

Vitality and productivity of laying hens under different light flickering frequency of led lamps

Alexey Kavtarashvili¹ and Dmitry Gladin^{2,*}

¹ Laboratory of the Technology of Egg Production, Federal Scientific Center “All-Russian Research and Technological Institute of Poultry” of Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Russia,

² LTD "TECHNOSVET GROUP", Cherepovets, Russia

Abstract. The vast majority of modern LED lighting systems for poultry use pulse-width modulation to control illumination in the poultry house. This work studied the vitality and productivity of laying hens under different frequencies of light flickering of LED lamps. The 113-day-old hens of the SP-789 cross were used to form 4 groups of 144 heads each. All groups of chickens were kept in the cage batteries up to 320 days of age, 8 hens per a cage. The light mode was 1L:4D:4L:2D:3L:10D (L-light, D-darkness), the luminance was 10 lx. The lamps in the control group No.1 had no light flickering, while in the experimental groups Nos. 2, 3, and 4 the lamps had light flickering frequencies of 120, 488, and 977 Hz, respectively. The study results showed that in groups Nos. 1, 2, 3, and 4, the livestock livability was 97.2%, 91.7%, 95.8%, and 95.8%; the egg production per the initial hen was 151.7, 144.4, 151.1, and 150.6 pcs., the average egg weight was 59.3, 59.5, 59.0, and 58.8 g; the yield of egg weight per the initial hen was 9.013, 8.635, 8.940, and 8.895 kg; the feed consumption was 1.43, 1.46, 1.39, and 1.40 kg for 10 eggs and 2.40, 2.43, 2.35, and 2.37 kg for 1 kg of egg weight. It was concluded that it is advisable to use LED lamps with light flickering frequency not less than 488 Hz for laying hens.

1 Introduction

Artificial lighting is one of the key factors of the microclimate affecting the vitality and productivity of poultry in intensive poultry farming. The duration of daylight, the alternation of day and night, light intensity, spectrum and color temperature of radiation, and light flickering can be changed under the conditions of artificial lightning.

Flickering is the most important parameter of illumination, characterized by the frequency of periodic change and the coefficient reflecting its depth.

The light flickering effects in humans are well studied, since in this case the information can be got using various devices, as well as based on the man’s feelings and the state of his body [1].

It is known that the light flickering has a critical flicker fusion frequency (CFFF), the minimal frequency of a flickering light source at which the light appears to be continuous. According to [2], this value is 60-100 Hz. Flickering frequencies below 25 Hz coinciding

* Corresponding author: gdv72.72@mail.ru

with alpha and theta rhythms of human brain are especially dangerous [3, 4]. Flickering at frequencies higher than CFFF is not visible, is not fixed in consciousness, but can have a negative effect [5, 6].

Different studies have different values for the frequencies of light flickering, which have no adverse effects on humans. The standards adopted in Russia (GOST R 54945-2012) state that the threshold value of light flickering frequency for humans is 300 Hz, above which any value is acceptable. The critical frequency of light flickering (CFLP) equal to 5.4 kHz is specified in the recommendations of the Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE PAR 1789, above this value a comfortable light for a person will be guaranteed [7].

Threshold values of light flickering frequency for poultry are not defined. The responses of humans and chickens to the same exposure to a light stimulus with different frequency and depth of flickering are compared in [8, 9].

The poultry sensitivity to light flickering was determined for several levels of brightness, and was compared with human sensitivity measured under the same conditions. The critical flicker fusion frequency of chickens (40.8, 50.4, 53.3, 58.2, and 57.4 Hz) was either similar or slightly higher than that of human (39.2, 54.0, 54.0, 57.4, and 71.5 Hz). At the same time, the visual system of chickens showed faster signal processing compared to humans [9].

Bird vision differs from human vision and is more developed in some aspects. Humans have trichromatic color vision, which includes three types of photoreceptors - cones in the retina with maximum absorption (λ_{max}) at 420 nm, 530 nm, and 560 nm. They are commonly referred to as cones, sensitive to the blue, green, and red portions of the spectrum. Birds have four special types of single cones and double cones [10]. An additional type of a single cone in the bird retina theoretically allows it to distinguish twice as many colors as human [11, 12]. The fourth type of single cone can be sensitive to ultraviolet and violet [13], and birds possessing each of these types of cones are classified as ultraviolet [14] or violet sensitive [15, 16], respectively. Birds use UV vision to decide about mate selection [17] and search for food. Besides differences in color perception, birds have demonstrated detection of light flickering at higher frequencies than in humans [18], and have also shown a faster response to visual stimuli [19] because of the shorter conductive pathway of the nervous system.

At present, LED lighting is widely used in poultry farming in Russia. It successfully replaces incandescent and fluorescent light sources, and has the unconditional advantages of energy efficiency, uniformity and creation of the same light microclimate for all poultry [20]. The effective control of the light flux and other characteristics of LED light sources depend on pulse-width modulation (PWM) of their supply voltage, which is characterized by the maximum flicker factor of 100% and the frequency of amplitude changes from several hundred Hz to several kHz [21]. So, it is relevant to study the effect of the light flickering frequency in the poultry house on the behavioral response of poultry and its zootechnical indicators.

This work aims to study the vitality and productivity of laying hens at various frequencies of LED light flickering.

2 Materials and methods

The studies were carried out at the Selection and Genetic Center "Zagorskoe Experimental Breeding Farm", the department of poultry production technology and biochemical analysis laboratory of the Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Institute of Poultry" of Russian Academy of Sciences.

Four groups of 144 heads each were formed from 113-day-old SP-789 chickens. Poultry up to 320 days of age were kept in cage batteries of Stimul Inc, 8 birds per cage. The light mode was 1L:4D:4L:2D:3L:10D (L-light, D-darkness) for all groups, first light turned on at 3 a.m., the luminance was 10 lx. In the experimental groups Nos. 2, 3, and 4, the pulse-width modulation was used to regulate illumination, with light flickering frequencies of 120, 488, and 977 Hz, respectively. In the control group No. 1, PWM was not used, and the average luminance of 10 lx was maintained by selecting LEDs of suitable power.

During the study, the following indicators were assessed:

- livestock livability (%) by daily counting of dead birds;
- live body weight (g) by individual weighing of all chickens from each group at the beginning and end of the experiment;
- egg production per initial and average laying hen (pcs.) by calculation of daily record of laid eggs by groups;
- weight of eggs (g) by individual weighing of all eggs from each group laid by hens on three consecutive days in the middle of each month;
- yield of eggs by category (%) by weighing and inspection of eggs laid by hens on three consecutive days monthly according to the interstate standard GOST 31654-2012 "Food chicken eggs. Technical conditions";
- feed consumption (g) by monitoring the specified feed and its residues on three consecutive days in the middle of each month;
- feed consumption per 10 eggs and per 1 kg of egg weight (kg) according to the record of feed consumption, egg production and yield of egg weight;
- weight of egg white, yolk, eggshell (g);
- egg shape index and eggshell thickness (μm) by conventional methods (15 eggs from each group), monthly;
- content of carotenoids, vitamins A, E and B₂ in yolk ($\mu\text{g/g}$); vitamin B₂ in egg white ($\mu\text{g/g}$); calcium in eggshell (%) by conventional methods at the beginning, middle and end of experiment;
- weight of heart, liver, ovary, oviduct (g) and length of oviduct (cm) by anatomical cutting after slaughter of 5 hens (averaged by live body weight) from each group at the end of experiment;
- content of egg white and lipids (%), carotenoids, vitamins A, E, B₂ ($\mu\text{g/g}$) in liver by conventional methods at the end of experiment;
- illuminance (lx) by luxmeter;
- flickering frequency by pulsometer.

3 Results and discussion

The results obtained (Table 1) showed that the flickering frequency of LED lighting had a definite impact on the vitality of chickens of the productive flocks of cross SP-789. The maximum livestock livability (97.2%) was in the control group No. 1, where LED lamps had no flickering. The lowest index (4.1-5.5% lower than in other groups) was in the experimental group No. 2 with the light flickering frequency of 120 Hz. The experimental groups Nos. 3 and 4 with light flickering frequencies of 488 Hz and 977 Hz did not differ from each other in livestock livability (1.4% less than in the control group No. 1). Observations showed that in the experimental group No. 2 the hens had increased aggressiveness, which resulted in increased mortality of chickens because of pecking and cannibalism.

Live body weight at the age of 113 days (at the beginning of the study) was the same in all groups. However, at the age of 320 days (at the end of the experiment) this parameter

was 2.7-5.7% higher in group No. 2 than in other groups, the difference from groups Nos. 3 and 4 was reliable ($P < 0.05-0.001$). It can be assumed that the increase in live body weight in the experimental group No. 2 was driven by the increase in the floor area, feeding and drinking per head due to the higher mortality of livestock in this group. This caused an increase in feed consumption at the periods of 261-290 and 291-320 days of life: 147.5 and 114.3 against 140.1 and 108.6; 135.6 and 110.8; 136.3 and 109.5 g/hen/day in groups Nos. 1(c), 3 and 4, respectively.

The egg production per initial and average laying hens was the highest in the control group No. 1 (no flickering) and experimental groups No.3 (flickering frequency of 488 Hz) and No.4 (flickering frequency of 977 Hz) with no significant differences between them. The egg production per initial and average laying hens in these groups exceeded that of the experimental group No. 2 by 4.3-5.1% and 2.8-3.2%, respectively.

Table 1. Main results of the study

Characteristics	Group			
	1(c)	2	3	4
Livestock livability, %	97.2	91.7	95.8	95.8
Live body weight (g) at the age of, days:				
113	1151±8.9	1153±9.5	1151±8.3	1151±9.8
320	1591±16.6	1634±14.6	1587±16.6	1546±20.2
Egg production (pieces):				
Per initial hen	151.7	144.4	151.1	150.6
Per average hen	153.6	149.0	153.8	153.1
Average weight of eggs, g	59.3±0.12	59.5±0.14	59.0±0.12	58.8±0.13
Egg yield (%) by category:				
Supreme	0.1	1.1	0.6	0.3
Selected	15.2	16.1	14.5	13.3
1	60.5	57.7	57.3	58.1
2	22.1	22.4	25.6	25.2
3	0.3	0.5	0.4	0.7
Breakage and check	1.8	2.2	1.6	2.4
Egg weight yield (kg):				
Per initial hen	9.013	8.635	8.940	8.895
Per average hen	9.121	8.911	9.019	9.054
Feed consumption:				
per head per day, g	121.8	120.4	118.6	119.2
per 10 eggs, kg	1.43	1.46	1.39	1.40
per 1 kg of egg weight, kg	2.40	2.43	2.35	2.37

The results show that the light flickering frequency of 120 Hz has a depressing effect on the vitality and productivity of poultry.

On average, the highest weight of eggs was recorded in the experimental group No. 2 (0.3-1.2% higher than in other groups). The difference in this indicator was reliable between groups Nos. 1 and 4 ($P < 0.01$); 2 and 3 ($P < 0.01$); 2 and 4 ($P < 0.001$).

The higher weight of eggs in the experimental group No. 2 contributed to an increase in the yield of selected eggs by 0.9-2.8% compared to other groups. This indicator was minimal in the experimental group No. 4 (1.9% lower than in the control). The maximum yield of eggs of the first category was recorded in the control group No. 1 (2.4-3.2% higher compared to other groups, which differed little among themselves). This group had the lowest yield of eggs of the second category (0.3-3.5% lower than in the groups Nos. 2-4).

The groups did not differ significantly in the number of eggs of the selected and the third category as well as damaged eggs.

The highest yield of egg weight per initial and average laying hens was observed in the control group, 0.8-4.4% and 0.7-2.4% higher than in the experimental groups. These characteristics were minimal in the experimental group No. 2, at light flickering frequency of 120 Hz, which was associated with a lower egg production in this group compared to other groups.

The best feed conversion to production was recorded in the experimental groups Nos. 3 and 4, at light flickering frequency of 488 and 977 Hz, with a slight advantage of the group No.3. In these groups, the feed consumption per 10 eggs and 1 kg of egg weight were 2.1-4.8% and 1.3-3.3% lower than in groups Nos. 1 and 2, respectively. These characteristics were the highest in the experimental group No. 2: 2.1 and 1.3% higher than in the control.

The morphological and chemical analysis of eggs (Table 2) showed that the average absolute and relative yolk weight was 0.2-0.4 g and 0.4-0.7% higher in control group No. 1 and experimental group No. 3 than in the experimental groups Nos.2 and 4, respectively. The absolute and relative egg white weight was 0.3-0.5 g and 0.4-0.7 % higher in the experimental group No.2 than in other groups. The listed differences between the groups in the weight of yolk and egg white were a trend and were statistically unreliable.

Table 2. Morphological parameters of eggs

Characteristics	Group			
	1(c)	2	3	4
Weight:				
yolk, g	15.0±0.25	14.7±0.22	15.1±0.26	14.8±0.22
%	25.2	24.6	25.3	24.8
egg white, g	37.7±0.16	38.2±0.20	37.9±0.15	37.9±0.14
%	63.3	64.0	63.4	63.6
eggshell, g	6.9±0.05	6.8±0.06	6.8±0.07	6.9±0.06
%	11.5	11.4	11.3	11.6
Eggshell thickness, µm	381±3.14	375±3.29	378±3.22	383±2.83
Egg white to yolk ratio	2.5	2.6	2.5	2.6
Egg shape index, %	78±0.25	77±0.24	77±0.21	78±0.21
Content:				
calcium in the eggshell, %	36.93	37.25	36.91	36.95
in yolk, µg/g:				
carotenoids	4.41	4.68	4.54	4.28
vitamin A	4.65	4.58	4.88	4.45
vitamin E	94.24	92.05	86.59	88.77
vitamin B2	5.47	4.98	5.28	5.58
vitamin B ₂ in egg white, µg/g	3.79	3.50	3.85	3.68

Because of the higher yolk weight, the egg white to yolk ratio of eggs in groups Nos. 1 and 3 was 3.8% lower than in groups Nos. 2 and 4.

The groups did not differ significantly in absolute and relative eggshell weight, eggshell thickness, and egg shape index.

In terms of calcium in the eggshell; carotenoids, vitamins A, E, B2 in yolk; vitamin B2 in egg white, the groups did not differ significantly and the differences between them were within the error of analysis.

As shown in Table 3, at 320 days of age, there were no significant differences between the groups in absolute and relative weights of heart, liver, ovary, oviduct and oviduct length; differences between the groups in all parameters were statistically unreliable. The increased absolute and relative weights of heart and ovary and oviduct lengths registered in the experimental groups Nos. 3 and 4 over the other groups were a trend.

Table 3. Results of anatomical cutting of chicken carcasses at 320-days of age

Characteristics	Group			
	1(c)	2	3	4
Weight:				
heart, g	6.5±0.13	6.4±0.48	6.8±0.24	6.7±0.34
%	0.40	0.38	0.43	0.42
liver, g	35.6±1.46	36.4±1.22	33.8±1.10	37.0±4.06
%	2.21	2.16	2.12	2.34
ovary, g	46.2±2.40	46.0±4.00	50.1±2.83	50.8±1.46
%	2.86	2.73	3.15	3.21
oviduct, g	61.2±2.28	63.6±3.02	63.1±1.23	62.3±3.26
%	3.79	3.78	3.96	3.93
Length of oviduct, cm	60.8±4.12	57.4±3.61	64.2±2.43	64.6±5.25

The data presented in Table 4 show that at 320 days of age, the contents of moisture, crude egg white, fat, vitamins E and B2 in the liver of chickens of various groups practically did not differ and the differences between them were within the error of analysis. However, at the illumination flickering frequency of 120-977 Hz (groups Nos. 2-4), there was a 6.4-24.7% increase in vitamin A and 1.33-2.28-fold increase in carotenoid content in the liver. The maximum content of vitamin A was observed in the experimental group No.2, and the maximum content of carotenoids was in the experimental group No. 4. So, it can be concluded that the mobilization of the most important nutrients for the visual system (vitamin A and carotenoids) occurs under the flickering of LED lamps.

Table 4. Results of chemical analysis of chicken liver at 320 days of age

Characteristics	Group			
	1(c)	2	3	4
Content of				
moisture, %	66.41	65.78	67.27	66.78
crude egg white, %	54.66	55.55	56.51	56.62
raw fat, %	39.13	38.65	37.12	36.76
vitamin A µg/g	495.3	617.4	526.8	527.2
vitamin E µg/g	7.49	7.03	7.23	7.29
vitamin B ₂ µg/g	10.68	10.48	10.86	10.56
carotenoids, µg/g	0.86	1.14	1.51	1.96

4 Conclusion

The results obtained show that the use of LED lamps with lighting flickering frequency of 488 Hz and higher while keeping hens of the productive flocks does not result in the decreased vitality and productivity of poultry compared with keeping under lamps without flickering. The 120 kHz light flickering frequency has a negative effect on the hens' organism compared with other studied illumination options (without flickering, 488 and 977 Hz). This effect is justified by the 4.1-5.5% decrease in livestock liveability, the 4.1-4.8% and 2.7-3.1% decrease in egg production per initial and average laying hens, the 2.9-4.2% and 1.2-2.3% decrease in yield of egg weight per initial and average laying hens. At the same time, the feed consumption per 10 eggs and 1 kg of egg weight was increased by 2.1-5.0% and 1.3-3.4%, respectively, without substantial changes in the morphological, market and chemical qualities of eggs.

When keeping laying hens, it is advisable to use LED lamps with flickering frequency of at least 488 Hz.

References

1. D.V. Gladin, A.Sh. Kavtarashvili. Influence of light flickering when using modern light sources in poultry farming. *Poultry and poultry products*. 3, 18-20 (2021) doi: [10.30975/2073-4999-2021-23-3-18-20](https://doi.org/10.30975/2073-4999-2021-23-3-18-20)
2. I.S. Oshurkov. Justified approach to flickering standards of LED lighting. *Modern Electronics*. 4, 68-71 (2013)
3. V.A. Ilyanok, V.G. Samsonova. Effect of flickering light sources on the electrical activity of the human brain. *Light Engineering*, 5, 1-5 (1963).
4. A Wilkins, A. Veitch, B. Lehman. LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789update. *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*. Atlanta: GA. 171–178 (2010) doi:10.1109/ECCE.2010.5618050
5. A. Wilkins. Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text. *Human Factors*. **28**(1), 75-81 (1986) doi:[10.1177/001872088602800108](https://doi.org/10.1177/001872088602800108).
6. A. Kennedy, M. Brysbaert, W. S. Murray. The effects of intermittent illumination on avisual inspection taks. *The Quarterly J. Experimental Psychology*. **51**(1), 135-151 (1998) doi:[10.1080/713755746](https://doi.org/10.1080/713755746).
7. A. S. Sharakshane, S. V. Mamaev, R. Sh. Rotfullin, A. V. Porubov. Actual values of illuminance flickering created by modern light sources. *Optical Journal*. **84**(1), 41-47 (2017)
8. J. R. Jarvis, N. R. Taylor, N. B. Prescott, I. Meeks, C. M. Wathes. Measuring and modelling the photopic flicker sensitivity of the chicken (*Gallus g. domesticus*). *Vision Research*. **42**(1), 99-106 (2002) doi: 10.1016/s0042-6989(01)00268-1
9. G. W. Brundrett. Human sensitivity to flicker. *Lighting Research and Technology*. **6**, 127-143 (1974) doi:10.1177/096032717400600302.
10. J. K. Bowmaker, L. A. Heath, S. E. Wilkie, and D. M. Hunt. Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptors in the retinas of birds. *Vision Research*. **37**(16), 2183-2194 (1997) doi: 10.1016/s0042-6989(97)00026-6
11. T. H. Goldsmith. Optimization, constraint and history in the evolution of eyes. *The Quarterly Reway of Biology*. **65**(3), 281-322 (1990) doi: 10.1086/416840
12. D. Osorio, M. Vorobyev, C. D. Jones. Colour vision of domestic chicks. *Journal of Experimental Biology*. **202**(21), 2951-2959 (1990)
13. V. I. Govardovskii, L. V. Zueva. Visual pigments of chicken and pigeon. *Vision Research*. **17**(4), 537-543 (1977) doi: 10.1016/0042-6989(77)90052-9
14. E. J. Maier. Spectral sensitivities including the ultraviolet of the passeriform bird *Leiothrix lutea*. *Journal of Comparative Physiology A*. **170**, 709-714 (1992) doi:10.1007/BF00198981
15. L. Y. Fager, R. S. Fager. Chicken blue and chicken violet, short wavelength sensitive visual pigments. *Vision Research*. **21**(4), 581-586 (1981) doi:10.1016/0042-6989(81)90104-8
16. N. S. Hart. Vision in the peafowl (*Aves: Pavo cristatus*). *Journal of Experimental Biology*. **205**(24), 3925-3935 (2002) doi:[10.1242/jeb.205.24.3925](https://doi.org/10.1242/jeb.205.24.3925)
17. A. T. D Bennet, I. C. Cuthill, J. C. Partridge, E. J. Maier. Ultraviolet vision and mate choice in zebra finches. *Nature*. **380**, 433-435 (1996) doi:10.1038/380433a0.
18. J. F. W. Nuboer, M. A. J. J. M. Coemans, J. J. Vos. Artificial lighting in poultry houses: do hens perceive the modulation of fluorescent lamps as flicker? *Brit. Poult. Sci.*, **33**(1), 123-133 (1992) doi: 10.1080/00071669208417449

19. N. B. Prescott, C. M. Wathes, J. R. Jarvis. Light, vision and the welfare of poultry. *Animal Welfare*. **12**(2), 269-288 (2003)
20. A.Sh. Kavtarashvili, D.V. Gladin. Comparative efficiency of different lighting systems in poultry farming. *Poultry farming* **4**, 37-50 (2016).
21. D.V. Gladin, A.Sh. Kavtarashvili. Control of LED lighting in poultry houses based on pulse-width modulation of supply voltage. *Poultry and poultry products*. **4**, 52-56 (2020) doi: [10.30975/2073-4999-2020-22-4-42-56](https://doi.org/10.30975/2073-4999-2020-22-4-42-56)

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯИЧНЫХ КУР-НЕСУШЕК ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЕ ПУЛЬСАЦИИ ОСВЕЩЕННОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Алексей Шамилович Кавтарашвили¹

¹Лаборатория технологии производства яиц Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт птицеводства» РАН, Сергиев Посад, Россия, e-mail - alexk@vnitip.ru

Дмитрий Викторович Гладин²

²ООО «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП», Череповец, Россия, e-mail - gdv72.72@mail.ru

Аннотация: В абсолютном большинстве современных светодиодных систем освещения для птицеводства используют в качестве способа регулирования освещенности широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), приводящую к пульсации освещенности в птичнике. В настоящей работе изучено жизнеспособность и продуктивность яичных кур-несушек при различной частоте пульсации освещенности светодиодных светильников. Из 113-дневных курочек кросса СП-789 были сформированы 4 группы по 144 головы в каждой. Птицу всех групп до 320-дневного возраста содержали в клеточных батареях по 8 голов в клетке при режиме 1С:4Т:4С:2Т:3С:10Т и освещенности 10 лк. В контрольной группе 1 светильники не имели пульсации, а опытных группах 2, 3 и 4 частота пульсации освещенности составляла 120, 488 и 977 Гц соответственно. Как показали результаты исследования в группах 1, 2, 3 и 4 сохранность поголовья составила 97.2, 91.7, 95.8 и 95.8%; яйценоскость на начальную несушку – 151.7, 144.4, 151.1 и 150.6 шт., средняя масса яиц – 59.3, 59.5, 59.0 и 58.8 г, выход яичной массы на начальную несушку – 9.013, 8.635, 8.940 и 8.895 кг, затраты корма: на 10 яиц – 1.43, 1.46, 1.39 и 1.40 кг, на 1 кг яичной массы – 2.40, 2.43, 2.35 и 2.37 кг соответственно. Сделано заключение о целесообразности использования при содержании яичных кур-несушек светодиодных светильников с частотой пульсации освещенности не менее 488 Гц.

Ключевые слова: куры-несушки, светодиодные светильники, частота пульсации освещенности, сохранность, продуктивность, затраты корма, качество яиц.

Введение

В интенсивном птицеводстве одним из основных факторов микроклимата, оказывающих влияние на жизнеспособность и продуктивность птицы, является искусственное освещение, которое включает в себя продолжительность светового дня и характер его изменения, интенсивность освещения, спектр и цветовую температуру излучения, пульсацию освещенности.

Важнейшим параметром освещения считается его пульсация, характеризующая частотой периодического изменения и коэффициентом, отображающим ее глубину.

Влияние пульсации освещенности человек лучше всего изучил на себе, получая информацию о воздействии не только с помощью приборов, но и на основе собственных ощущений и состояния организма [1].

Известно, что пульсация освещенности обладает критической частотой слияния световых мельканий (КЧССМ), выше значения которой человек не может осознанно ее фиксировать. Согласно [2] ее значение равно 60-100 Гц. Особенно опасны частоты пульсаций ниже 25 Гц, совпадающие с альфа- и тета-ритмами головного мозга человека [3, 4]. Пульсации на частотах выше КЧССМ не видны, не фиксируются в сознании, но могут оказывать негативное влияние [5, 6].

Значение частоты пульсации освещенности, при которой нет никаких негативных последствий для человека, в разных исследованиях имеет различные значения. Так, по нормам, принятым в России (ГОСТ Р 54945-2012), пороговым значением частоты

пульсации освещенности для человека является 300 Гц, выше которой допустимо любое ее значение. В рекомендации института инженеров электротехники и электроники IEEE PAR 1789 приводится расчет значения критической частоты пульсации освещенности (КЧПО) равной 5.4 кГц и выше которой будет гарантировано комфортное освещение для человека [7].

Пороговые значения частоты пульсации освещенности для птицы не определены и лишь существуют отдельные исследования, позволяющие сравнить реакцию человека и курицы на одинаковые воздействия светового стимула с разной частотой и глубиной пульсации [8, 9].

Чувствительность птицы к пульсации освещенности определялась для нескольких уровней яркости стимула, и сравнивалась непосредственно с уровнем чувствительности человека, измеренной в тех же самых условиях. Критический показатель слияния мерцаний у куриц был или схож, или слегка выше уровня критических показателей человека (40.8, 50.4, 53.3, 58.2 и 57.4 Гц) в сравнении с (39.2, 54.0, 54.0, 57.4 и 71.5 Гц) у птицы. При этом зрительная система куриц показала более быструю обработку сигнала по сравнению с человеком [9].

Зрение птицы отличается от зрения человека и является более развитым в некоторых аспектах. У человека трихроматическое цветное зрение, которое включает в себя три типа фоторецепторов – колбочек в сетчатке глаза с максимальным поглощением (λ_{max}) на уровне 420 нм, 530 нм и 560 нм. Их принято называть колбочками, чувствительными к синей, зелёной и красной части спектра. Птицы обладают четырьмя особыми видами одинарных колбочек и двойных колбочек [10]. Дополнительный тип одинарных колбочек в сетчатке глаза птицы, теоретически позволяет ей различать в два раза больше цветов, чем человек [11, 12]. Четвёртый тип одинарных колбочек может быть чувствительным к ультрафиолетовой и фиолетовой части спектра [13], а птиц, обладающих каждым из этих типов колбочек, относят к особям, чувствительным к ультрафиолетовой [14] или к фиолетовой части спектра [15, 16] соответственно. Птицы используют УФ зрение для принятия решения о выборе партнёра [17] и поиска пищи. Кроме различия в цветовом восприятии, птицы демонстрировали обнаружение пульсации освещенности на более высоких частотах, чем у человека [18], а также проявляли более быструю реакцию на визуальные стимулы [19] благодаря более короткому проводящему пути нервной системы.

В настоящее время в птицеводстве России широко используется светодиодное освещение, успешно заменяя лампы накаливания и люминесцентные источники света, обладая безусловными преимуществами в энергоэффективности освещения, равномерности и создании одинакового светового микроклимата для всего поголовья птицы [20]. Однако условием эффективного управления световым потоком и другими характеристиками светодиодных источников света является ШИМ их питающего напряжения, для которой характерен максимальный коэффициент пульсации освещенности 100 % и частота изменения амплитуды от нескольких сотен Гц до нескольких кГц [21]. В связи с этим в настоящее время становятся актуальными исследования, направленные на изучение влияния частоты пульсации освещенности в птичнике не только на поведенческую реакцию птицы, но и ее зоотехнические показатели.

Целью нашей работы являлось изучение жизнеспособности и продуктивности кур-несушек при различной частоте пульсации освещенности светодиодных светильников.

Материал и методы исследований

Исследование проведено в виварии СГЦ «Загорское ЭПХ», отделе технологии производства продуктов птицеводства и лаборатории биохимического анализа ФНЦ «ВНИТИП» РАН.

Для этого из 113-дневных курочек кросса СП-789 были сформированы 4 группы по 144 головы в каждой. Птицу до 320-дневного возраста содержали в клеточных батареях

НПО «Стимул Инк», по 8 голов в клетке. Во всех группах использовали одинаковый режим прерывистого освещения по схеме 1С:4Т:4С:2Т:3С:10Т (первое включение света в 3 ч ночи), а средняя освещенность на уровне кормушек составляла 10 лк. В опытных группах 2, 3 и 4 для регулирования освещенности использовали широтно-импульсные модуляции, которые создавали частоту пульсации освещенности 120, 488 и 977 Гц соответственно. В контрольной группе 1 ШИМ не применялись, а среднюю освещенность 10 лк поддерживали путем подбора светодиодов подходящей мощности.

При проведении исследования учитывали и определяли следующие показатели: сохранность поголовья, % – путем ежедневного учёта павшей птицы; живая масса птицы, г – путём индивидуального взвешивания всего поголовья кур из каждой группы, в начале и конце опыта; яйценоскость на начальную и среднюю несушку, шт. – расчётным путем, по данным ежесуточного учёта снесённых яиц по группам; масса яиц, г – путём индивидуального взвешивания всех яиц от каждой группы, снесённых курами три дня подряд, в середине каждого месяца; выход яиц по категориям, % – по данным взвешивания и осмотра яиц, снесённых курами три дня подряд ежемесячно, согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 31654-2012 «Яйца куриные пищевые. Технические условия»; потребление корма, г – путем контрольного учета по группам заданного корма и его остатков три дня подряд в середине каждого месяца; затраты корма на 10 яиц и на 1 кг яичной массы, кг – расчётным путём, по данным учёта потребления корма, яйценоскости и выхода яичной массы; масса белка, желтка, скорлупы яиц (г); индекс формы яиц, толщина скорлупы (мкм) – по общепринятым методикам (по 15 яиц от каждой группы), ежемесячно; содержание в желтке каротиноидов, витаминов А, Е и В₂ (мкг/г); в белке – витамина В₂ (мкг/г); в скорлупе – кальция (%) – по общепринятым методикам в начале, середине и конце опыта; масса (г) сердца, печени, яичника, яйцевода и длина (см) яйцевода – путём анатомической разделки после убоя 5 кур (средних по живой массе) из каждой группы в конце опыта – по общепринятой методике; содержание в печени протеина и липидов (%), каротиноидов, витаминов А, Е, В₂ (мкг/г) – по общепринятым методикам в конце опыта; освещенность (лк) – с помощью люксметра; частота пульсации – с помощью пульсометра.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследования (табл. 1) показали, что частота пульсации освещенности светодиодных светильников, оказало определенное влияние на жизнеспособность кур промышленного стада кросса «СП 789». Так, максимальная сохранность поголовья 97.2 % была в контрольной группе 1, где светодиодные светильники не имели пульсации. Наименьшим этот показатель был в опытной группе 2 при частоте пульсации освещенности 120 Гц – на 4.1-5.5% ниже, чем в остальных группах. Опытные группы 3 и 4 при частоте пульсации освещенности соответственно 488 и 977 Гц по сохранности поголовья между собой не отличались и незначительно на 1.4% уступали контрольной группе 1. Наблюдения показали, что в опытной группе 2 птица характеризовалась с повышенной агрессивностью, что привело к увеличению отхода поголовья кур по причине расклева и каннибализма.

Живая масса в 113-дневном возрасте птицы (в начала исследования) во всех группах была одинаковой. Однако, в 320-дневном возрасте (в конце опыта) вторая группа на 2.7-5.7% превосходила по этому показателю остальные группы, в том числе группы 3 и 4 достоверно ($P < 0.05-0.001$). Можно предположить, что причиной увеличения живой массы в опытной группе 2 явилось повышение площади пола, фронта кормления и поения в расчете на одну голову в следствии более высокого отхода поголовья в данной группе, и связанное с этим увеличение потребления корма птицей в периоды 261-290 и 291-320 дней жизни кур – 147.5 и 114.3 г против 140.1 и 108.6; 135.6 и 110.8; 136.3 и 109.5 г/гол/сутки в группах 1(к), 3 и 4 соответственно.

По яйценоскости на начальную и среднюю несущку лидировали контрольная группа 1 (без пульсации) и опытные группы 3 (частота пульсации – 488 Гц) и 4 (частота пульсации – 977 Гц), без существенных отличий между собой. Превосходство указанных групп над опытной группой 2 по яйценоскости на начальную и среднюю несущку составило 4.3-5.1 и 2.8-3.2%, соответственно.

Таблица 1. Основные результаты исследования

Показатель	Группа			
	1(к)	2	3	4
Сохранность поголовья, %	97.2	91.7	95.8	95.8
Живая масса (г) в возрасте птицы, дней:				
113	1151±8.9	1153±9.5	1151±8.3	1151±9.8
320	1591±16.6	1634±14.6	1587±16.6	1546±20.2
Яйценоскость (шт.) на несущку:				
начальную	151.7	144.4	151.1	150.6
среднюю	153.6	149.0	153.8	153.1
Средняя масса яиц, г	59.3±0.12	59.5±0.14	59.0±0.12	58.8±0.13
Выход яиц (%) по категориям:				
высшая	0.1	1.1	0.6	0.3
отборная	15.2	16.1	14.5	13.3
1	60.5	57.7	57.3	58.1
2	22.1	22.4	25.6	25.2
3	0.3	0.5	0.4	0.7
бой и насечка	1.8	2.2	1.6	2.4
Выход яичной массы (кг) на несущку:				
начальную	9.013	8.635	8.940	8.895
среднюю	9.121	8.911	9.019	9.054
Расход корма:				
на 1 голову в сутки, г	121.8	120.4	118.6	119.2
на 10 яиц, кг	1.43	1.46	1.39	1.40
на 1 кг яичной массы, кг	2.40	2.43	2.35	2.37

Полученные результаты дают основание утверждать, что частота пульсации освещенности 120 Гц оказывает депрессивное влияние на жизнеспособность и продуктивность птицы.

В среднем за период опыта наиболее высокая масса яиц зарегистрирована в опытной группе 2 – на 0.3-1.2% выше, чем в остальных группах. Разность по этому показателю достоверна между группами 1 и 4 ($P<0.01$); 2 и 3 ($P<0.01$); 2 и 4 ($P<0.001$).

Более высокая масса яиц в опытной группе 2 способствовало повышению выхода яиц отборной категории на 0.9-2.8% по сравнению с другими группами. Минимальным этот показатель был в опытной группе 4 – на 1.9% ниже, чем в контроле. Максимальный выход яиц первой категории зарегистрирован в контрольной группе 1 – на 2.4-3.2% выше по сравнению с другими группами, которые между собой практически мало отличались. В этой группе был наименьший выход яиц 2 категории – на 0.3-3.5% ниже, чем в опытных группах 2-4. По количеству яиц отборной и 3 категорий, а также поврежденных яиц группы отличались несущественно.

Самый высокий выход яичной массы на начальную и среднюю несущку отмечен в контрольной группе 1 – на 0.8-4.4 и 0.7-2.4% выше, чем в опытных группах. Минимальными эти показатели были в опытной группе 2, при частоте пульсации освещенности 120 Гц, что было связано с меньшей по сравнению с другими группами яйценоскостью кур в этой группе.

Лучшая конверсия корма в продукцию зафиксирована в опытной группе 3 и 4, при частоте пульсации освещенности 488 и 977 Гц с небольшим перевесом третьей группы. Так, в указанных группах затраты корма на 10 яиц и 1 кг яичной массы были на 2.1-4.8 и 1.3-3.3% ниже, чем в группах 1 и 2, соответственно. Самыми высокими эти показатели были в опытной группе 2, при частоте пульсации освещенности 120 Гц – на 2.1 и 1.3% соответственно выше, чем в контроле, без пульсации освещенности.

Морфологический и химический анализ яиц показал (табл. 2), что в среднем за период опыта максимальная абсолютная и относительная масса желтка была в контрольной группе 1 и опытной группе 3 – на 0.2-0.4 г и 0.4-0.7% выше, чем в опытных группах 2 и 4 соответственно. По абсолютной и относительной массе белка опытная группа 2 на 0.3-0.5 г и 0.4-0.7% превосходила другие группы. Отмеченные разности между группами по массе желтка и белка носили характер тенденции и были статистически недостоверны.

Таблица 2. Морфологические показатели яиц

Показатель	Группа			
	1(к)	2	3	4
Масса:				
желтка, г	15.0±0.25	14.7±0.22	15.1±0.26	14.8±0.22
%	25.2	24.6	25.3	24.8
белка, г	37.7±0.16	38.2±0.20	37.9±0.15	37.9±0.14
%	63.3	64.0	63.4	63.6
скорлупы, г	6.9±0.05	6.8±0.06	6.8±0.07	6.9±0.06
%	11.5	11.4	11.3	11.6
Толщина скорлупы, мкм	381±3.14	375±3.29	378±3.22	383±2.83
Соотношение белка к желтку	2.5	2.6	2.5	2.6
Индекс формы яиц, %	78±0.25	77±0.24	77±0.21	78±0.21
Содержание:				
в скорлупе кальция, %	36.93	37.25	36.91	36.95
в желтке, мкг/г:				
каротиноидов	4.41	4.68	4.54	4.28
витамин А	4.65	4.58	4.88	4.45
витамин Е	94.24	92.05	86.59	88.77
витамина В2	5.47	4.98	5.28	5.58
в белке витамина В2, мкг/г	3.79	3.50	3.85	3.68

В связи с более высокой массы желтка, соотношение белка к желтку яиц в группах 1 и 3 была на 3.8% ниже, чем в группах 2 и 4.

По абсолютной и относительной массе скорлупы, толщине скорлупы и индексу формы яиц группы отличались незначительно.

Что же касается содержания в скорлупе кальция, в желтке каротиноидов, витаминов А, Е, В₂, в белке витамина В₂, группы отличались несущественно и различия между ними находились в пределах погрешности анализа.

Как показывают данные таблицы 3, в 320-дневном возрасте по абсолютной и относительной массе сердца, печени, яичника, яйцевода и длине яйцевода существенных различий между группами не обнаружено, разности между группами по всем показателям статистически были недостоверны. Превосходство опытных групп 3 и 4 при частоте пульсации 488 и 977 Гц над другими группами по абсолютной и относительной массе сердца и яичника, относительной массе и длине яйцевода носило характер тенденции.

Таблица 3. Результаты анатомической разделки тушек кур в 320-днем возрасте

Показатель	Группа			
	1(к)	2	3	4

Масса:				
сердца, г	6.5±0.13	6.4±0.48	6.8±0.24	6.7±0.34
%	0.40	0.38	0.43	0.42
печени, г	35.6±1.46	36.4±1.22	33.8±1.10	37.0±4.06
%	2.21	2.16	2.12	2.34
яичника, г	46.2±2.40	46.0±4.00	50.1±2.83	50.8±1.46
%	2.86	2.73	3.15	3.21
яйцевода, г	61.2±2.28	63.6±3.02	63.1±1.23	62.3±3.26
%	3.79	3.78	3.96	3.93
Длина яйцевода, см	60.8±4.12	57.4±3.61	64.2±2.43	64.6±5.25

Данные, представленные в таб. 4 показывают, что в 320-дневном возрасте по содержания печени кур влаги, сырого протеина и жира, витаминов Е и В₂ группы практически не отличались и различия между ними находились в пределах ошибки анализа. Однако при частоте пульсации освещенности светодиодных светильников 120-977 Гц в группах 2-4 наблюдалось увеличение содержания в печени кур витамина А на 6.4-24.7% и каротиноидов в 1.33-2.28 раза. Максимальное содержание витамина А отмечено в опытной группе 2, а каротиноидов в опытной группе 4. Исходя из результатов исследования можно предположить, что при пульсации освещенности светодиодных светильников происходит мобилизация важнейших для зрительной системы нутриентов – витамина А и каротиноидов.

Таблица 4. Результаты химического анализа печени кур в 320-дневном возрасте

Показатель	Группа			
	1(к)	2	3	4
Содержание:				
влаг, %	66.41	65.78	67.27	66.78
сырого протеина, %	54.66	55.55	56.51	56.62
сырого жира, %	39.13	38.65	37.12	36.76
витамина А мкг/г	495.3	617.4	526.8	527.2
витамина Е мкг/г	7.49	7.03	7.23	7.29
Витамина В ₂ мкг/г	10.68	10.48	10.86	10.56
Каротиноидов, мкг/г	0.86	1.14	1.51	1.96

Заключение

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно заключить, что при содержании яичных кур промышленного стада использование светодиодных светильников с частотой пульсации освещенности 488 Гц и выше по сравнению с контролем (без пульсации) не приводит к снижению жизнеспособности и продуктивности птицы. Пульсация освещенности с частотой 120 Гц по сравнению с другими изученными вариантами (без пульсации, 488 и 977 Гц) оказывает негативное влияние на организм кур, что отражается в снижении сохранности поголовья на 4.1-5.5%, яйценоскости на начальную и среднюю несушку – на 4.1-4.8 и 2.7-3.1%, выхода яичной массы на начальную и среднюю несушку – на 2.9-4.2 и 1.2-2.3% при повышении затрат кормов на 10 яиц и 1 кг яичной массы на 2.1-5.0 и 1.3-3.4% соответственно без существенных изменений морфологических, товарных и химических качеств яиц.

При содержании кур-несушек целесообразно применять светодиодные светильники с частотой пульсации освещенности не менее 488 Гц.

Литература

1. Д.В. Гладин, А.Ш. Кавтарашвили. Влияние пульсации освещенности при использовании современных источников света в птицеводстве. Птица и птицепродукты. 3, 18–20 (2021) doi: 10.30975/2073-4999-2021-23-3-18-20
2. И.С. Ошурков. Обоснованный подход к нормативам пульсаций светодиодного освещения. Современная электроника. 4, 68–71 (2013)
3. В.А. Ильянок, В.Г. Самсонова. Влияние пульсирующих источников света на электрическую активность мозга человека. Светотехника, 5, 1-5 (1963)
4. A Wilkins, A. Veitch, B. Lehman. LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789update. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). Atlanta: GA. 171–178 (2010) doi:10.1109/ECCE.2010.5618050
5. A. Wilkins. Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text. Human Factors. **28**(1), 75–81 (1986) doi:10.1177/001872088602800108
6. A. Kennedy, M. Brysbaert, W.S. Murray. The effects of intermittent illumination on avial inspection tasks. The Quarterly J. Experimental Psychology. **51**(1), 135–151 (1998) doi:10.1080/713755746
7. А.С. Шаракшанэ, С.В. Мамаев, Р.Ш. Ротфуллин, А.В. Порубов. Фактические значения пульсации освещенности, создаваемой современными источниками света. Оптический журнал. **84**(1), 41–47 (2017)
8. J.R. Jarvis, N.R. Taylor, N.B. Prescott, I. Meeks, C.M. Wathes. Measuring and modelling the photopic flicker sensitivity of the chicken (*Gallus g. domesticus*). Vision Research. **42**(1), 99-106 (2002) doi: 10.1016/s0042-6989(01)00268-1
9. G.W. Brundrett. Human sensitivity to flicker. Lighting Research and Technology. **6**, 127–143 (1974) doi:10.1177/096032717400600302
10. J.K. Bowmaker, L.A. Heath, S.E. Wilkie, D.M. Hunt. Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptor in the retinas of birds. Vision Research. **37**(16), 2183-2194 (1997) doi: 10.1016/s0042-6989(97)00026-6
11. T.H. Goldsmith. Optimization, constraint and history in the evolution of eyes. The Quarterly Review of Biology. **65**(3), 281-322 (1990) doi: 10.1086/416840
12. D. Osorio, M. Vorobyev, C.D. Jones. Colour vision of domestic chicks. Journal of Experimental Biology. **202**(21), 2951-2959 (1990)
13. V.I. Govardovskii, L.V. Zueva. Visual pigments of chicken and pigeon. Vision Research. **17**(4), 537-543 (1977) doi: 10.1016/0042-6989(77)90052-9
14. E.J. Maier. Spectral sensitivities including the ultraviolet of the passeriform bird *Leiostrix lutea*. Journal of Comparative Physiology A. **170**, 709-714 (1992) doi:10.1007/BF00198981
15. L.Y. Fager, R.S. Fager. Chicken blue and chicken violet, short wavelength sensitive visual pigments. Vision Research. **21**(4), 581-586 (1981) doi:10.1016/0042-6989(81)90104-8
16. N.S. Hart. Vision in the peafowl (*Aves: Pavo cristatus*). Journal of Experimental Biology. **205**(24), 3925-3935 (2002) doi:10.1242/jeb.205.24.3925
17. A.T.D Bennet, I.C. Cuthill, J.C. Partridge, E.J. Maier. Ultraviolet vision and mate choice in zebra finches. Nature. **380**, 433-435 (1996) doi:10.1038/380433a0
18. J.F.W. Nuboer, M.A.J.M. Coemans, J.J. Vos. Artificial lighting in poultry houses: do hens perceive the modulation of fluorescent lamps as flicker? Brit. Poult. Sci., **33**(1), 123-133 (1992) doi: 10.1080/00071669208417449
19. N.B. Prescott, C.M. Wathes, J.R. Jarvis. Light, vision and the welfare of poultry. Animal Welfare. **12**(2), 269-288 (2003)
20. А.Ш. Кавтарашвили, Д.В. Гладин. Сравнительная эффективность различных систем освещения в птицеводстве. Птицеводство 4, 37–50 (2016)
21. Д.В. Гладин, А.Ш. Кавтарашвили. Управление светодиодным освещением в птичнике на основе широтно-импульсной модуляции питающего напряжения. Птица и птицепродукты. 4, 52–56 (2020) doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-4-52-56