

УДК 631.371

UDC 631.371

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА
БЕСКОНТАКТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**FEATURES OF CALCULATION OF THE NON-
CONTACT ELECTRIC POWER GENERATORS**

Квитко Андрей Викторович
старший преподаватель,
9061870011@mail.ru, SPIN-код: 4151-8088

Kvitko Andrey Viktorovich
senior lecturer
9061870011@mail.ru, RSCI SPIN-code: 4151-8088

Петренко Юрий Мухаметович
магистр, grigorasch61@mail.ru

Petrenko Yuriy Muhametovich
master degree student, grigorasch61@mail.ru

Тарасов Максим Михайлович
студент, grigorasch61@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный универси-
тет, Краснодар, Россия*

Tarasov Maksim Mikhailovich
student, grigorasch61@mail.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье показано, что для улучшения характери- стик автономных систем необходимы новые ме- тоды и принципы их конструирования, связан- ные как с применением возобновляемых источни- ков, так и с применением новых технических ре- шений электромеханических генераторов и стати- ческих стабилизаторов и преобразователей пара- метров электроэнергии. Раскрываются современ- ные требования к генераторам электроэнергии, а также особенности расчёта параметров бескон- тактных генераторов электроэнергии: асинхронных генераторов емкостного возбуждения и асинхрон- ных генераторов с постоянными магнитами. При- ведены аналитические выражения для расчёта электрических потерь и КПД генераторов, удель- ной массы и мощности. Показано, что целесооб- разно проектирование бесконтактных генераторов электроэнергии осуществлять в составе автоном- ных систем электроснабжения, поскольку иногда выгоднее занизить основные критерии эффек- тивности генераторов, для того чтобы улучшить, к примеру, массогабаритные показатели статиче- ских преобразователей. Сделан вывод о том, что для повышения эффективности проектирования бесконтактных генераторов электроэнергии на начальных этапах проектирования необходимо проводить предварительную оценку основных критериев эффективности бесконтактных электри- ческих машин. Рассмотренные в статье аналитиче- ские выражения могут использоваться для предва- рительной оценки возможностей применения раз- личных типов бесконтактных генераторов в соста- ве автономных систем электроснабжения с учётом условий эксплуатации

The article shows that to improve the performance of autonomous systems we need new methods and prin- ciples of their design, associated with both the use of renewable sources and the application of new technical solutions of electromechanical generators and static stabilizers and inverters electric power settings. We have disclosed modern requirements for generators of electric power, as well as features of calculating the parameters of contactless electrical power generators: asynchronous generators capacitive excitation and asynchronous generators with permanent magnets. The article presents some analytical expressions for calcu- lating the electrical losses and the efficiency of the generators, specific weight and power. It is shown, that expedient to designing contactless electrical power generators to carry out as part of the autonomous elec- tricity supply systems, as it is sometimes advantageous to understate the main criteria of efficiency of genera- tors, in order to improve, for example, weight and overall dimensions of static converters. The conclusion is made that in order to improve the efficiency of de- signing contactless electrical power generators in the early stages of designing it is necessary to carry out a preliminary assessment of the main criteria of efficien- cy of contactless electrical machines. We have also discussed analytical expressions, which might be used for preliminary evaluation of application features for various types of contactless generators in the stand- alone electricity supply systems taking into account the conditions of use

Ключевые слова: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧ- НИКИ ЭНЕРГИИ, АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, БЕСКОНТАКТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, АСИН- ХРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ, СИНХРОННЫЕ ГЕ-

Keywords: RENEWABLE ENERGY, INDEPEND- ENT POWER SUPPLY SYSTEM, NONCONTACT ELECTRIC POWER GENERATORS, INDUCTION GENERATORS, SYNCHRONOUS GENERATORS

ГЕНЕРАТОРЫ

Перспективы возобновляемых источников энергии (ВИЭ), применяемых в составе автономных систем электроснабжения (АСЭ) очевидны, и известно также, что эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ) автономных систем в основном зависят от характеристик генераторов электроэнергии [1, 2]. В настоящее время автономная электроэнергетика предъявляет следующие основные требования к генераторам электроэнергии АСЭ [3, 14]:

- высокая надежность работы, в том числе ресурс, и КПД;
- высокая стабильность и точность поддержания параметров электроэнергии в условиях действия таких дестабилизирующих факторов, как переменная частота вращения приводного двигателя (ветроколеса ветроэлектрической установки, турбины гидроэлектростанции и т. п.), изменяющаяся величина и характер нагрузки;
- минимальная стоимость и эксплуатационные расходы;
- минимальная масса и габариты при растущей потребности увеличения установленной (расчетной) мощности;

Для улучшения характеристик АСЭ необходимы новые методы и принципы их конструирования, связанные как с применением ВИЭ, так и с применением новых технических решений электромеханических генераторов и статических стабилизаторов и преобразователей параметров электроэнергии [4, 5, 11, 13].

Перспективным является направление применения в составе АСЭ бесконтактных генераторов электроэнергии (БГЭ), которыми являются асинхронные генераторы с емкостным возбуждением (АГ) и синхронных генераторов с постоянными магнитами (СГПМ) [2, 14].

Основными преимуществами БГЭ в сравнении с известными техническими решениями генераторов электроэнергии являются:

- повышенные показатели надежности и соответственно повышенный ресурс непрерывной работы (в несколько раз превышающий ресурс работы контактных генераторов электроэнергии);
- повышенные значения КПД на 5 – 10%;
- относительно небольшая масса и габариты, за счет повышенных механических, электромагнитных и тепловых нагрузок.

Важная особенность работы и основным недостатком АГ и СГПМ в сравнении с генераторами с электромагнитным возбуждением является сложность регулирования и стабилизации выходного напряжения. Однако принципы и технические решения стабилизаторов напряжения АГ аналогичны с СГПМ, т.е. стабилизация напряжения осуществляется за счет регулирования реактивной мощности, поступающей в генераторы от конденсаторов. Изменение реактивной мощности конденсаторов осуществляется за счет изменения реактивного тока, протекающего через конденсаторы, пропорционально изменению напряжения путем изменения времени открытого состояния силовых полупроводниковых ключей, которые к конденсаторам подключаются последовательно или параллельно. Здесь перспективным направлением является применение в качестве стабилизатора параметров электроэнергии БГЭ (напряжения и частоты тока) непосредственных преобразователей частоты [6]. Другим перспективным направлением является применение в составе АСЭ статических преобразователей и стабилизаторов, выполненных с использованием трансформаторов с вращающимся магнитным полем [7, 8, 10, 12, 14].

При разработке БГЭ необходимо учитывать некоторые особенности их расчёта, которые рассматриваются в статье.

Важной характеристикой БГЭ являются их потери энергии и соответственно КПД. Известно, потери электрической энергии в электрических машинах разделяются на основные и добавочные. Добавочные потери это потери, вызванные действием высших гармоник МДС, колебаниями ин-

дукции вследствие зубчатого строения статора и другими причинами. Как правило, для генераторов мощности, которая находится в пределах от 50 до 500 кВт, добавочные потери $\Delta P_{доб}$ принимают равными 0,5% мощности машины. Основные потери БГЭ состоят из электрических потерь в обмотке статора, магнитных потерь статора (потерь в электротехнической стали), механических потерь и поверхностных потерь [2].

Исходными данными для расчета электрических потерь и КПД БГЭ на этапе проектирования должны быть: мощность генератора – S ; номинальное напряжение – U_n ; частота вращения ротора – n ; число пар полюсов – p ; число зубцов статора – Z ; геометрический фактор – λ ; внутренний диаметр статора генератора – D ; плотность тока в обмотке статора – j_l ; значения параметров электромагнитной нагрузки A и B_δ ; коэффициент мощности нагрузки – $\cos \varphi_n$.

Электрические потери в обмотке статора

$$\Delta P_{эл} = m I_1^2 r_1, \quad (1)$$

где r_1 – активное сопротивление обмотки статора.

Рабочий ток фазы в обмотке статора

$$I_1 = S / m U_n. \quad (2)$$

Для определения активного сопротивления r_1 необходимо определить число витков в обмотке статора W_1 , сечение провода обмотки q_1 и среднее значение длины витка $l_{ср}$.

Число витков обмотки

$$W_1 = \frac{U_n}{\sqrt{2} \pi u k_{об} f B_\delta \alpha_p \tau l}, \quad (3)$$

где $u \approx 0,7 \dots 0,9$ – коэффициент, учитывающий относительное снижение напряжения на нагрузке; $B_\delta \approx 0,8$ Тл – магнитная индукция в воздушном зазоре.

Подставив в (3) значения коэффициентов и с учетом, что $f = pn/60$, $\tau = \pi D/(2p)$ получится формула для определения числа витков

$$W_1 = \frac{17,5U_n}{nB_\delta D l}, \quad (4)$$

Сечение провода обмотки статора

$$q_1 = I_1 / a_1 j_1, \quad (5)$$

где a_1 – число параллельных ветвей обмотки фазы.

Среднее значение длины витка обмотки

$$l_{cp} \approx 2,5(1,9D + l). \quad (6)$$

Тогда с учетом (4) и (5) активное сопротивление обмотки можно определить по формуле

$$r_1 = \frac{\rho_m W_1 l_{cp}}{q_1 \cdot 10^{-6}}, \quad (7)$$

где $\rho_m = 24,4 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ - удельное сопротивление меди.

Магнитные потери в статоре

$$\Delta P_{cm} \approx 2\rho_c B_c^2 (f/400)^{1,5} M_c, \quad (8)$$

где ρ_c – удельные потери в электротехнической стали ($2 - 5 \text{ Вт/кг}$); $B_c \approx (1,2 - 1,6) \text{ Тл}$ – магнитная индукция стали; M_c – масса стали статора.

Приближенно масса стали может быть определена по формуле

$$M_c \approx \frac{\pi}{4} m_c k_n l (D_n^2 - D^2), \quad (9)$$

где $m_c = 7800 \text{ кг/м}^3$ - удельная масса стали; $k_n \approx 0,8 - 0,9$ – коэффициент, учитывающий объем паза статора; $D_n = k_D D$ – наружный диаметр статора генератора; $k_D = 1,3 - 1,9$ – коэффициент, зависящий в основном от числа полюсов генератора.

Механические потери $\Delta P_{\text{мех}}$ определяются потерями на трение в подшипниках и потерями на вентиляцию, при использовании вентилятора определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{мех}} \approx 3,68 \cdot 10^3 p \left(\frac{g_{\text{max}}}{40} \right)^3 \sqrt{l}, \quad (10)$$

Поверхностные потери ΔP_n в наружном цилиндре ротора возникают из-за колебания индукции вследствие зубчатого строения статора

$$\Delta P_n \approx 23\pi D l \alpha_p n^{1,5} (D\pi B_o)^2 / \sqrt{Z}, \quad (11)$$

где $B_o \approx (0,2 - 0,3) \text{ Тл}$.

Подставив в (11) известные значения коэффициентов получим

$$\Delta P_n \approx 18,26 D^3 l \cdot n^{1,5} / \sqrt{Z}. \quad (12)$$

Как видно из формул (8) – (12) потери в БГЭ в основном определяют размеры активной части генератора D и l , которые в основном зависят от значений S и n .

Тогда коэффициент полезного действия генератора

$$\eta = \frac{S \cos \varphi_n}{S \cos \varphi_n + \sum \Delta P}, \quad (13)$$

где $\sum \Delta P = \Delta P_{\text{доб}} + \Delta P_{\text{эл}} + \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_n$ – сумма всех потерь генератора.

Следующими немаловажными показателями БГЭ являются удельная масса и предельная мощность.

Полную массу генератора M можно выразить через массу активных материалов M_A , как $M = k_k M_A$, где $k_k = 1,4-1,7$ – конструктивный коэффициент, учитывающий массу конструктивных элементов (подшипниковых щитов, корпуса и т.п.). В свою очередь масса активных материалов

$$M_A = (\gamma k_\gamma \pi D_H^2 l) / 4, \quad (14)$$

где $\gamma \approx 8000 \text{ кг/м}^3$ - средняя плотность активных материалов на статоре и роторе; $k_\gamma \approx 0,8$ - коэффициент плотности, характеризующий заполнение машины активными материалами на длине; D_H и l – наружный диаметр и длина воздушного зазора активной части машины.

При получении уравнения (14) сделаны допущения, что объем активных материалов, расположенных за пределами длины l , к примеру, лобовых частей обмоток, частично компенсирует различные полости в статоре и роторе на длине l .

С учетом, что размер активной части машины характеризуется коэффициентом $\lambda = l/D$, то массу БГЭ можно определить по формуле

$$M = 0,79k_\kappa k_D^2 k_\gamma \lambda D^3, \quad (15)$$

где $k_D = D_H/D$ – коэффициент, зависящий от числа пар полюсов генератора, для $p = 2-4$, $k_D = 1,3-1,6$; D – внутренний диаметр активной части машины.

Есть ограничения для БГ на геометрический фактор λ , входящий в уравнение (15), которые связаны в первую очередь с характером замыкания магнитного потока. СГПМ и АГ имеют радиальный поток. Для машин с радиальным потоком ограничения на величину λ определяются главным образом прочностными требованиями, и λ может меняться в относительно широких пределах. Однако существует рациональное значение λ , зависящее от числа пар полюсов генератора и для синхронных машин $\lambda \approx 0,8 p^{-0,5}$, а для асинхронных машин $\lambda \approx 1,6 p^{-2/3}$.

Тогда с учетом (14) и (15) удельная масса генератора

$$m_p = (0,79k_\kappa k_D^2 k_\gamma \gamma) / (kAB_\delta n), \quad (16)$$

где $B_\delta \approx 0,5-1 \text{ Тл}$ – магнитная индукция в зазоре имеет характерные значения и не может быть существенно увеличена из-за чрезмерного насыщения стали в зубцовой зоне статора; A – величина линейной нагрузки гене-

ратора, т.е. величина тока, приходящегося на единицу длины окружности зазора машины

$$A = N I_1 / (\pi D), \quad (17)$$

где $N = 2W_{1m}$ – полное число проводников обмотки статора.

Из уравнения (16) следует вывод, что для снижения удельной массы БГЭ необходимо, во-первых, минимизировать произведение $k_D^2 k_\gamma \gamma$, что связано с реализацией оптимальных конструктивных исполнений машины, а во-вторых, иметь максимально допустимые электромагнитные нагрузки A и B_δ и частоты вращения n .

Если БГЭ предназначены для работы с предельными механическими нагрузками, то внутренний диаметр активной части машины будет определяться по формуле

$$D = \sqrt{\frac{S}{\pi \alpha \lambda A B_\delta \vartheta_{\max}}}, \quad (18)$$

где $\alpha \approx 0,64$ – расчетный коэффициент полюсного перекрытия; v_{\max} – предельная окружная скорость

$$v_{\max} = \frac{\pi D n_{\max}}{60}, \quad (19)$$

где n_{\max} – предельно допустимые значения частоты вращения

$$n_{\max} = \frac{C_{II}}{D^\nu}, \quad (20)$$

где C_{II} – постоянная, определяемая прочностными свойствами материала ротора; ν – показатель, зависящий от его конструктивного исполнения и для БГЭ, которые имеют повышенную прочность бандажа $\nu \approx 1$.

В соответствии с рассмотренными формулами получаем значения минимальной удельной массы БГЭ при максимальных оборотах

$$m_{P_{\min}} = [1,4 k_D^2 k_\gamma \gamma (S / \pi \lambda)^{1/2}] / [4 (\alpha_p A B_\delta v_{\max})^{3/2}], \quad (21)$$

$$n_{\max} = 60(v_{\max})^{3/2} [\alpha_p \lambda AB_{\delta} / (\pi S)]^{1/2}. \quad (22)$$

Как видно из рассмотренных формул с ростом расчетной мощности S максимальная частота вращения n_{\max} уменьшается, а значение удельной массы m_{pmin} может увеличиваться. Эти закономерности проявляются при достаточно слабой зависимости AB_{δ} от S , что обычно имеет место для генераторов средней мощности.

Рассмотренные выше аналитические выражения могут использоваться для предварительной оценки возможностей применения различных типов БГЭ в определенных условиях эксплуатации.

По заданной скорости v_{\max} , непосредственно связанной с допустимыми механическими нагрузками в роторе, можно оценить предельные мощности БГЭ.

Формула для определения предельной мощности БГЭ имеет вид

$$S_{np} = (k_B k_{o\delta} \alpha_p 60^2 / \pi) \lambda AB_{\delta} (v_{\max}^3 / n^2). \quad (23)$$

На этапе проектирования, с учетом рассмотренных формул, можно построить графики зависимости предельной мощности S_{np} от n_{\max} и определить массогабаритные показатели БГЭ.

Удельная масса БГЭ, работающих с предельными окружными скоростями, может возрастать с увеличением их размеров и может возникнуть ситуация, когда вместо одного генератора с повышенной мощностью целесообразно иметь две машины с той же суммарной мощностью. Это связано с тем, что при фиксированной скорости v_{\max} по мере увеличения диаметра активной части машины D приходится снижать n и возрастание мощности S согласно (24) происходит медленнее, чем увеличение массы.

$$S = knAB_{\delta} \lambda D^3, \quad (24)$$

где $k = (k_B k_{o\delta} \pi^2 \alpha) / 60$.

Кроме того, как видно из (23) чем больше частота вращения n , тем меньше предельная мощность генератора. Это очевидно с физической точки зрения, так как увеличение частоты вращения при заданной линейной скорости должно сопровождаться уменьшением размеров электрической машины.

Целесообразно проектирование БГЭ осуществлять в составе АСЭ, поскольку иногда выгоднее занизить основные критерии эффективности БГЭ, для того чтобы улучшить, к примеру, массогабаритные показатели статических преобразователей в целом, за счет повышенной частоты генерируемого напряжения БГЭ, которая получается путем увеличения числа пар полюсов генератора [9].

Таким образом, для повышения эффективности проектирования БГЭ на начальных этапах проектирования необходимо проводить предварительную оценку основных критериев эффективности бесконтактных электрических машин. Рассмотренные аналитические выражения раскрывают характерные особенности расчёта БГЭ.

Список литературы

1. Григораш О.В., Коваленко В.П., Воробьев Е.В., Власов В.Г. Перспективы возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае. Труды КубГАУ. – Краснодар, 2012, № 6, с.159-163.
2. Григораш О.В., Божко С.В., Попов А.Ю. и др. Автономные источники электроэнергии: состояние и перспективы. Краснодар. 2012. С.174.
3. Григораш О.В. Асинхронные генераторы в системах автономного электроснабжения. Электротехника. 2002. № 1. С 30-34.
4. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Краснодар. 2005. С. 306.
5. Григораш О.В., Дацко А.В., Мелехов С.В. К вопросу электромагнитной совместимости узлов САЭ. Промышленная энергетика. 2001. № 2. С.44-47.
6. Григораш О.В., Квитко А.В., Алмазов В.В. и др. Непосредственный трехфазный преобразователь частоты с естественной коммутацией. Патент на изобретение RUS 2421867, 12.05.2010.
7. Григораш О.В. Преобразователи электрической энергии на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем для систем автономного электроснабжения. Промышленная энергетика. 1997. № 7. С.21-26.
8. Григораш О.В., Кабанков Ю.А. К вопросу применения трансформаторов с

вращающимся магнитным полем в составе преобразователей электроэнергии. Электротехника. 2002. № 3. С.22-26.

9. Богатырев Н.И., Григораш О.В. Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчёта и проектирования. – Краснодар, 2002, с. 358.

10. Григораш О.В., Степура Ю.П., Квитко А.В. Структурно-параметрический синтез автономных систем электроснабжения. Ползуновский вестник. 2011. № 2-1. С.71-75.

11 Григораш О.В., Гарькавый К. А., Квитко А.В., и др. Устройство стабилизации напряжения и частоты ветроэнергетической установки. Патент на изобретение RUS 2443903. 12.05.2010.

12. Григораш О.В., Попов А.Ю., Квитко А.В. и др. Удельная масса и предельная мощность бесконтактных генераторов электроэнергии. Труды КубГАУ. – Краснодар, 2011, № 29, С.198 –202.

13. Григораш О.В., Квитко А.В., Хамула А.А. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 08. С. 207.

14. Григораш О. В. Статические преобразователи электроэнергии систем автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей: дис. ... д-ра техн. наук. / О. В. Григораш; КубГАУ. – Краснодар, 2003. – 338 с.

References

1. Grigorash O.V., Kovalenko V.P., Vorob'ev E.V., Vlasov V.G. Perspektivy vobnovljaemyh istochnikov jenerгии v Krasnodarskom krae. Trudy KubGAU. – Krasnodar, 2012, № 6, s.159-163.

2. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Popov A.Ju. i dr. Avtonomnye istochniki jelektrojenerгии: sostojanie i perspektivy. Krasnodar. 2012. S.174.

3. Grigorash O.V. Asinhronnye generatory v sistemah avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Jelektrotehnika. 2002. № 1. S 30-34.

4. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2005. S. 306.

5. Grigorash O.V., Dacko A.V., Melehov S.V. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestimosti uzlov SAJe. Promyshlennaja jenergetika. 2001. № 2. S.44-47.

6. Grigorash O.V., Kvitko A.V., Almazov V.V. i dr. Neposredstvennyj trehfaznyj preobrazovatel' chastoty s estestvennoj kommutaciej. Patent na izobretenie RUS 2421867, 12.05.2010.

7. Grigorash O.V. Preobrazovатели jelektricheskoy jenerгии na baze transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem dlja sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija. Promyshlennaja jenergetika. 1997. № 7. S.21-26.

8. Grigorash O.V., Kabankov Ju.A. K voprosu primenenija transformatorov s vrashhajushhimsja magnitnym polem v sostave preobrazovatelej jelektrojenerгии. Jelektrotehnika. 2002. № 3. S.22-26.

9. Bogatyrev N.I., Grigorash O.V. Kurzin N.N. i dr. Preobrazovатели jelektricheskoy jenerгии: osnovy teorii, raschjota i proektirovanija. – Krasnodar, 2002, s. 358.

10. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Kvitko A.V. Strukturno-parametricheskij sintez avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija. Polzunovskij vestnik. 2011. № 2-1. S.71-75.

11 Grigorash O.V., Gar'kavyj K. А., Kvitko A.V., i dr. Ustrojstvo stabilizacii naprjazhenija i chastoty vetrojenergeticheskoy ustanovki. Patent na izobretenie RUS 2443903. 12.05.2010.

12. Grigorash O.V., Popov A.Ju., Kvitko A.V. i dr. Udel'naja massa i predel'naja

moshnost' beskontaktnyh generatorov jelektroenergii. Trudy KubGAU. – Krasnodar, 2011, № 29, S.198 –202.

13. Grigorash O.V., Kvitko A.V., Hamula A.A. Resursy vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии Krasnodarskogo kraja. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 08. S. 207.

14. Grigorash O. V. Statische preobrazovateli jelektroenergii sistem avto-nomnogo jelektrosnabzhenija sel'skohozjajstvennyh potrebitel'ej: dis. ... d-ra tehn. na-uk. / O. V. Grigorash; KubGAU. – Krasnodar, 2003. – 338 s.