

УДК 631.171

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-1-37-41

ОПЫТ СЖИГАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ТОПОЧНОМ БЛОКЕ ТБР-2,0

Голубкович А.В.^{1*}, докт. техн. наук;
Беленькая Л.И.², канд. техн. наук;

Дадыко А.Н.¹, аспирант;
Ловкис В.Б.³, канд. техн. наук

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: vim@vim.ru

²ООО «ОКБ по теплогенераторам», ул. 2-я Мичурина, 2а, стр. 4, г. Брянск, 241021, Российская Федерация

³Белорусский государственный аграрный технический университет, ул. Независимости, 99, г. Минск, 220023, Республика Беларусь

Для сушки зерна применяют различные типы топочных устройств на альтернативных и местных видах топлива с взвешенным слоем. Во взвешенном слое топливо низкого качества горит лучше, чем в плотном. При этом выбросы оксидов азота резко уменьшаются. Отметим, что экологические, эксплуатационные и экономические преимущества этих топок сегодня не вызывают сомнения. Особенно перспективны они для сжигания низкосортных топлив и различных отходов (например, отходов сельскохозяйственного производства) в циклонно-вихревом слое. Определили, что отличительная особенность таких топок – наличие вихревых контуров в камере сжигания, что повышает эффективность процесса горения. Провели испытания топочного блока с зерносушилками СЗТ-30 в ООО «Борисоглебский МЭЗ» (Воронежская область) на сушке кукурузы и подсолнечника. Сжигали лузгу подсолнечника с низшей теплотой сгорания 14 и 17 МДж на 1 кг производительностью 100, 210, 230, 250, 280, 320 и 380 кг в час на 1 топочный блок. Комплект из двух топочных блоков на растительных отходах (ТБР-2,0) при работе на лузге подсолнечника с низшей теплотой сгорания не менее 17 МДж на 1 кг обеспечит необходимую производительность сушилки СЗТ-30 на сушке зерна и семян. Установили, что максимальная мощность теплового одинарного блока ТБР-2,0 не должна превышать 1,5 МВт. При этом достигается максимальный КПД, а степень подогрева воздуха обеспечивает работу сушилки при температуре наружного воздуха не ниже 5 градусов Цельсия. Показали, что экономичный и безопасный режим работ топочного блока возможен при мощности 0,8-1,3 МВт и избытке воздуха в 1,2-1,5 раза. В этом случае выбросы оксидов азота меньше допустимых величин и составляют 0,6-0,7 г на 1 куб. м.

Ключевые слова: зерносушилка, растительные отходы, альтернативные топлива, топочный блок, циклонно-вихревой слой топлива.

■ Для цитирования: Голубкович А.В., Беленькая Л.И., Дадыко А.Н., Ловкис В.Б. Опыт сжигания растительных отходов в топочном блоке ТБР-2,0 // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. №1. С. 37-41.

EXPERIENCE IN VEGETABLE WASTE BURNING IN FURNACE BLOCK TBR-2.0

A.V. Golubkovich^{1*}, Dr. Sci. (Eng.);
L.I. Belen'kaya², Cand. Sci. (Eng.);

A.N. Dadyko¹;
V.B. Lovkis³, Cand. Sci. (Eng.)

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: vim@vim.ru

²ООО «ОКБ по generatoram», Michurin the 2nd St., 2a, buld. 4, Bryansk, 241021, Russian Federation

³Belarusian State Agrarian Technical University, Nezavisimosti St., 99, Minsk, 220023, Republic of Belarus

There are various types of furnace systems with use of alternative and local fuels with the fluidized bed for grain drying. A low-quality fuel burns in the fluidized bed better, than in dense one. As well emissions of nitrogen oxides decrease very much. Ecological, operational and economic benefits of these fire chambers are certain. They are especially perspective for combustion of low-grade fuels and various waste (for example, waste of agricultural production) in a cyclonic and vortex layer. The distinctive feature of such fire chambers is availability of vortex contours in the burning camera that increases efficiency of burning process. The authors carried out testing of the furnace block with grain dryer SZT-30 at ООО «Borisoglebsky MEZ» (Voronezh region) at corn and sunflower seeds drying. We burned sunflower peelings with the lowest calorific power of 14 MJ and 17 MJ at 1 furnace block capacity of 100, 210, 230, 250, 280, 320 and 380 kg per hour. The set of two furnace blocks (TBR-2.0) operating with sunflower peelings which are characterized by the lowest

calorific power at least 17 MJ per 1 kg will provide necessary capacity of the dryer SZT-30 when grain and seeds drying. The maximum capacity of the unary thermal block TBR-2.0 should not exceed 1.5 MW. As well the maximum efficiency is reached, and extent of air heating provides functioning of the dryer at a temperature of external air not below 5 degrees Celsius. The economy and safe mode of operation of the furnace block can be provided in case of capacity 0.8-1.3 MW and 1.2-1.5 times air-fuel ratio. In this case emissions of nitrogen oxides are less than permitted value and equal 0.6-0.7 g per 1 cubic meter.

Keywords: Grain dryer; Vegetable waste; Alternative fuels; Furnace block; Cyclone and vortex layer of fuel.

For citation: Golubkovich A.V., Belen'kaya L.I., Dadyko A.N., Lovkis V.B. Experience in vegetable waste burning in furnace block TBR-2.0. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2016; 6: 37-41. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-1-37-41. (In Russian)

На сушку зерна в РФ ежегодно затрачивают десятки тысяч тонн жидкого топлива, что существенно удорожает продукцию. Поэтому наряду с совершенствованием технологий и технических средств сушки большое значение имеет применение альтернативных источников энергии для сушилок. Использование этих источников и технических средств сжигания с получением тепла предусмотрено Системой технологий и машин для сельского хозяйства [1, 2].

Имеются различные типы топочных устройств со взвешенным слоем, в котором топливо низкого качества горит лучше, чем в плотном слое. При этом выбросы оксидов азота резко уменьшаются.

Экологические, эксплуатационные и экономические преимущества таких топок сегодня не вызывают сомнения. Особенно перспективны они для сжигания низкосортных топлив и различных отходов, например сельскохозяйственного производства.

Сельскохозяйственное производство ежегодно дает около 250 млн т органических отходов. Использование в качестве топлива лесосечных и послеуборочных отходов создает дополнительные энергоресурсы в объеме 45-50 млн т условного топлива и сокращает расход дорогостоящего осветленного топлива [3-8]. Во многих странах биотопливо все шире применяют для получения тепла.

Для этих целей наиболее перспективны топки с циклонно-вихревым слоем. Вихревые контуры в камере сжигания таких топок способствуют эффективной организации процесса горения.

Для всех топок с циклонно-вихревым слоем характерны достаточно высокие скорости газов (до 6-9 м/с), близкие к скоростям в обычных камерных топках или даже превышающие их. Поэтому их теплообменная площадь не больше, чем у камерных [9, 10].

Для нужд сельскохозяйственного производства наиболее перспективным и простым в осуществлении является сжигание в низкотемпературном циклонно-вихревом слое, обусловленное полезным охлаждением продуктов сгорания от теоретической температуры горения до температуры агента сушки.

Простота устройств топок циркуляционно-вихревого слоя, возможность работы с влажными низкореекционными растительными отходами, надежность в эксплуатации, достаточно высокие КПД, экономичность и эффективность – серьезные достоинства, чтобы данная технология прочно завоевала свои позиции в решении проблем экономии топливно-энергетических ресурсов и в разработке новых видов топлива.

Цель исследований – определение параметров наиболее эффективного и безопасного режима топочного блока ТБР-2,0 на лузге подсолнечника в ходе оценки экспериментальных данных.

Материалы и методы. Испытания проводили на зерносушилках СЗТ-30 в ООО «Борисоглебский МЭЗ» (ИП «Киленников», г. Борисоглебск Воронежской области) на сушке кукурузы и подсолнечника.

Рассмотрим технологическую схему комплекта топочного блока с сушилкой (рис. 1 и 2).

Из накопительного бункера 1 дозированный материал пневмоподачей загружают в камеру сгорания 3. Топочные газы из нее поступают в теплообменник 4, выводятся дымососом 5 и удаляются из трубы 6. Наружный воздух вентилятором 2 подают в межтрубную полость теплообменника, а подогретый – через коллектор 8 направляют в сушилку 9. Запуск топочного блока начинают с прогрева топочной камеры (розжига) жидкостной (газовой) горелкой, затем включают подачу твердого топлива, зажигают его взвешенный слой и отключают подачу жидкого (газообразного) топлива.

Ввод твердого топлива в камеру осуществляли с первичным воздухом, объем которого составлял 35% от всего количества, подаваемого на сжигание.

Ввод вторичного дутья осуществляли в нижней части камеры циклонно со скоростью 12 м/с, с образованием циркуляционных вихрей. По оценке в этих вихрях, вращающихся со скоростью частиц $V_{\text{ч}} = 3-5$ м/с, их массовая концентрация доходила до 0,3 при расходе топлива $G \geq 200$ кг/ч [11-12].

Рассмотрим по порядку комплектацию оборудования опытного образца.

Компоновка по воздушному тракту. Вентилятор ВНСН-16И + два трубчатых теплообменника

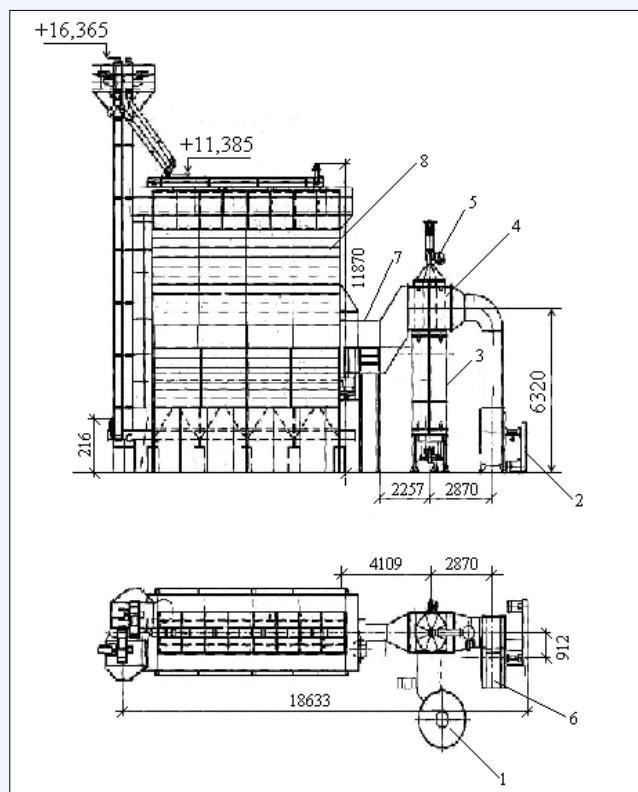


Рис. 1. Технологическая схема топочного блока ТБР-2,0 с сушилкой СЗТ-30: 1 – бункер; 2 – вентилятор; 3 – камера сгорания; 4 – теплообменник; 5 – дымосос; 6 – труба; 7 – коллектор; 8 – сушилка

Fig. 1. Process scheme of the furnace unit TBR-2.0 with the dryer SZT-30: 1 – bunker; 2 – air fan; 3 – combustion chamber; 4 – heat exchanger; 5 – smoke exhauster; 6 – pipe; 7 – collector; 8 – dryer



Рис. 2. Топочный блок ТБР-2,0 с сушилкой СЗТ-30
Fig. 2. The furnace unit TBR-2.0 with the dryer SZT-30

последовательно + колонка зерносушилки СЗТ-30.

Компоновка по тракту дымовых газов. Камера сгорания объемом 3 м³ с форсункой ГРП-5,0 + два теплообменника последовательно + циклон + дымосос ВР 132-30-8 + средство подачи лузги.

Камера сгорания. Топка ТБР-2,0 содержит вертикальный цилиндр с металлическим кожухом и камерой сгорания, футерованной шамотным кирпичом, и форсункой ГРП-5,0 в нижней части для розжига растительных остатков (РО). Из камеры

сгорания продукты горения поступают последовательно в два рекуперативных прямоугольных теплообменника.

Теплообменник. Дымовые газы удаляются дымососом, перед которым установлен циклон.

Загрузочное устройство состоит из общего накопительного бункера, разделяющегося на два потока. Каждый поток состоит из шибера, дозатора с ротором диаметром 244 мм и вентилятора пневмоподдачи РО в камеру сгорания.

Вентилятор теплоносителя (зерносушилки) – ВНСН-16И (920 об/мин) с электродвигателем (75 кВт; 1470 об/мин) – экспортный.

Дымосос – ВД-8,0.00.000 с электродвигателем мощностью – 30,0 кВт; 1470 об/мин, расходом – 11000 м³/ч, давлением – 5000 Па. Регулировка возможна изменением числа оборотов привода с помощью частотного преобразователя N300 на 30 кВт.

Средство подачи лузги. Из бункера с ворошителем и ротором осуществляется непрерывная пневмоподача. Привод дозатора – от мотор-редуктора NMRV-080-50B3 с электродвигателем (1,1 кВт и 1000 об/мин) и 18 об/мин на выходе. Максимальное число оборотов ротора 7 об/мин (после звездочек).

Привод вентилятора ВР 12-26-3,15 от электродвигателя (4,0 кВт и 3000 об/мин), регулируемого частотным преобразователем N100^{plus} на 3,7 кВт. Сжигали твердое топливо (лузгу подсолнечника) с низкой теплотой сгорания 14 и 17 МДж/кг при различной производительности G = 100; 210; 230; 250; 280; 320 и 380 кг/ч на 1 топочный блок.

Расход топочных газов изменяли от 5400 до 11400 м³/ч. Расход теплоносителя в сушилку составил 60 000 м³/ч (75°C) и 62 000 (90°C). Температура наружного воздуха – 10°C.

На выходе из дымовой трубы измеряли избыток воздуха, содержание в нем CO, NO_x, O₂, CO₂ (г/м³), температуру уходящих газов (°C), а также КПД топки.

Расход дымовых газов изменялся от 5700 до 8300 м³/ч.

Для замера содержания CO, NO_x, O₂, CO₂ в уходящих дымовых газах использован газоанализатор Testo 342-3, на входе в дымосос установлен вариант «кокс-дрова».

Температуру внутри топки измеряли пирометром. Подачу воздуха на горение регулировали заслонками дымососа, подачу твердого топлива – дозатором с помощью частотного преобразователя производительностью 100-370 кг/ч.

Результаты и обсуждение. Кривые изменения (избытка воздуха α_t , степени нагрева теплоносителя Δt , подаваемого в сушилку, КПД топочного блока η и температуры отходящих газов t_{yx} в зависимости от мощности топки Q представлены на рисунках 3 и 4.

До величины $Q \leq 0,8$ МВт, в связи с низкими зна-

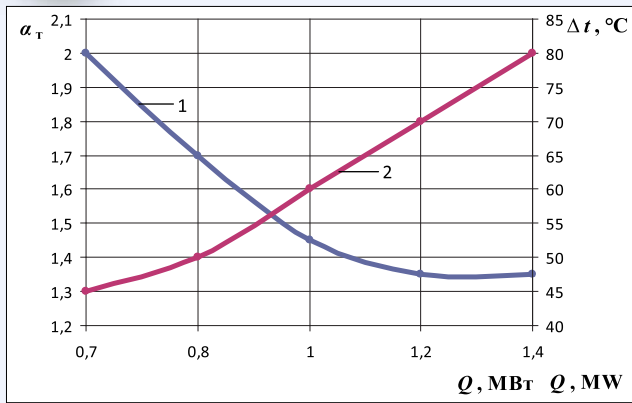


Рис. 3. Зависимость избытка воздуха α_T (1) и степени нагрева теплоносителя Δt (2) от мощности топочного блока Q
 Fig. 3. Dependence of air-fuel ratio α_T (1) and extents of heating of the heat carrying agent Δt (2) on the power of the furnace unit Q

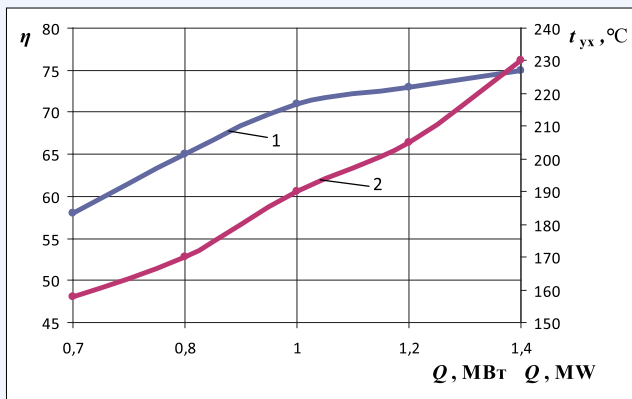


Рис. 4. Зависимость КПД топочного блока (1) и температуры уходящих газов t_{yx} (2) от мощности топочного блока Q
 Fig. 4. Dependence of output-input ratio of the furnace unit (1) and temperature of the exit gases t_{yx} (2) on the power of the furnace unit Q

чениями концентрации материала в топочной камере и тангенциальной скорости частиц в вихревых контурах, установлено неудовлетворительное горение, температура в топке не превышает 600-800 $^\circ\text{C}$. Выявлены невысокая степень подогрева агента сушки (Δt менее 45 $^\circ\text{C}$), низкий КПД топки – около 60-65%. При этом избыток воздуха был повышенным: $\alpha_T > 1,5-1,6$.

При мощности топки 0,8 $\leq Q \leq$ 1,3 МВт вследствие повышенной концентрации частиц в камере установлено удовлетворительное сжигание твердого топлива. При этом температура поднялась до 900 $^\circ\text{C}$ и выше, существенно возросла величина Δt , что обуславливает возможность сушки не только семенного, но и продовольственного зерна с быстро возрастающим КПД топки и снижающейся величиной α_T .

При $Q \geq 1,3$ МВт температура уходящих газов начинает быстро повышаться, снижается КПД, то есть объемное напряжение топки очевидно ограничено при данной аэродинамической схеме величиной 0,45 МВт/м 3 , и дальнейший его рост не целесообразен.

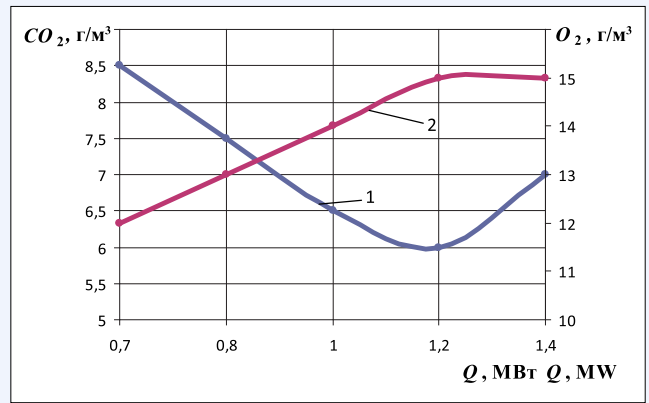


Рис. 5. Зависимость CO_2 (1) и O_2 (2) от Q
 Fig. 5. Dependence of CO_2 (1) and O_2 (2) on Q

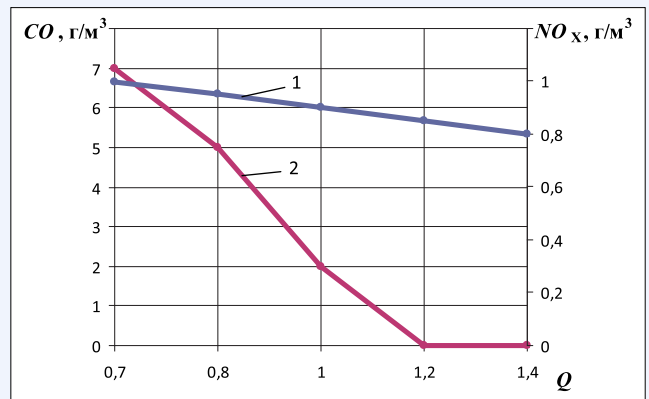


Рис. 6. Зависимость NO_x (1) и CO (2) от Q
 Fig. 6. Dependence of NO_x (1) and CO (2) on Q

На рисунках 5 и 6 представлены изменения концентрации двуокси углерода (CO_2), кислорода (O_2), окиси углерода (CO) и окислов азота (NO_x) в уходящих газах в зависимости от мощности топочного блока Q .

Установлено, что уменьшение нагрузки топочного блока с 1,4 до 0,8 МВт сокращает содержание окислов азота с 0,20 до 0,16 г/м 3 . Это объясняется снижением температуры газов в топочной камере. Одновременно уменьшается концентрация окиси углерода на выходе из топки, что свидетельствует о стабилизации процесса горения твердого топлива.

Изменение концентраций CO_2 и O_2 от Q характеризует степень выгорания частиц. При малых значениях мощности топки ($Q < 1,0$ МВт) снижаются длительность нахождения частиц в камере и степень их выгорания, что повышает содержание O_2 и уменьшает концентрацию CO_2 , то есть температура горения твердых частиц достаточно низкая. При $Q > 1,0$ МВт значения CO_2 и O_2 стабилизируются.

Выводы. Комплект из двух топочных блоков для сжигания растительных отходов ТБР-2,0 при работе на лузге подсолнечника с низшей теплопроводной способностью не менее 17 МДж/кг обеспечит необходимую производительность сушилки СЗТ-30 на сушке зерна и семян.



Максимальная мощность теплового одинарного блока ТБР-2,0 не должна превышать 1,5 МВт. При этом достигается максимальный КПД, а степень подогрева воздуха обеспечивает работу сушилки при температуре наружного воздуха не ни-

же минус 5°C. Экономичный и безопасный режим работ топочного блока от 0,8 до 1,3 МВт достигается при избытке воздуха в пределах 1,2-1,5 г/м³. В этом случае выбросы окислов NO_x меньше допустимых величин – 0,6-0,7 г/м³.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ, 2010. С. 47-58.
2. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N1. С. 11-14.
3. Анискин В.И., Голубкович А.В. Перспективы использования растительных отходов в качестве топлива // Теплоэнергетика. 2004. N5. С. 60-65.
4. Grassi G., Bridgwater T. Biomass for energy and environment, agriculture and industry in European strategy for the Future. Commission of European Communities, 1995: 24.
5. Waste to Energy – using fluidized bed technology. Kvaerner EnviroPower, 1996: 8.
6. Nikolaisen L., Nielsen C., et al. Straw for Energy

- Production. Centre for Biomass Technology. Copenhagen, 1992: 12-20.
7. Asplund D.A. Finish bioenergy research programme. Seminar on Power Production from Biomass II. Espoo, Finland, 27-28 March 1995: 34.
8. Pohjonen V. Wood power in eastern Finland. Biofuels for sustainable development proceeding of the second international seminar. University of Joensuu, 1995: 20-28.
9. Анискин В.И., Голубкович А.В., Сотников В.И. Сжигание растительных отходов в псевдооживленном слое // Теплоэнергетика. 2004. N6. С. 60-63.
10. Анискин В.И., Голубкович А.В., Курбанов К.К. Использование растительных материалов в качестве биотоплива для теплогенераторов // Доклады РАСХН. 1977. N5. С. 44-46.
11. Голубкович А.В. Топки на растительных отходах. М.: ВИМ, 2011. 167 с.
12. Анискин В.И., Голубкович А.В. Топочные устройства на растительных отходах // Техника в сельском хозяйстве. 1999. N2. 27 с.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Upravlenie i informatsionnoe obespechenie innovatsionnymi tekhnologicheskimi protsessami v rastenievodstve [Management and information support by innovative technological processes in plant industry]. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM, 2010: 47-58. (In Russian)
2. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Initial requirements of technological operations in plant growing. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011; 1: 11-14. (In Russian)
3. Aniskin V.I., Golubkovich A.V. Prospects of use of vegetable waste as biofuels. *Teploenergetika*. 2004; 5: 60-65. (In Russian)
- Grassi G., Bridgwater T. Biomass for energy and environment, agriculture and industry in European strategy for the Future. Commission of European Communities, 1995: 24. (In English)
5. Waste to Energy – using fluidized bed technology. Kvaerner EnviroPower, 1996: 8. (In English)
6. Nikolaisen L., Nielsen C., et al. Straw for Energy

- Production. Centre for Biomass Technology. Copenhagen, 1992: 12-20. (In English)
7. Asplund D.A. Finish bioenergy research programme. Seminar on Power Production from Biomass II. Espoo, Finland, 27-28 March 1995: 34. (In English)
8. Pohjonen V. Wood power in eastern Finland. Biofuels for sustainable development proceeding of the second international seminar. University of Joensuu, 1995: 20-28. (In English)
9. Aniskin V.I., Golubkovich A.V., Sotnikov V.I. Burning of vegetable waste in a fluidized bed. *Teploenergetika*. 2004; 6: 49-53. (In Russian)
10. Aniskin V.I., Golubkovich A.V., Kurbanov K.K. Use of plant materials as biofuel for heat generators. *Doklady RASKhN*. 1977; 5: 44-46. (In Russian)
11. Golubkovich A.V. Topki na rastitel'nykh otkhodakh: protsessy, konstruksii, rezhimy, raschety [Fire chambers on vegetable waste: processes, designs, modes, calculations]. Moscow: VIM, 2011: 172. (In Russian)
12. Aniskin V.I., Golubkovich A.V. Furnace systems on vegetable waste. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1999; 2: 27. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.