

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ТЕПЛИЧНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Зиганшин Б.Г.

**Реферат.** Тепловой режим растений определяет температура внешней среды, испарение влаги растениями, нагрев растений излучением от облучательных установок. На сегодняшний день перспективны для замены облучателей с натриевыми лампами с позиции энергоэффективности индукционные и светодиодные тепличные облучатели. Экспериментальные исследования проводили с целью оценки возможности приближения облучателей с индукционными лампами и светодиодных облучателей к растениям для повышения уровня их облучения, в сравнении с натриевыми источниками излучения. При постановке эксперимента использовали комплекс, включающий тепловизор Fluke ti32, линейный автотрасформатор РНО-250-2-М, источник питания переменного тока 220В, тепличный облучатель. Обработку результатов измерений проводили в программе SmartView 3.1 компании Fluke. Температуру нагрева определяли при выходе на номинальный режим, при номинальном режиме работы облучателей, при изменении уровня питающего напряжения. Натриевые и индукционные облучатели нагреваются до максимальной температуры в 10 раз быстрее, чем светодиодные. Температура нагрева оптических источников облучения с натриевыми лампами в 5 раз выше, чем светодиодных и в 2,5 раза выше, чем индукционных. Изменение уровня питающего напряжения влияет на температуру нагрева натриевого облучателя с электромагнитной ПРА, температура нагрева натриевых и индукционных облучателей с электронной ПРА, а также светодиодных облучателей остается неизменной и равной номинальному значению при уровне питающего напряжения  $\pm 10\%$  от  $U_{ном}$ . Низкие температуры нагрева индукционных и светодиодных облучателей позволяют уменьшить высоту их подвеса и приблизить к растениям, что позволит увеличить облученность растений благодаря повышению уровня освещенности или снизить мощность облучателей, то есть увеличить энергоэффективность облучательных систем.

**Ключевые слова:** натриевые облучатели, индукционные облучатели, светодиодные облучатели, температура нагрева.

**Введение.** Важные факторы, влияющие на урожайность продукции в теплицах, – освещение и температура. Тепловой режим растений определяют температура внешней среды, испарение влаги растениями, нагрев растений излучением [1, 2, 3]. При температурах фотосинтезирующих органов растений выше оптимальных возможна их деградация и загнивание [4, 5, 6]. Результаты исследований, проведенных на тепличных облучателях с натриевыми лампами [7], показали, что снижение температуры нагрева источника света позволяет уменьшить высоту подвеса облучателей и приблизить их к растениям, что открывает возможности для увеличения облучения растений или снижения мощности тепличных облучателей, то есть повышения энергоэффективности системы облучения. На сегодняшний день с позиции энергоэффективности для замены облучателей с натриевыми лампами перспективны индукционные и светодиодные тепличные облучатели [8,9,10].

Цель исследования – оценка возможности приближения индукционных и светодиодных тепличных облучателей к растениям для повышения уровня их облучения, в сравнении с натриевыми источниками излучения.

**Условия, материалы и методы исследований.** Объект исследования – облучательные установки (ОБУ) марки ЖСП с натриевыми лампами высокого давления ДНаТ и натриевыми лампами высокого давления с зеркальным отражателем ДНаЗ, облучатель марки SO0301 с индукционными лампами ЛВД, све-

одиодные облучатели марок ДСО-16 и ОТС-0,1. Для измерения температуры нагрева ОБУ использовали комплекс, включающий следующие компоненты: 1 – тепловизор Fluke ti32, 2 – линейный автотрасформатор РНО-250-2-М, 3 – источник питания переменного тока 220В, 4 – тепличный облучатель (рисунок 1).

Обработку результатов проводили в программе SmartView 3.1 компании Fluke. Измерение температуры нагрева осуществляли при выходе на номинальный режим, при номинальном режиме работы, при изменении уровня питающего напряжения.

**Анализ и обсуждение результатов исследований.** На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что

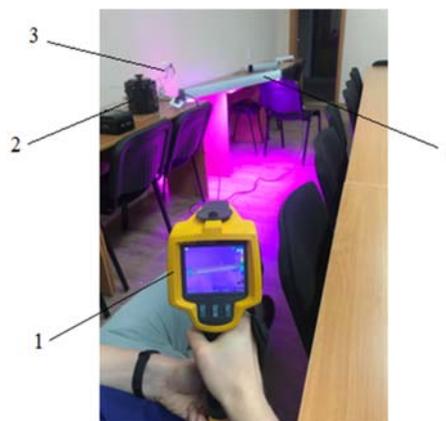


Рисунок 1 – Исследовательский комплекс для измерения температуры нагрева облучательных установок

разрядные (натриевые и индукционные) источники оптического излучения нагреваются до максимальной температуры быстрее, чем светодиодные (табл. 1).

Время нагрева ОБУ ЖСП с лампами ДНаЗ и ДНаТ до максимальной температуры составляет около 12 мин. независимо от мощности (рисунок 2). Для ДНаЗ мощностью 400 Вт она составила 270,2 °С, для ДНаТ мощностью 250 Вт – 261,3 °С. На термограмме облучателя ЖСП с лампой ДНаЗ видно, что распределение температуры нагрева по лампе не равномерно (рисунок 3). Максимальная величина этого показателя отмечена между электродами. Температура колбы в верхней части, в которой находится зеркальный отражатель, составляет 100 °С, в нижней – 250 °С.

Время нагрева ОБУ SO0301 с индукционной лампой ЛВД до максимальной температуры также составляет около 12 мин. (рисунок 4). Для ЛВД мощностью 200 Вт максимальная температура нагрева составила 100,2 °С, что меньше, чем для лампы ДНаТ мощностью 250 Вт, в 2,5 раза. Максимальную температуру нагрева облучателя SO0301 с индукционной лампой ЛВД наблюдали в районе размещения индуктора (рисунок 5). Температура колбы в на внутренней части составляла 85...90 °С, на внешней – 70...75 °С.

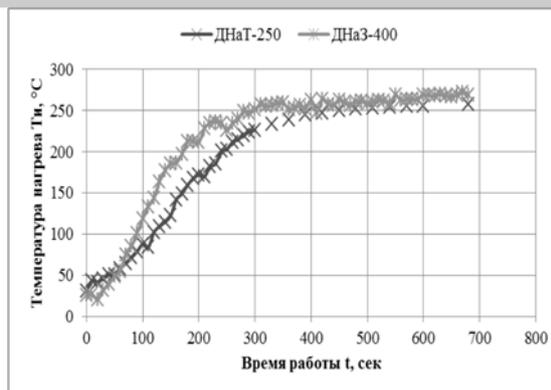


Рисунок 2 – Температура нагрева ОБУ ЖСП с лампами ДНаЗ и ДНаТ

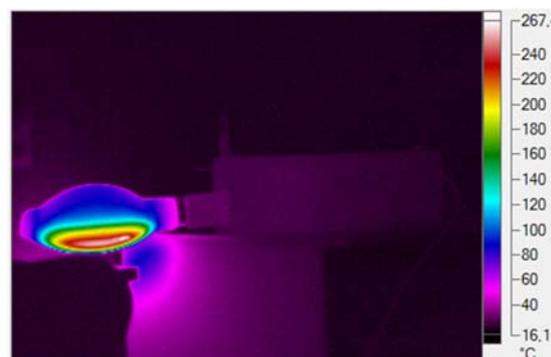


Рисунок 3 – Термограмма ОБУ ЖСП с лампой ДНаЗ.

Таблица 1 – Температура нагрева источников (Ti) оптического излучения, °С

Время (t), с	Источник оптического излучения				
	ДСО	SO0301	ЖСП с ДНаЗ	ЖСП с ДНаТ	ОТС-0,1
0	25,5	25,3	26,3	31,2	26,9
10	25,8	30,7	26,4	43,4	26,9
20	25,7	34,7	20,9	41,9	26,9
30	25,7	39,0	31,8	46,1	27,0
40	25,7	41,5	39,6	50,5	27,2
50	25,8	45,2	49,0	51,0	27,2
60	25,8	47,1	55,5	58,6	27,3
120	25,9	63,0	143,3	102,0	28,8
240	26,8	77,1	235,0	200,8	28,2
250	26,7	77,9	225,9	203,0	29,5
260	26,8	78,8	234,4	211,5	29,2
270	27,1	79,2	239,3	215,2	30,0
280	27,3	80,3	249,4	219,9	30,2
290	27,6	80,9	247,2	224,2	32,0
300	27,8	83,0	250,9	226,4	30,3
360	29,3	89,7	251,5	238,7	33,2
390	29,9	91,9	252,2	244,7	33,3
420	30,7	93,3	264,2	247,1	34,8
450	31,3	93,0	262,5	250,4	35,7
480	32,7	94,6	260,4	251,8	36,2
510	33,0	94,4	260,8	253,1	37,1
540	33,6	95,2	258,6	254,3	39,2
570	33,9	95,7	263,9	255,1	38,9
600	34,3	95,9	268,6	255	39,6
680	35,2	100	269,2	257,4	41,6
14400	38,2	100,2	270,2	261,3	50,4
28800	41,4	99,7	269,3	260,4	53,4

Время нагрева до максимальной температуры светодиодных облучательных установок достигает 120 мин. (рисунок 6). Для ОБУ ДСО-16 мощностью 30 Вт она составила 41,6 °С, для ОТС-0,1 мощностью 100 Вт – 53,4 °С, что меньше температуры нагрева ОБУ с лампами ДНаТ и ДНаЗ в 5 раз, по сравнению с индукционной лампой ЛВД – в 2 раза. Поскольку номинальная мощность светодиодного облучателя увеличивается с ростом числа светодиодов, можно предположить, что для исследованных источников при большей мощности температура будет сопоставимой. Распреде-

она отличается от температуры других частей облучателя не более чем на 1 °С.

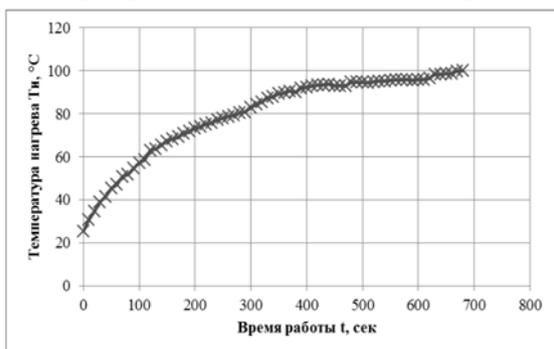


Рисунок 4 – Температура нагрева ОБУ SO0301 с индукционной лампой ЛВД

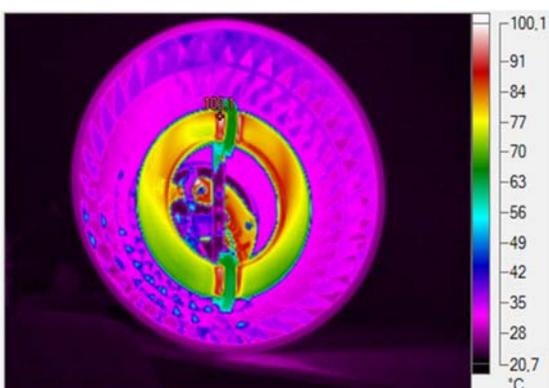


Рисунок 5 – Термограмма ОБУ SO0301 с индукционной лампой ЛВД

ние температуры нагрева по облучателю достаточно равномерно (рисунок 7). Это обусловлено алюминиевой конструкцией, обеспечивающей хороший теплоотвод от кристаллов диодов. Максимальная температура нагрева светодиодных облучательных установок отмечена в районе размещения светодиодов. Но

Таблица 2 – Температура нагрева источников (Тн) оптического излучения при изменении питающего напряжения, °С

Напряжение питания (Uп), В	Источник оптического излучения			
	ДСО	SO0301	ЖСП с ДНаЗ	ОТС-0,1
198	41,1	100,0	252,1	52,8
220	41,6	100,2	271,6	53,4
242	41,9	100,7	298,6	53,5

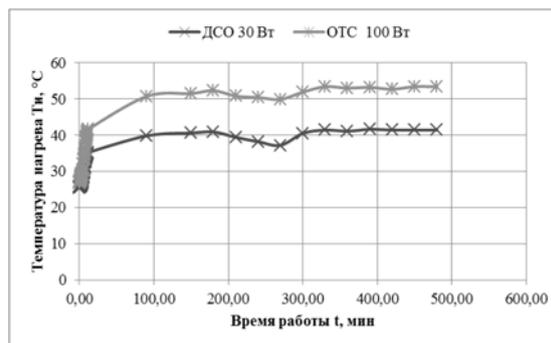


Рисунок 6 – Температура нагрева светодиодных ОБУ

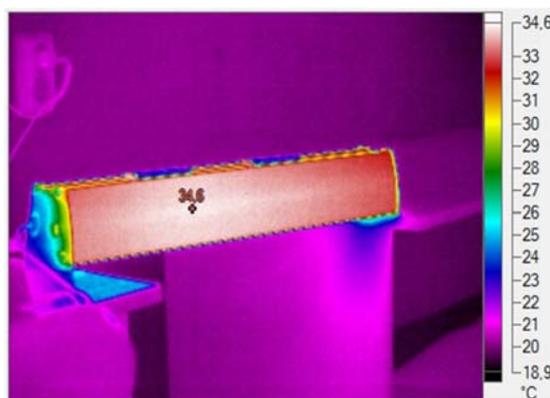


Рисунок 7 – Термограмма светодиодного ОБУ ДСО-16

Согласно результатам исследований (табл. 2), температура нагрева для облучателей с электронной пускорегулирующей аппаратурой (ПРА) и разрядными лампами, а также светодиодных облучателей остается неизменной (колебания в пределах 1 %) при уровне питающего напряжения ±10 % от Uном. Изменение уровня питающего напряжения влияет на температуру нагрева только облучателя ЖСП с электромагнитной ПРА и лампой ДНаЗ (рисунок 8).

Математическое выражение зависимости максимальной температуры нагрева Tmax источника оптического излучения от уровня питающего напряжения для натриевого облучателя с ЭмПРА имеет вид:

$$T_{\max} = 0,85 \cdot K_U + 0,15, R^2 = 0,9914 \quad (1)$$

где  $K_U = U_{\phi} / U_{\text{ном}}$  – изменение уровня питающего напряжения, о.е.;

$U_{\phi}$  – фактическое напряжение, В;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение, В;

$U_{\phi}$  – коэффициент детерминации, о.е.

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что светодиодные и индукционные облучательные установки характеризуются меньшей температурой нагрева, по сравнению с натриевыми источниками излучения, а также ее постоянством при изменении уровня питающего напряжения. Это

дает возможность уменьшить высоту подвеса установок и приблизить их облучаемой поверхности для увеличения уровня освещенности растений или снижения мощности ОБУ, что обеспечит повышение энергоэффективности системы.

#### Литература

1. Свентицкий И. И., Сторожев П. И., Царева Л. А. и др. Об учете общих биоэнергетических закономерностей при выращивании растений / Биологическая спектрофотометрия и фитоактинометрия : Тезисы II Всесоюзного совещания по управляемому биосинтезу и биофизике популяций. Красноярск: Институт физики им. Л. В. Киренского, 1973. С. 92–93.
2. Долгих П. П., Кулаков Н. В., Самойлов М. В. Анализ технологий и оборудования для управления системой микроклимата в теплице на базе утилизированной тепловой энергии от систем облучения // Вестник НГИЭИ. 2016. С.80-94.
3. Серякова Л. П. Метеорологические условия и растения: учебное пособие по агрометеорологии. Ленинград. Ленинградский гидрометеорологический институт. 1971. 77 с.
4. Вихляева А. О. Влияние интенсивности света и температуры на рост и развитие проростков на примере семян редиса. // Материалы VII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:https://scienceforum.ru/2015/article/2015012646. (дата обращения 10.01.2020).
5. Белоглазова А. С. Влияние факторов внешней среды на рост и развитие гороха // Старт в науке. 2016. №2. С. 10-12.
6. Сысоева М. И. влияние факторов внешней среды на рост и развитие растений огурца на ранних этапах онтогенеза: многомерный подход: автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Петрозаводск, 1991. 21 с.
7. Долгих П. П., Самойлов М. В. Система облучения для вегетационной установки // Вестник КрасГАУ. 2016. №5. С. 123-130.
8. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light / Fan X. X., Xu Z. G., Liu X. Y., et al. // Scientia Horticulturae. 2013, v.153. P. 50-55.
9. Кондратьева Н. П., Терентьев П. В., Филатов Д. А. Сравнительный экспериментальный анализ коэффициента пульсации разрядных и светодиодных источников света для растениеводства // Вестник НГИЭИ. 2019. № 9 (100). С. 46–56.
10. Effects of light emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. / G. P. Pardo, C. H. Aguilar, F. R. Martínez, et al. // Annual Research & Review in Biology. 2014. V.19. P. 2983-2994.

#### Сведения об авторах:

Кондратьева Надежда Петровна – доктор технических наук, профессор, e-mail: aep\_isha@mail.ru  
 ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ижевск, Россия  
 Филатов Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент filatov\_da@inbox.ru  
 Терентьев Павел Валерьевич – кандидат технических наук, e-mail: terentyevpv@inbox.ru  
 ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия.  
 Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор, профессор РАН, e-mail: zigan66@mail.  
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE HEATING TEMPERATURE OF THE GREENHOUSE RADIATOR INSTALLATIONS

Kondrateva N.P., Filatov D.A., Terentev P.V.

**Abstract.** The thermal regime of plants determines the temperature of the environment, the evaporation of moisture by plants, and the heating of plants by radiation from irradiation plants. Today, induction and LED greenhouse irradiators are promising for replacing irradiators with sodium lamps in terms of energy efficiency. Experimental studies were performed to assess the possibility of proximity of irradiators with induction lamps and LED irradiators to plants to increase their level of irradiation, in comparison with sodium radiation sources. When setting up the experiment, a complex was used, including a Fluke ti32 thermal imager, PHO-250-2-M linear autotransformer, 220V power supply, and a greenhouse irradiator. Processing of the measurement results was carried out in the Fluke SmartView 3.1 program. The heating temperature was determined when reaching the nominal mode, with the nominal mode of operation of the irradiators, with a change in the supply voltage level. Sodium and induction irradiators heat up to a maximum temperature 10 times faster than LED ones. The heating temperature of optical radiation sources with sodium lamps is 5 times higher than LED and 2.5 times higher than induction. A change in the supply voltage level affects the heating temperature of the sodium irradiator with electromagnetic ballasts, the heating temperature of sodium and induction irradiators with electronic ballasts, as well as LED irradiators, remains unchanged and equal to the nominal value at a supply voltage level of  $\pm 10\%$  of  $U_{nom}$ . Low heating temperatures of induction and LED irradiators can reduce the height of their suspension and bring them closer to plants, which will increase the irradiation of plants by increasing the level of illumination or reduce the power of irradiators, that is, increase the energy efficiency of irradiation systems.

**Key words:** sodium irradiators, induction irradiators, LED irradiators, heating temperature.

#### References

1. Sventitskiy I.I., Storozhev P.I., Tsareva L.A. and others. *Ob uchetе obshchikh bioenergeticheskikh zakonovostey pri vyraschivanii rasteniy.* / *Biologicheskaya spektrofotometriya i fitoaktinometriya: Tezisy II Vsesoyuznogo soveshaniya po upravlyayemому biosintezu i biofizike populyatsiy.* (On accounting for general bioenergetic patterns when growing plants. / Biological spectrophotometry and phytoactinometry: Abstracts of II All-Union meeting on controlled biosynthesis and biophysics of populations). Krasnoyarsk: Institut fiziki im. L. V. Kirenskogo. 1973. P. 92–93.
2. Dolgikh P.P., Kulakov N.V., Samoylov M.V. Analysis of technologies and equipment for controlling the microclimate system in a greenhouse based on utilized heat energy from irradiation systems. [Analiz tekhnologiy i oborudovaniya

dlya upravleniya sistemoy mikroklimata v teplitse na baze utilizirovannoy teplovooy energii ot sistem oblucheniya]. // *Vestnik NGIEI. – The herald of Nizhny Novgorod State University of Economics and Economics*. 2016. P. 80-94.

3. Seryakova L.P. *Meteorologicheskie usloviya i rasteniya: uchebnoe posobie po agrometeorologii*. [Meteorological conditions and plants: a manual on agrometeorology]. Leningradskiy gidrometeorologicheskii institut, Leningrad, 1971. P. 77.

4. Vikhlyayeva A.O. *Vliyaniye intensivnosti sveta i temperatury na rost i razvitiye prorostkov na primere semyan redisa. Materialy VII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii "Studencheskiy nauchnyy forum"*. (Influence of light intensity and temperature on the growth and development of seedlings using the example of radish seeds. Proceedings of VII International Student Scientific Conference "Student scientific forum") Available at: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015012646>. (date of access 10.01.2020).

5. Beloglazova A. S. *Vliyaniye faktorov vneshney sredy na rost i razvitiye gorokha. // Start v nauke*. [Influence of environmental factors on the growth and development of peas. // Start in science]. 2016. №2. P. 10-12.

6. Sysoeva M. I. *Vliyaniye faktorov vneshney sredy na rost i razvitiye rasteniy ogurtsa na rannikh etapakh ontogeneza: mnogomernyy podkhod: avtoreferat diss. na soisk. uch. step. kand. biol. nauk*. (The influence of environmental factors on the growth and development of cucumber plants in the early stages of ontogenesis: a multidimensional approach: abstract of dissertation for a degree of Ph.D. of Biological sciences). Petrozavodsk, 1991. P. 21.

7. Dolgikh P.P., Samoylov M.V. The irradiation system for a vegetation plant. [Sistema oblucheniya dlya vegetatsionnoy ustanovki]. // *Vestnik KrasGAU. – The herald of Krasnodar State Agrarian University*. 2016. №5. P. 123-130.

8. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light / Fan X. X., Xu Z. G., Liu X. Y., et al. // *Scientia Horticulturae*. 2013, v.153. P. 50-55.

9. Kondrateva N. P., Terentev P. V., Filatov D. A. Comparative experimental analysis of the ripple coefficient of discharge and LED light sources for crop production. [Srovnitelnyy eksperimentalnyy analiz koeffitsiyenta pulsatsii razryadnykh i svetodiodnykh istochnikov sveta dlya rasteniyevodstva]. // *Vestnik NGIEI. – The herald of Nizhny Novgorod State University of Economics and Economics*. 2019. № 9 (100). P. 46–56.

10. Effects of light emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. / G. P. Pardo, C. H. Aguilar, F. R. Martínez, et al. // *Annual Research & Review in Biology*. 2014. V.19. P. 2983-2994.

**Authors:**

Kondrateva Nadezhda Petrovna - Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: [aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru)  
Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russian Federation.

Filatov Dmitriy Alekseevich - Ph.D. of Technical sciences, associate professor [filatov\\_da@inbox.ru](mailto:filatov_da@inbox.ru)

Terentev Pavel Valerevich - Ph.D. of Technical Sciences, e-mail: [terentyevpv@inbox.ru](mailto:terentyevpv@inbox.ru)

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor RAS, E-mail: [zigan66@mail.ru](mailto:zigan66@mail.ru)

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia