллический шланг. Но сначала необходимо через шланг выпустить в атмосферу небольшое количество воды и влажного пара, после чего можно использовать перегретый пар. Запорная аппаратура имеет соответствующее проходное сечение, которое предотвращает чрезмерно большой расход пара, создавая устойчивый баланс с его выработкой.

Генератор пара имеет две системы подачи воздуха в котел. Первая – для постоянной подачи воздуха, нерегулируемая. Воздухопровод размещен под топочным отделением. Она предназначена для окончатель-

ного сжигания топлива после испарения воды и предотвращает образование высокой концентрации угарного газа. Вторая система, регулируемая, обеспечивает подачу воздуха через узел загрузки топлива для его эффективного сжигания.

Определили технические характеристики при производстве перегретого пара (рис. 7 и 8). На прогрев и достижение необходимого давления от начала розжига топлива требуется примерно 15 мин. Далее, по достижении давления 3 кг/см², идет рабочее время, которое зависит от объема водяных труб котла. В нашем случае оно составляет около 40 мин. Рабочее давление – 3-5 кг/см². Затем вода заканчивается и давление пара снижается. Загружаемое топливо также должно быть рассчитано на время генерации пара.

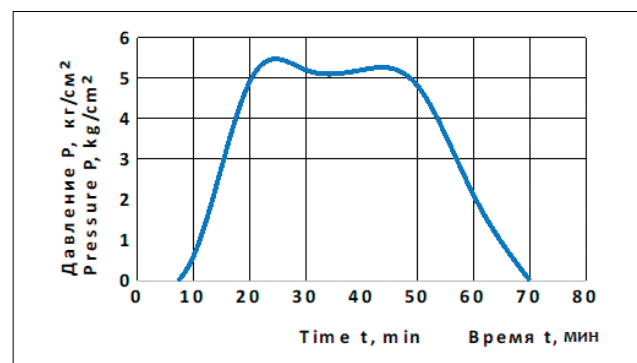


Рис. 7. Изменение давления в зависимости от времени
Fig. 7. Pressure change over time

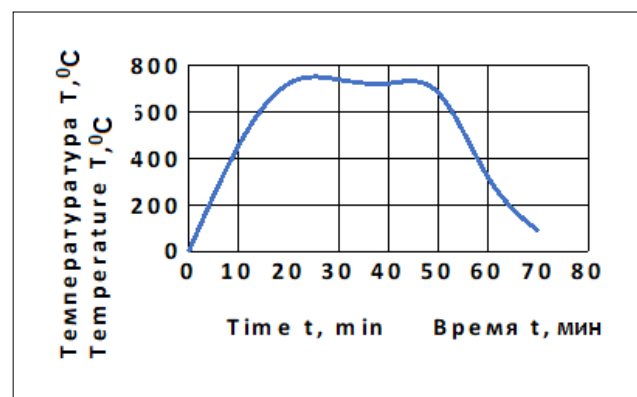


Рис. 8. Изменение температуры газов в районе осушителя пара в зависимости от времени
Fig. 8. Changes in gases temperature in the steam dryer area by time

Выводы

Преимущества разработанной установки заключаются в ее мобильности, использовании биотоплива, в непрерывной подаче перегретого пара на одной загрузке в течение 20-25 мин. Этого времени достаточно, например, для обработки навозоуборочного транспортера, тележек, разбрасывателя навоза, рабочих органов погрузчиков, разогрева сельхозтехники и других аппаратов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кравченко И.Н., Амелин С.С., Курменев Д.В., Величко С.А., Преображенская Е.В., Лутьянов А.В. Математическая модель процесса формирования рабочего потока термодинамического абразивоструйного инструмента для обработки поверхностей // *Вестник машиностроения*. 2022. N4. С. 64-68.
2. Pavlenko A., Koshlak H. Formation of the steam phase in superheated liquids in the state of metastable equilibrium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. N5(89). 35-42.
3. Егоров С.А., Коробов Д.В., Свиридов И.А., Фомин Ю.Г. Конструкция парогенератора // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. N1(361). С. 195-197.
4. Ляшенко А.Л. Математическая модель тепловых процессов парового котла теплоэлектростанции // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2018. N5(199). С. 100-110.
5. Макаров А.Н., Окунева В.В., Галичева М.К. Влияние длины факела на тепловой поток на горелочное устройство // *Электрические станции*. 2017. N6(1031). С. 19-23.
6. Plevako A.P. Possibility of using of thermal pumps at thermal power plants and heat boiler stations // *Вестник Инновационного Евразийского университета*. 2019. N2(74). С. 62-66.
7. Филимонова А.А., Чичилов А.А., Чичирова Н.Д., Баталова А.А. Спектроскопическое исследование поведения органических примесей в технологических водах тепловых электростанций // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2022. Т. 14. N3(55). С. 3-12.
8. Неверов В.В., Клевцов П.Н., Лебедев С.В. Дефектоскопия сварных соединений паровых котлов высокого давления и прогнозирование остаточного ресурса // *Вестник Липецкого государственного технического университета*. 2018. N3(37). С. 51-57.
9. Богомолов О.В. Технология очистки резервуаров для хранения нефтепродуктов с применением парогенераторов Интерблок // *Бурение и нефть*. 2022. N11. С. 14.
10. Tashakor S., Afsari A., Hashemi-Tilehnoee M. Sensitivity analysis of thermal-hydraulic parameters to study the corrosion intensity in nuclear power plant steam generators. *Nuclear Engineering and Technology*. 2019. Vol. 51. N2. 394-401.
11. Bersano A., Falcone N., Bertani C., De Salve M., Panella B. Conceptual design of a bayonet tube steam generator with heat transfer enhancement using a helical coiled downcomer. *Progress in Nuclear Energy*. 2018. Vol. 108. 243-252.
12. Егоров М.Ю. Вертикальные парогенераторы для АЭС с ВВЭР // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2018. N3. С. 88-99.

REFERENCES

1. Kravchenko I.N., Amelin S.S., Kurmenev D.V., Velichko S.A., Preobrazhenskaya E.V., Lut'yanov A.V. Matematicheskaya model' protsesssa formirovaniya rabocheho potoka termodinamicheskogo abrazivostruyinogo instrumenta dlya obrabotki poverkhnostey [Mathematical model of the process of forming the working flow of a thermodynamic abrasive jet tool for surface treatment]. *Vestnik mashinostroeniya*. 2022. N4. 64-68 (In Russian).
2. Pavlenko A., Koshlak H. Formation of the steam phase in superheated liquids in the state of metastable equilibrium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. N5(89). 35-42 (In English).
3. Egorov S.A., Korobov D.V., Sviridov I.A., Fomin Yu.G. Konstruktsiya parogeneratora [The steam generator design]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2016. N1(361). 195-197 (In Russian).
4. Lyashenko A.L. Matematicheskaya model' teplovykh protsessov parovogo kotla teploelectrostantsii [Mathematical model of thermal processes in a heat-electric power station steam boiler]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki*. 2018. N5(199). 100-110 (In Russian).
5. Makarov A.N., Okuneva V.V., Galicheva M.K. Vliyaniye dliny fakela na teplovoy potok na gorelochnoe ustroystvo [The effect of the torch length on the heat flow to the burner device]. *Elektricheskie stantsii*. 2017. N6(1031). 19-23 (In Russian).
6. Plevako A.P. Possibility of using of thermal pumps at thermal power plants and heat boiler stations. *Vestnik Innovatsionnogo Evraziyskogo universiteta*. 2019. N2(74). 62-66 (In English).
7. Filimonova A.A., Chichirov A.A., Chichirova N.D., Batalova A.A. Spektroskopicheskoye issledovaniye povedeniya organicheskikh primesey v tekhnologicheskikh vodakh teplovykh elektrostantsiy [Spectroscopic study of the organic impurities behaviour in thermal power plants technological waters]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2022. Vol. 14. N3(55). 3-12 (In Russian).
8. Neverov V.V., Klevtsov P.N., Lebedev S.V. Defektoskopiya svarnykh soedineniy parovykh kotlov vysokogo davleniya i prognozirovaniye ostatochnogo resursa [Defectoscopy of welded joints of highpressure steam generators and forecasting of a residual resource]. *Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018. N3(37). 51-57 (In Russian).
9. Bogomolov O.V. Tekhnologiya ochistki rezervuarov dlya khraneniya nefteproduktov s primeneniem parogeneratorov Interblok [Technology for storing petroleum products tanks cleaning using «Interblock» steam generators]. *Bureniye i nef't*. 2022. N11. 14 (In Russian).
10. Tashakor S., Afsari A., Hashemi-Tilehnoee M. Sensitivity analysis of thermal-hydraulic parameters to study the corrosion intensity in nuclear power plant steam generators. *Nuclear Engineering and Technology*. 2019. Vol. 51. N2. 394-401 (In English).

11. Bersano A., Falcone N., Bertani C., De Salve M., Panella B. Conceptual design of a bayonet tube steam generator with heat transfer enhancement using a helical coiled downcomer. *Progress in Nuclear Energy*. 2018. Vol. 108. 243-252 (In English).
12. Egorov M.Yu. Vertikal'nye parogeneratory dlya AES s VVER [Vertical steam generators for VVER NPPS]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*. 2018. N3. 88-99 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Гусаров В.А. – подготовка и первичный анализ литературных источников, подготовка материалов, описание результатов, подготовка начального варианта текста, формирование основной концепции;

Юфереv Л.Ю. – подготовка и первичный анализ литературных источников, обобщение и описание результатов, подготовка начального варианта текста, формирование основной концепции.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Gusarov V.A. – primary literature review, preparation of materials, description and interpretation of the results, preparing the manuscript draft, formulating the research main concepts;

Yuferev L.Yu. – primary literature review, description and interpretation of the results, preparing the manuscript draft, formulating the research main concepts.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.02.2023

14.03.2023