

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРЫ ГАЗИФИКАЦИИ ГАЗГЕНЕРАТОРА НА СЫРЬЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*Наталья Цивенкова, Анна Голубенко, Савелий Кухарец, Владислав Шубенко,  
Житомирский национальный агроэкологический университет  
г. Житомир, Старый бульвар 7*

*Nataliya Tsyvenkova, Anna Golubenko, Saveliy Kukharets, Vladyslav Shubenko,  
Zhytomyr national agroecological university*

**Аннотация.** Приведена методика расчета камеры газификации газогенератора для энергообеспечения зерносушилки. Разработан алгоритм определения основных параметров камеры газификации, и исполнен ее расчет для зерновой сушилки шахтного типа продуктивностью 2 т/час. Предложено наиболее рациональные схемы установки дутьевых фурм в камере газификации для твердого топлива растительного происхождения с целью получения качественного и стабильного по технологическим показателям генераторного газа. Установлена зависимость скорости газов дутья от заданного типа и конструкции дутьевой фурмы. Приведен расчет основных параметров камеры газификации по приведенному алгоритму.

**Ключевые слова:** зерносушилка, камера газификации, генераторный газ, твердое топливо растительного происхождения.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Камера газификации является важным объектом проектирования в газогенераторной установке. Ее основные параметры существенно влияют на продуктивность газогенератора, качество и состав генераторного газа [3, 8, 9, 11, 13, 16].

Задача использования соломы для сушки зерна остается открытой [1, 5, 6, 7, 14, 15, 17], причем газификация соломы является рациональным путем решения проблемы энергообеспечения процесса сушки. Схема технологического процесса сушки зерновых с использованием продуктов газификации соломы требует согласования и конструктивных параметров соответствующего оборудования [2]. Таким параметром, прежде всего, является потребность сушилки в генераторном газе.

Состав генераторного газа значительно зависит от агротехнических характеристик зерновых культур, вида подготовки соломы,

типа газогенератора, конструкции камеры газификации и правильности выбора режимов [3, 4, 5, 9, 11, 12, 16].

Из вышесказанного понятно, что проектирование камеры газификации, а именно этап определения ее основных параметров, начинается, прежде всего, с определения выходных данных, а процесс произведения расчетов должен быть четко структурирован и исполняется в пределах определенного алгоритма.

Алгоритмизация определения размеров камеры газификации является весомым фактором дальнейшей автоматизации их расчета, что чрезвычайно актуально в современных условиях и расширяет возможности применения расчета для оптимизации определенных параметров.

Основными проблемами при решении обозначенных выше задач являются недостаточная разработка этой темы в научной литературе, отсутствие практического опыта проектирования и использования газогенераторов для питания такого сельскохозяйственного оборудования как зерносушилки.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Сушка зерновых за счет сжигания соломы специфична из-за низкой плотности и неравномерности полученного теплового потока, что не позволяет обеспечить качественный результат в процессе сушки зерна.

Использование биотоплив для обеспечения энергетической автономности фермерских хозяйств, сельхоз предприятий и комплексов связано, прежде всего, с необходимостью эффективного приведения такого топлива к концентрированному состоянию [5].

Исходя из вышесказанного, на основе соломы можно создать мощную энергосырье-

вую базу с дальнейшим ее использованием в газогенераторных установках.

Химико-термическая газификация соломы дает возможность соединить повышение энергетической автономности производства основной продукции с улучшением ее экологических показателей, в том числе и в аспекте сохранения плодородия грунтов [5, 14, 15].

Основными выходными данными для разработки конструкции камеры газификации газогенератора являются: запланированная продуктивность газогенератора по газу  $V_{в.г.}$  ( $м^3/час$ ); требования к составу и технологическим характеристикам генераторного газа; вид газифицируемого сырья.

Анализ технологических режимов процесса конвективной сушки зерновой массы позволил выявить ряд факторов, которые необходимо учитывать при определении параметров камеры газификации, а именно: влажность  $W_{с.г.}$  (%), температуру  $t_{с.г.}$  ( $^{\circ}C$ ), теплоемкость  $c_{с.г.}$  ( $кДж/кг \cdot K$ ), расход и режимы подачи сушильного агента; начальную  $T_{1м}$  ( $^{\circ}C$ ) и конечную температуры  $T_{2м}$  ( $^{\circ}C$ ), начальную  $W_1$  (%) и конечную  $W_2$  (%) влажности зерновой массы, физико-механические свойства зерновой массы; тепломасообменные параметры процесса сушки [2, 10].

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ

Целью исследования является создание методики расчета газогенератора адаптированного к использованию в составе зерносушилки.

Определение и обоснование исходных параметров для проектирования камеры газификации, необходимых и достаточных для создания устойчивой системы, состоящей из оборудования, производящего энергоноситель, и потребителя, с обеспечением максимально возможной энергоавтономности.

Объектом исследования является процесс сушки зерновых, его особенности, параметры, определяющие выбор состава технологического комплекса и исходные характеристики соломы для газификации.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исходя из потребности обеспечения необходимой продуктивности газогенераторной установки и постоянных характеристик генераторного газа следует учитывать следующие параметры: тепловое напряжение процесса газификации  $B$  ( $кДж/м^2 \cdot час$ ); высоту активного слоя топлива  $H$  (м); коэффициент пропорциональности площадей  $m$ ; расстояние между фурменным поясом и горловиной  $h_r$  (м); объем  $V_{возд}$  ( $м^3/час$ ), температуру  $t_{возд}$  ( $^{\circ}C$ ) и скорость воздушного дутья  $\omega$  (м/с).

На рис. 1 представлен алгоритм исполнения проектных расчетов камеры газификации газогенератора, адаптированного к работе на сырье растительного происхождения, в составе зерновой сушилки. Четкая структура алгоритма позволяет с незначительными изменениями использовать его для проведения широкого спектра расчетов.

Особенное место в алгоритме занимает блок проверки обеспечения энергетической потребности зерносушилки спроектированной газогенераторной установкой.

Согласно предложенному алгоритму (рис. 1) первым этапом является определение исходных данных для расчета блока 1.

Для упрощения процесса определения параметров камеры газификации важно определить необходимый и достаточный минимум параметров, влияющих на качество процесса сушки. Константы и величины, которые можно определить из исходных данных, были исключены. Перечень исходных данных приведен в табл. 1. Исходные данные максимально широко охватывают спектр конструкций зерносушилок, что позволяет более широко использовать приведенный алгоритм, расширяя его до методики расчета.

Для реализации алгоритма было проанализировано и выбрано наиболее рациональные расчетные формулы для каждого блока.

Некоторые формулы были изменены с учетом замены базового энергоносителя газогенераторным.

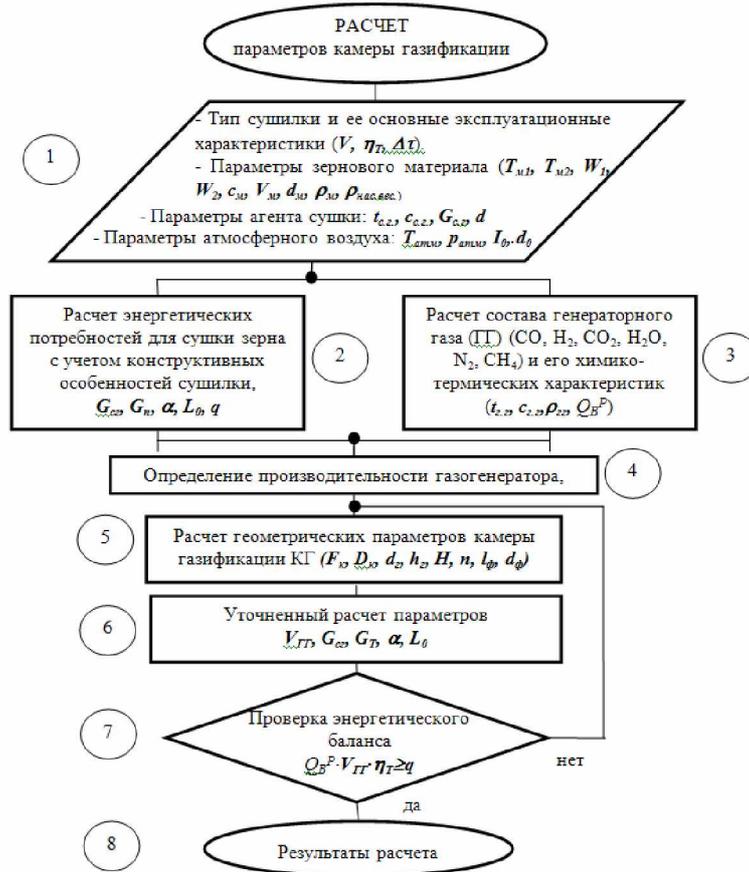


Рис.1. Алгоритм определения основных параметров камеры газификации  
Fig. 1 The algorithm of determination of the basic parameters of gasification chamber

В данном алгоритме (рис.1) введено ряд условных обозначений:

$V, V_m$  – объемы сушилки: общий и занятый зерновым материалом,  $\text{м}^3$ ;

$\eta_T$  – суммарный коэффициент полезного действия топки;

$\Delta\tau$  – час сушки одного загруженного объема зернового материала для сушилок периодического действия, час;

$T_{m1}, T_{m2}$  – начальная и конечная температуры зернового материала,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W_1, W_2$  – начальная и конечная влажности зернового материала, %;

$d_m$  – средний диаметр зерна, м;

$\rho_m$  – удельный вес зерна,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_{\text{нас.вес}}$  – насыпной вес зернового материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$c_m, c_{с.з}, c_{г.з}$  – теплоемкость зернового материала, сухих топочных газов, генераторного газа,  $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{K}$ ;

$t_{с.з}, t_{г.з}, T_{амм}$  – температуры сухого топочного, генераторного газов и внешнего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$d, d_0$  – влагосодержание внешнего воздуха при соответствующей температуре и относительной влажности, и топочных газов,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;

$G_{с.з}$  и  $G_n$  – вес сухих топочных газов и водяного пара,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;

$I_0$  – энтальпия внешнего воздуха,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$i_n$  – энтальпия водяных паров,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$P_{амм}$  – атмосферное давление, Па;

$Q_B^P$  – высшая теплотворность генераторного газа,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

$\rho_{г.з}$  – удельный вес генераторного газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха;

$L_0$  – теоретическое количество абсолютно сухого воздуха, необходимого для горения генераторного газа,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$C_m H_n$  – объемные доли компонентов в смеси;

$V_{г.з}$  – расход генераторного газа на испарение влаги из слоя зернового материала,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$q$  – количество тепла, израсходованного на испарение кг влаги,  $\text{кДж}/\text{кг}$ ;

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕРЫ ГАЗИФИКАЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА СЫРЬЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

$W$  – количество влаги, которое испарилось в сушилке, кг/час,

$G_T$  – часовой расход топлива, кг/час;

$F_{\kappa}, f_{\text{зоп}}$  – площади поперечного сечения фурменного пояса и горловины камеры газификации, м<sup>2</sup>,

$D_{\kappa}, d_2$  – диаметры фурменного пояса и горловины камеры газификации, м.

$h_2$  – расстояние от фурменного пояса к горловине, м,

$d_{\phi}, l_{\phi}$  – диаметр фурм и шаг их установки, м;  $n$  – количество фурм, шт.,

$C_{n.y.}$  – сумма потерь углерода, кг углерода/кг топлива,

$B$  – тепловое напряжение камеры газификации, кДж/м<sup>2</sup>·час.

Так, согласно методике [10], для конвективной сушилки уравнение теплового баланса, адаптированное к использованию генераторного газа, будет записано следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_B^p \cdot \eta_T + c_{z,z} \cdot t_{z,z} + \alpha \cdot L_0 \cdot I_0 = \\ = \left[ 1 + \alpha L_0 - \sum \frac{0,09 \cdot n}{12m+n} C_m H_n \right] c_{c,z} \cdot t_{c,z} + \\ + \left[ \sum \frac{0,09 \cdot n}{12m+n} C_m H_n + \frac{\alpha L_0 d_0}{1000} \right] i_n. \end{aligned} \quad (1)$$

Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 м<sup>3</sup> газа, находится за заданным в процентах от объема составом газа:

$$L_0 = \frac{1}{21} [0,5(CO + H_2) + 2CH_4 - O_2]. \quad (2)$$

Расчеты за формулами (1, 2) есть основой блока 2 алгоритма (рис.1). На этапе реализации блока 3 определяются основные характеристики генераторного газа, которые зависят от вида, состава и параметров исходного топлива. Состав генераторного газа, рассчитанный для пеллет из соломы пшеницы, представлен в таблице 2. Переходя к блоку 4, расход генераторного газа на испарение влаги из слоя зернового материала составляет:

$$V_{zz} = \frac{qW}{Q_B^p \cdot \eta_T \cdot \rho_{zz}}. \quad (3)$$

Таблица 1. Исходные данные к расчетам  
Table 1. Original dates for calculations

Название параметра	Обозначение	Размерность	Значение
Объем сушилки, который занят зерновым материалом	$V_M$	м <sup>3</sup>	2,6
Производительность	$\Pi$	т/час.	2
Начальная влажность зернового материала	$W_1$	%	19
Конечная влажность зернового материала	$W_2$	%	13,5
Диаметр частиц материала	$d_M$	мм	4
Насыпная плотность зернового материала	$\rho_{\text{нас.плот}}$	кг/м <sup>3</sup>	770
Конечная температура зернового материала	$T_{M2}$	°C	20
Температура агента сушки	$t_{c.g.}$	°C	85
Суммарный коэффициент полезного действия топки сушки	$\eta_T$	%	95
Характеристики атмосферного воздуха:			
- влажность	$d_0$	кг/кг	0,014
- температура	$T_{\text{атм}}$	°C	20
- давление	$p_{\text{атм}}$	МПа	0,105

Таблица 2. Расчетный состав генераторного газа при влажности  $W=10\%$   
Table 2. The calculated composition of producer gas with moisture content of 10%

Вид топлива	Состав рабочего топлива, % по объему [4]					
	$C^P$	$H^P$	$O^P$	$S^P$	$N^P$	$A^P$
Пеллеты	43,35...44,4 3	5,71...5,86	43,35...44,4 3	0,10...0,1 1	0,51...0,52	6,98...4, 65
Генераторный газ	Состав генераторного газа, % по объему					
	$CO, \%$	$H_2, \%$	$CO_2, \%$	$H_2O, \%$	$N_2$	$CH_4, \%$
	22,14...22,3 3	23,69...23,8 0	9,07...9,06	8,31...8,1 1	33,79...33,7 0	3,00
	Характеристики генераторного газа					
	Температура на выходе из газогенератора, $^{\circ}C$	Влажность, %	Содержание летучих, кг/кг пеллет	Нижшая теплотворность влажного газа $Q_{H,P}^R$ , МДж/м <sup>3</sup>	Высшая теплотворность влажного газа $Q_{H,P}^R$ , кДж/м <sup>3</sup>	Средняя теплоемкость газа при температуре 400 $^{\circ}C$ , кДж/м <sup>3</sup> · $^{\circ}C$
400	8,31...8,11	0,02	6,2-6,5	6,9...7,2	1,4	

Расчеты, которые входят в блоки 5 и 6, основываются на методике [8], а основные расчетные формулы представлены в табл. 3.

Важным параметром камеры газификации есть также схема образования воздушно-газовой решетки в слое насыпного материала.

Равномерная решетка дает возможность получить высокое качество генераторного газа и максимально приблизить практические характеристики объекта проектирования к расчетным показателям.

В зависимости от диаметра камеры газификации воздушно-газовая решетка может быть построена путем различных комбинаций, углубленных в слой топлива, фурм.

На рис. 2 представлено несколько схем расположения дутьевых фурм: а – периферийные прямые одинаковой длины; б – комбинация периферийных прямых обыкновенных с удлиненными; в – тангенциальные; г – единая центральная; д – множество центральных; е – комбинированная схема.

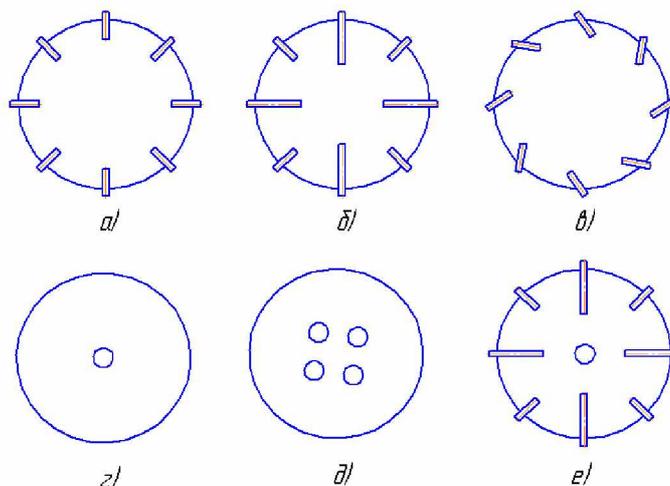


Рис. 2. Схемы установки фурм в камере газификации для газификации твердого топлива  
Fig. 2. The scheme, which illustrated the position of tuyeres in gasification chamber for solid fuels gasification

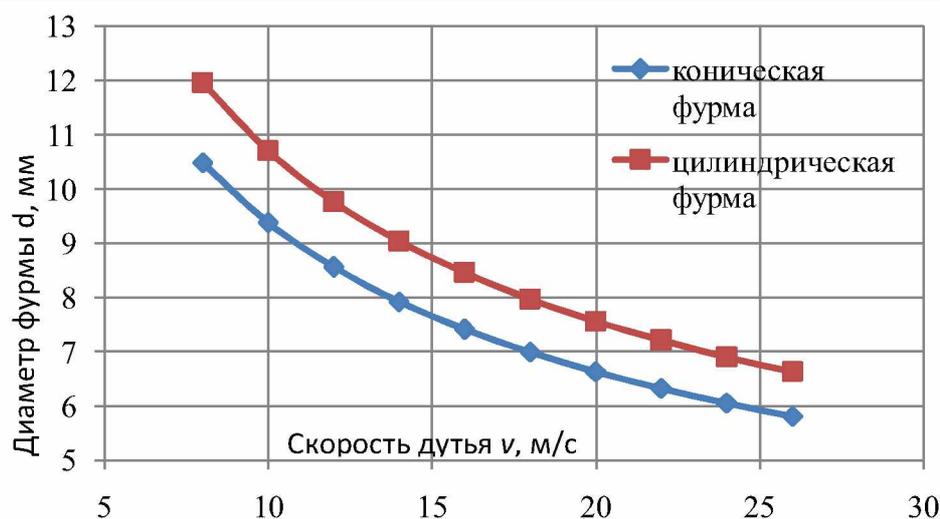


Рис. 3. Зависимость диаметра дутьевой фурмы от типа и скорости дутья

Fig. 3. The dependence of the blowing tuyere diameter from its type and speed of blowing

В основу построения этих схем принято положение о том, что при установленном коэффициенте порозности слоя pelletированной биомассы с длиной гранулы 10-18 мм, длина оси активной части воздушно-газовой протоки не превышает 30-35 мм, при установленной скорости воздуха в сопле

фурмы на холодное дутье 10-24 м/сек.

Определенное влияние на процесс газификации имеет также форма фурмы, от которой зависит скорость введения воздуха в зону горения и глубина проникновения его в слой материала.

Таблица 3. Формулы для расчетов  
Table 3. The formula for calculations

Название параметра	Расчетная формула
Диаметр фурменного пояса камеры газификации, м	$D_k = 0,83 \sqrt{\frac{V_{z.z.} \cdot Q_H^P \cdot (CO + CO_2 + CH_4)}{B \cdot [C^P - C_{n.y}]}}$
Диаметр горловины, м	$d_z = 0,83 \sqrt{\frac{V_{z.z.} \cdot Q_H^P \cdot (CO + CO_2 + CH_4)}{B \cdot m \cdot [C^P - C_{n.y}]}}$
Расстояние от фурменного пояса к горловине, м	$h_z = (0,33 \dots 0,37) \sqrt{\frac{V_{z.z.} \cdot Q_H^P \cdot (CO + CO_2 + CH_4)}{B \cdot [C^P - C_{n.y}]}}$
Количество фурм, шт	$n = \frac{\pi \cdot D_k}{l_\phi}$
Диаметр фурм, м	$d_\phi = 18,85 \sqrt{\frac{V_{nos}}{n \cdot \omega \cdot \varphi}}$
Часовой расход топлива, кг/час	$G_T = \frac{V_{z.z.} \cdot (CO + CO_2 + CH_4)}{1,867(C^P - C_{n.y})}$

Таблица 4. Результаты расчетов  
Table 4 The results of calculations

Название параметра	Обозначение	Размерность	Значения
Продуктивность по газу	$V_{в.г.}$	м <sup>3</sup> /год	125
Диаметр фурменного пояса камеры газификации	$D_k$	м	0,35
Диаметр горловины	$d_r$	м	0,175
Расстояние от фурменного пояса к горловине	$h_r$	м	0,14
Количество фурм	$n$	шт.	11
Диаметр фурм	$d_f$	м	0,009
Шаг установки фурм	$l_f$	м	0,100
Тепловое напряженное камеры	$B$	кДж/м <sup>2</sup> ·год	$9,2 \cdot 10^6$

Предложенный алгоритм определения параметров камеры газификации дает возможность учитывать параметры дутья и геометрию фурм. На рис. 3 представлено зависимость диаметра фурм от их геометрии (по двум основным типам – коническая и цилиндрическая) и необходимой скорости дутья.

Только после положительного результата расчета (4) возможен переход к анализу полученных параметров камеры газификации.

Результаты определения параметров камеры газификации согласно исходным данным, приведенным в таблицах 1 и 2, представлены в таблице 4. Указанные в таблице параметры камеры газификации есть основанием для создания экспериментального образца.

Следует отметить, что предложенная методика имеет определенные ограничения согласно геометрии проектируемого объекта, поскольку поперечные фурмы дают возможность наиболее рационально решить вопрос подачи воздуха в слой материала для диаметра камеры до 550 мм. Для построения воздушно-газовых решеток в камерах большего диаметра следует останавливаться на комбинированных системах, которые состоят из поперечных и вертикальных воздухопроводящих элементов.

#### ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Проведенные исследования позволили предложить алгоритм расчета основных параметров камеры газификации газогенера-

торной установки, настроенной в соответствии с конкретным сельскохозяйственным оборудованием.

2. Приведен пример расчета камеры газификации для энергообеспечения зерносушилки шахтного типа производительностью 2 т/час, рассчитана зависимость диаметра фурм от ее формы и необходимой скорости дутья, что поможет выбрать наиболее рациональные параметры для создания равномерной газо-воздушной сетки в фурменном сечении для камер газификации диаметром до 550 мм.

3. Выполнено обобщение схемы установки фурм в фурменном поясе камеры газификации.

4. На основании анализа типовых приемов проектирования можно рассуждать о параметрах, которые дают возможность подойти, с известной степенью вероятности, к расчетам по проектированию камеры для газификации пеллет из сырья растительного происхождения с последующим экспериментальным уточнением полученных данных.

5. Перспективой дальнейших исследований является наработка экспериментального материала по газификации пеллет, что предоставит исчерпывающие данные для оценки степени соответствия предложенной методики проведения расчетов камер газификации реальным условиям эксплуатации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cherevko G. 2006. Al'ternatywna energia tyka agropromyslowogo kompleksu Ukrainy // MOTROL. Commission of Motorization and

- Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 8A. 106-116.
2. Ginzburg A. S. 1985. Raschet i proektirovanie syshilnykh ustanovok pishchewoy promyshlennosti – M.: Agropromizdat. 336.
3. Ginzburg D. B. 1943. Teorija i raschet transportnykh gazogeneratorow / D.B. Ginzburg. – M. 178.
4. Golub G.A. 2011. Optimizacija parametrow mashyn ta obladnannja // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 13B. 15-19.
5. Golub G.A. 2010. Teplota zgorannja ta umowy spaluwannja solomu // Natsionalnyj naukowyj centr «Instytut mehanizaciji ta elektrifikaciji sil'skogo gospodarstwa» UAAN. – №8. 49-52.
6. Golubenko A.A. 2008. Al'ternatywni dze-rela energii: chy wrjatuut' wony Ukrainu wid energetychnoji zaleznosti ta ekologichnoji katastrofy // Wisnyk DAEU. №1. 111-119.
7. Golubenko A.A. 2009. Standartyzacija – osnowa stanowlennja biomasy jak paluwa // Wisnyk Inzenernoji akademiji Ukrainu. №1. 217-223.
8. Judushkin N.G. 1955. Gazogeneratoruje traktoru. – M.: Mashgiz. 244.
9. Kollerow L.K. 1951. Gazomotornye ustanowki : Mashgiz. 239.
10. Lebedew P.D. 1962. Raschet i proektirowanije sushil'nykh ustanovok – M.: - L.: Gose-nergoizdat. 320.
11. Mezin I.S. 1948. Transportnyje gazogeneratory –. M.: Sel'khozgiz. 311.
12. Podznojew G. 2009. Wozmoznosti regeneracii teploty w termodinamicheskom cykle dizelja // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 11A. 272-277.
13. Romanyshin O. 2009. Pidwyshehnja efektywnosti procesiw gazyfikacii konstruktywnum udoskonalennjam kamer gazufikacii // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 11A. 42-45.
14. Samulin A. A 2007. Perspektywy wykorzystannja biomasy jak palywa // Wisn. DAU. – №1. 171-177.
15. Samulin A.A. 2009. Suchasni energoefektywni tekhnologiji wykorzystannja widkhodiw biomasy w sil'skomu, lisowomu ta komunalnomu gospodarstwakh // Wisn. ZNAEU. – №1. 269-276
16. Tokarew G.G. 1955. Gazogeneratornyje awtomobili. – M.: Mashgiz. 207.
17. Zownir M. 2007. Soloma obigrije sela // Agrosector. № 5. 28-31.

**DETERMINATION OF THE BASIC PARAMETERS OF GAS-GENERATOR CHAMBER FOR GASIFICATION RAW MATERIALS OF VEGETABLE ORIGIN**

**Summary.** The method of the gas-generator's gasification chamber calculations for energy supply of grain dryers is done. The algorithm of determination the basic parameters of the gasification chamber is designed, its calculation for grain dryer of shaft type with productivity 6 ton/hour is performed. The main rational schemes of blowing tuyeres' establishing in the gasification chamber for solid fuels of vegetable origin to get the qualitative and stabilized according to technological parameters generator gas are proposed. The dependence of blowing gases' speed from the given tuyeres' type and construction is established. The calculations of the main parameters of gasification chamber according the algorithm are done.

**Key words:** grain dryer, gasification chamber, generator gas, solid fuels of vegetable origin.