УДК 628.977.9: 636.083.39 https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-6-4

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Игорь Мамедяревич Довлатов, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
E-mail: dovlatovim@mail.ru
Дмитрий Андреевич Благов, канд. биол. наук, старший научный сотрудник
E-mail: aspirantyra2013@gmail.com
Дмитрий Юрьевич Павкин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
E-mail: dimqaqa@mail.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва

Исследования проведены в условиях хозяйства Опытной Станции «Григорьевское» Ярославской области в стойловый период в течение 90 дней. Цель работы – выявление влияния освещенности на молочную продуктивность коров. Питательность хозяйственного рациона удовлетворяла физиологическим потребностям крупного рогатого скота. Сравнение проводилось между разработанным светильником СП-3 и установленным в хозяйстве ЛСП-2х36. В рассматриваемой секции было установлено 12 шт. светодиодных светильников (СП-3) с общим потреблением 108 Вт, взамен 4 ЛСП-2х36 с общим потреблением 288 Вт. Дополнительно улучшилась равномерность освещения и цветопередачи до 30 %. Предлагаемое переоборудование позволит увеличить экономию электроэнергии более в 2,6 раз. Выход молока увеличился на 4,5 %.

Ключевые слова: светодиодное освещение, освещенность, физиологическое состояние, коровы, молоко, продуктивность, рацион

ВВЕДЕНИЕ

Окружающая среда относится к важнейшим условиям, влияющим на животных. Все параметры окружающей среды оказывают высокую степень воздействия на молочную продуктивность крупного рогатого скота (КРС). Одним из главных факторов является микроклимат: температура, влажность, чистота воздуха, освещение и т. д. Несоблюдение норм микроклимата приводит к снижению экономических показателей животноводческих предприятий [1, 2].

В работах [3, 4] подтверждается прямое влияние на животных как естественной, так и искусственной освещенности. Увеличение естественного освещения способствует потреблению корма животными и, соответственно, производству молока. Исследователи рекомендуют в помещениях для содержания КРС обеспечивать освещенность в пределах 150–300 Лк в течение 16-часового дневного периода.

Световой конек позволяет повысить коэффициент естественного освещения и существенно сэкономить на искусственном. В настоящее время на фермах активно внедряются световые вентиляционные коньки, но из-за установки дополнительного электрооборудования увеличиваются энергозатраты.

При сравнении ахроматического и хроматического искусственное освещения выявлено, что разный спектр света по-разному влияет на качественные и количественные показатели продуктивности КРС [5]. Также установлено, что при использовании светоди-

Источник изображения: Freepik.com

одных ламп [6], белый свет не повлиял на выход молока и молочного жира, но привел к изменению циркадных ритмов и жирнокислотного профиля молока. При естественном цикле освещения влияние циркадных изменений на жирномолочность характеризовалось более высоким содержанием полезных для здоровья мононенасыщенных жирных кислот и пониженным уровнем насыщенных жирных кислот.

Правильно выставленное искусственное освещение, особенно светодиодное, позволит уменьшить затраты на создание товарной продукции [7].

В таблице 1 приведены наиболее распространенные источники искусственного света, применяемые в животноводстве [8]. Видно, что светодиодное освещение является наиболее эффективным по критериям КПД, сроку службы, кратности обслуживания. Дополнительно на основе таблицы можно сделать вывод, что ввиду самого высокого КПД, светодиодная лампа потребляет меньше электрической энергии.

В большинстве сельскохозяйственных регионов России, кроме южного направления, в зимний и осенний периоды животные испытывают дефицит света. Это негативно влияет на здоровье и репродуктивные функции животных, снижается аппетит, не реализуется потенциал породы. Всё это не позволяет выйти на плановые объемы производства. Хорошее освещение с имитацией рассвета и заката, увеличением светового дня до 15–16 ч может повысить надои на 8–15 %. Положительный эффект достигается при освещенности 150–200 Лк [9, 10].

Таблица 1
Характеристика источников искусственного света

Показатель	Лампа накаливания (ЛН)	Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ)	Светодиодная лампа (LED)
КПД, %	4–5	20–40	50–70
Срок службы, ч	До 1000	До 25 000	До 50 000
Использование во влажных и пыльных помещениях	Возможно	Нежелательно	Возможно
Задержка включения	Нет	Да	Нет
Частое включение и отключение питания	Сокращает срок службы	Сокращает срок службы	Не влияет на срок службы
Мерцание	Нет	Есть	Нет
Нагрев поверхности лампы, °С	120	60	30
Виброустойчивость	Нет	Нет	Да
Техническое обслуживание	Частая замена	Умерено частая замена	Редкая замена
Цена	Низкая	Высокая	Высокая

Изучение воздействия мультиспектрального динамического освещения отвечает заявленной необходимости, в том числе с точки зрения возможности регулирования процессов, протекающих в период онтогенеза. Несмотря на научные исследования о воздействии оптического излучения на развитие КРС, недостаточно данных, которые давали бы ответы на вопросы: как и какое влияние, оказывает оптическое излучение различных спектров на рост и развитие молодняка, а также на белковый метаболизм и гормональный фон в развивающимся молодом организме.

Существуют различные современные методики расчета облученности для определения необходимых углов и расстояний от источников до объекта [11–13]. При определении расстояния до объекта были учтены технические характеристики светодиодных источников освещения, разработанных в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Цель работы – выявление влияния параметра освещенности на продуктивность животных. Актуальность исследования заключается в недостатке информации о влиянии освещения на рост и развитие животных, вызванное малым количеством исследований светотехнических решений в области регуляции физиологических процессов КРС. Новизна исследования заключается в апробации разработанных светильников СП-3; проведении сравнительного анализа полученных данных по биохимическим показателям крови и основных показателей молочной продуктивности коров в контрольной и опытной группе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в условиях хозяйства Опытной Станции «Григорьевское» Ярославской области в стойловый период в течение 90 дней. В хозяйстве используется черно-пестрая голштинизированная порода коров. Содержание животных было групповым, привязным. Сформированы опытная и контрольная группы по 10 коров каждая по принципу пар-аналогов с учетом лактации, удоя, живой массы, возраста. При формировании групп, коров предварительно исследовали на наличие субклинического мастита методом инфракрасной термографии [14], что позволило исключить из эксперимента больных особей.

Питательность получаемого молока контролировалась при помощи анализатора «Лактан 600 Ультра».

Содержание контрольной и опытной групп различалось между собой только по освещенности в боксах над кормовым столом в вечернее время: соответственно 43 Лк (использовались 4 люминесцентных светильника) и 200 Лк (12 светильников СП-3). Длительность искусственного освещения в каждом боксе составляла 6 часов в сутки.

Кормовую смесь раздавали дважды в сутки. Сбалансированность рассчитана по детализированным нормам А. П. Калашникова с применением компьютерной программы «АСТРА+» [21]. Состав хозяйственного рациона: сено злаково-разнотравное – 5 кг, силос кукурузный – 20 кг, свекла кормовая – 4 кг, ячмень – 1000 г, овес – 1100 г, шрот рапсовый – 500 г, патока кормовая – 500 г, соль поваренная – 70 г, дикальцийфосфат – 70 г, тривитамин – 0,35 мл; общая масса – 32,59 кг. В структуре рациона 27,02 % приходится на грубые корма, 45,28 % – на сочные, 27,70 % – на концентрированные корма. Такой рацион относится к полуконцентратному типу кормления, для которого характерно содержание концентрированных кормов от 25 до 39 % от энергетической питательности.

Питательность хозяйственного рациона удовлетворяла физиологическим потребностям крупного рогатого скота (табл. 2). Рацион применялся в течение не менее 3 месяцев до начала исследования. Отрицательное значение в рационе не всегда означает проблемы. Рацион, как описано, ниже в целом находится в норме, причем с учетом фактической молочной продуктивности.

Содержание сырой клетчатки в сухом веществе рациона составляло 24 %. Согласно детализированным нормам кормления для коров, оптимальным является 17–22 %. Сахаропротеиновое отношение в данном рационе составляло 0,87 и входило в границы рекомендованных значений (0,8–1,2).Уровень протеиновой обеспеченности сухого вещества составлял 12,1 %, сырого жира – 3,3 %, соотношение кальция к фосфору – 1,39 : 1 при рекомендуемых нормах для лактирующих коров 1,3 : 1–1,7 : 1.

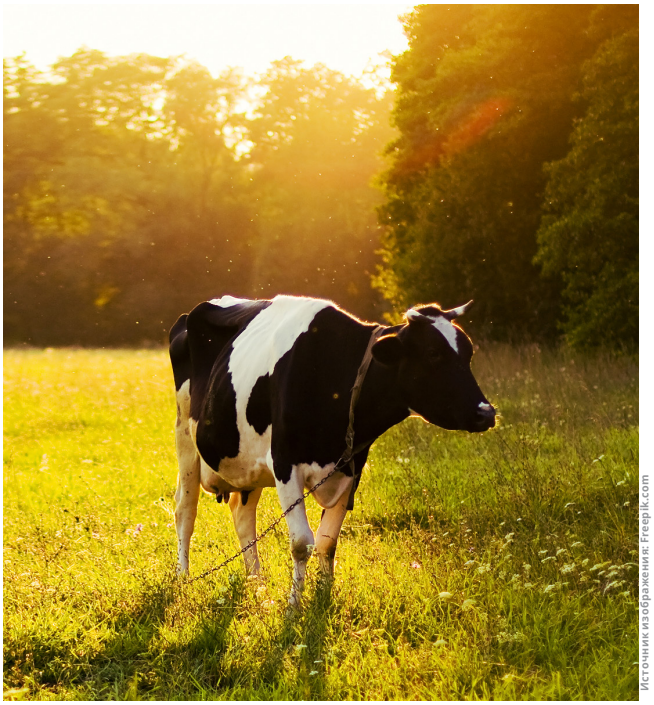
Гигиенические показатели питьевой воды, которой поили опытных животных, соответствовали ветеринарно-санитарным требованиям (ГОСТ 32220-2013).

Поскольку у коров чувствительность зрения сдвинута в синюю область, наилучший эффект от освещения будет достигаться при применении светодиодных источников света с цветовой температурой от 4000 до 9000 К. Чтобы удовлетворить потребность в освещенности бокса с опытной группой коров, светильники СП-3 производства ФГБНУ ФНАЦ ВИМ были установлены на высоте 3,2 м, светоотдача составляла 133 Лм/Вт, коэффициент запаса – 1,43. Норматив определялся в соответствии с ОСН АПК 2.10.24.001-04. Уровень освещенности над всем кормовым столом в опытной группе был 200 Лк. Искусственное освещение в обоих боксах работало 6 ч.

Таблица 2
Питательность хозяйственного рациона

Показатель	Значение	Норма	Отклонение от нормы	
			Натуральные единицы	%
Чистая энергия лактации, МДж	69,3	73,9	–4,6	–6
ЭКЕ*	11,66	11,5	+0,16	+1
Сухое вещество, г	12305	13200	–895	–6,8
Сырой протеин, г	1483,3	1445	+38,3	+3
Переваримый протеин, г	907,9	940	–32,1	–3
Сахар, г	790	760	+30	+4
Сырой жир, г	404	290	+114	+39
Сырая клетчатка, г	2901,7	3650	–748,3	–21
Кальций, г	119	65	+54	+83
Фосфор, г	85,5	45	+40,5	+90
Каротин, мг	526	410	+116,8	+28
Витамин D3, МЕ	10001,5	9600	+401,5	+4
Витамин Е, мг	1153,1	385	+768,1	+200

*Энергетическая кормовая единица



Источник изображения: Freepik.com

Технические характеристики светодиодного светильника (СП-3), разработанного в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (рис. 1): потребляемая мощность – 9 Вт; световой поток – 890 лм; цветовая температура – 6500 К; основные цвета – синий и зеленый.

Освещенность измеряли с помощью прибора «Testo 400» с люкс-зондом, фикс кабелем с диапазоном измерений 0–100000 Лк и разрешением 0,1 (< 10000) 1 (> 10000) Лк (рис. 2).

Для освещения контрольного бокса, как и во всем коровнике, применялись компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) с суммарным уровнем освещенности 43 Лк.

Контрольное доение осуществлялось ручным способом в бидоне, с весами и секундомером в соответствии с ГОСТ Р 57878–2017. Биохимические показатели крови исследовали в лаборатории ФГБНУ ФНАЦ ВИМ на иммуноферментном анализаторе «iMagik-V7». Для получения сыворотки на биохимические исследования кровь из вакуумных пробирок центрифугировалась в течение 10 мин при 3000 об/мин.

В период эксперимента в обоих боксах показатели температуры, влажности и скорости воздушного потока (табл. 3) были одинаковые с учетом допустимых отклонений 5 %. Нормативные значения показателей для осенне-зимнего периода взяты из [15]. Исследования показали, что основные параметры микроклимата в помещении не соответствуют зоогигиеническим нормативам содержания дойных коров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для контроля за изменением обменных процессов протекающих в организме подопытных коров были проведены биохимические исследования сыворотки крови (табл. 4).

Согласно полученным данным биохимические показатели в контрольной и опытной группе имели незначительные различия. На 30 день опытов разница между контрольной и опытной группами не превышала 1,1 %. На 60 день исследований биохимические показатели у подопытных животных незначительно изменились. Содержание общего белка и его фракций между контрольной и опытной группами находилось на уровне 1,0 %. Что же касается минерального обмена, то количество кальция и фосфора было выше в опытной группе и составляла 1,72 и 2,87 % по срав-

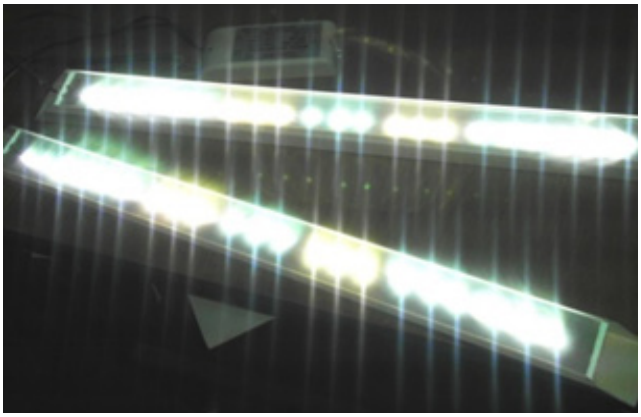


Рисунок 1. Светильник светодиодный

Рисунок 2. Прибор «Testo 400» с люкс-зондом

Таблица 3
Параметры микроклимата животноводческого помещения*

Показатель	Контрольная группа		Опытная группа		Оптимальные значения
	0 дней	90 дней	0 дней	90 дней	
Средняя температура, °С	10,4 ± 2,6	9,3 ± 2,6	10,4 ± 2,45	9,3 ± 2,5	8–12
Средняя относительная влажность, %	76,0 ± 1,0	73,0 ± 0,9	78,0 ± 1,2	73,0 ± 1,2	70
Средняя скорость движения воздуха, м/с	0,72 ± 1,00	0,62 ± 0,80	0,70 ± 0,90	0,60 ± 0,90	0,3–0,4
Средняя освещенность на уровне кормового стола, Лк	43	42	200	200	130

*Указанные значения являются усредненными, рассчитаны как среднее арифметическое результатов, полученных за весь период испытаний

Таблица 4
Биохимические показатели крови опытных животных

Показатели	Контрольная группа			Опытная группа		
	30 день	60 день	90 день	30 день	60 день	90 день
Общий белок, г/л	68,30 ± 1,60	68,88 ± 1,48	69,28 ± 1,59	68,76 ± 1,64	69,36 ± 1,49	69,78 ± 1,43
Альбумины, г/л	44,40 ± 1,04	44,77 ± 0,96	45,04 ± 1,03	44,70 ± 1,06	45,09 ± 0,97	45,36 ± 0,93
Глобулины, г/л	23,91 ± 0,56	24,11 ± 0,52	24,25 ± 0,50	24,07 ± 0,57	24,28 ± 0,52	24,43 ± 0,50
Мочевина, ммоль/л	4,42 ± 0,39	4,35 ± 0,41	4,34 ± 0,41	4,47 ± 0,40	4,38 ± 0,39	4,30 ± 0,37
Глюкоза, ммоль/л	3,40 ± 0,14	3,40 ± 0,13	3,35 ± 0,12	3,41 ± 0,18	3,45 ± 0,14	3,33 ± 0,15
Кальций, ммоль/л	2,31 ± 0,05	2,32 ± 0,05	2,33 ± 0,04	2,32 ± 0,04	2,36 ± 0,06	2,40 ± 0,02
Фосфор, ммоль/л	1,72 ± 0,14	1,74 ± 0,14	1,76 ± 0,13	1,71 ± 0,15	1,79 ± 0,15	1,81 ± 0,14

нению с контролем. В конце опытного периода тенденция изменений биохимических показателей сохранилась. Содержание общего белка и его фракций было выше в опытной группе. Данные показатели были больше 0,80 % по сравнению с контролем. Уровень метаболита белкового обмена был ниже в опытной группе на 0,92 %. Стоит отметить, что содержание мочевины на все периоде проведения опыта соответствовала физиологическим норма которые колеблются от 3,33 до 6,70 ммоль/л. Уровень глюкозы в обеих группах находился практически на одинаковом уровне и не превышал 0,90 %. Содержание кальция и фосфора сохранили положительную тенденцию увеличения. В опытной группе количество кальция выросло на 3,0 %. Количество фосфора в опытной группе увеличилось на 2,84 % по сравнению с контрольной группой.

Можно сделать вывод, что применение светильников не вызывало патологических изменений в обменных процессах протекающих в организме скота.

Для оценки влияния на коров установленных светильников был проведен учет и анализ молочной продуктивности в начале, 30, 60 и 90 дни эксперимента (табл. 5).

Динамика суточного удоя всех коров имела тенденцию к увеличению, но в опытной группе был больше, чем в контроле, и на 90-й день повысился на 0,52 кг (на 4,5 %). Анализ изменения молочной продуктивности показал, что после установки светодиодных светильников отмечалась непрерывная тенденция увеличения среднесуточной молочной продуктивности.

Прирост количества молока наблюдался в обоих боксах: в контрольном в 30-й день на 1 % (0,1 кг), в опытном – на 3 % (0,4 кг); в 60-й день соответственно на 0,2 и 0,45 кг по сравнению с началом опыта. Разница между группами в величине удоя связана напрямую с качеством освещения. На 90-й день в контрольном боксе удой повысился на 0,24 кг, при том, что в опытном на 0,52 кг. За период эксперимента среднесуточный удой контрольных коров увеличился на 1,3 % и составил 11,54 кг, в опытном боксе – на 3 % и достиг 11,74 кг.

Массовая доля жира практически не изменялась и в среднем за период исследования в контрольной группе составила 3,65 %. В опытной группе к 60-му дню содержание жира повысилось на 0,01 % и сохранялось на этом уровне до конца эксперимента. Количество белка оставалось без изменений: в контрольной группе – 3,06 %, в опытной – 3,08 %. Из литературных источников известно, что содержание жира и белка в молоке в первую очередь обусловлено генетическим потенциалом животного, и только потом условиями кормления и содержания.

Уровень СОМО в конце эксперимента незначительно отличался и составлял в молоке контрольной группы коров 8,32 %, а в опытной был больше на 0,02 %. Плотность сырого молока в контрольной группе 28,64 А° и в опытной 28,67 А° свидетельствует о высшем сорте сырья.

Таблица 5
Основные показатели молочной продуктивности коров

Показатель	Контрольная группа				Опытная группа			
	1 день	30 день	60 день	90 день	1 день	30 день	60 день	90 день
Удой, кг	11,40	11,50	11,60	11,64	11,40	11,80	11,85	11,92
Массовая доля жира, %	3,65	3,65	3,65	3,65	3,71	3,71	3,72	3,72
Массовая доля белка, %	3,06	3,06	3,06	3,06	3,08	3,08	3,08	3,08
СОМО, %	8,31	8,30	8,33	8,32	8,31	8,31	8,33	8,34
Плотность, А°	28,64	28,65	28,65	28,64	28,67	28,67	28,67	28,66

Обоснование по энергосбережению. В рассматриваемой секции было установлено 12 шт. светодиодных светильников (СП-3) с общим потреблением 108 Вт, взамен 4 люминесцентных светильников (ЛСП-2х36) с общим потреблением 288 Вт. Дополнительно улучшилась равномерность освещения и цветопередачи до 30 %. Предлагаемое перевооружение позволит увеличить экономию электроэнергии более в 2,6 раз.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по влиянию освещенности на молочную продуктивность показали, что у опытных животных при освещении кормового стола в 200 Лк, увеличился выход молока на 4,5 %. Кроме этого было установлено, что освещение не оказало значительного влияния на протекающие обменные процессы в организме опытных животных. Положительная динамика, проявляющаяся в увеличении продуктивности молочных коров позволяет сделать заключение о необходимости замены ламп старого образца на светильники нового поколения.

Переоснащение коровника светодиодными лампами нового поколения позволит уменьшить потребление электрической энергии на искусственное освещение не менее чем в 5–7 раз. Стоимость монтажа светильников одинаковая. При этом срок службы в 2 раза выше у разработанных светильников.

В дальнейших исследованиях предлагается выявить зависимость влияния освещённости кормового стола на количество потребляемого корма. ■

EFFECT OF ILLUMINATION ON MILK YIELD

Igor M. Dovlatov, Dmitriy A. Blagov, Dmitry Yu. Pavkin
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow

ORIGINAL ARTICLE

Illumination is an important variable that affects the milk yield. The present 90-day experiment took place on the premises of the Experimental Station Grigoryevskoe, Yaroslavl Region, Russia. The cows received feed and water that complied with veterinary and sanitary standards. The authors developed an SP-3 experimental lighting system of twelve LED lights with a total of 108 W. The uniformity of illumination and color rendering was improved by 30%. The control herd lived in their usual stalls with four fluorescent lights (LSP-2x36) with a total of 288 W. The new lighting system increased the energy saving by 2.6 times while the milk yield in the experimental herd grew by 4.5%.

Keywords: LED lighting, illumination, physiological state, cows, milk, productivity, ration

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Leliveld, L. M. C.** Dairy Cow Behavior Is Affected by Period, Time of Day and Housing / L. M. C. Leliveld [et al.] // Animals. 2022. № 12(4). P. 512.
2. **Yan, G.** Developing a new thermal comfort prediction model and web-based application for heat stress assessment in dairy cows / G. Yan, Z. Shi, B. Cui, H. Li // Biosystems Engineering. 2022. № 214. P. 72–89.
3. **Пилыцикова, Ю. А.** Влияние комбинированного излучения на молодняк птицы / Ю. А. Пилыцикова, О. Ю. Коваленко, С. А. Овчукова // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2012. № 2. С. 29–31.
4. **Murphy, B.A.** Identification of the blue light intensity administered to one eye required to suppress bovine plasma melatonin and investigation into effects on milk production in grazing dairy cows / A. M. Barbara [et al.] // Journal of Dairy Science. 2021. № 104 (11). 12127–12138.
5. **Lindkvist, S.** Effects of achromatic and chromatic lights on pupillary response, endocrinology, activity, and milk production in dairy cows / S. Lindkvist [et al.] // PLoS ONE. 2021. № 16 (7). № 0253776.
6. **Asher, A.** The Effect of Exposing High Yielding Dairy Cows To Short Wavelength LED Illumination During The Night On Fatty Acid Profile / A. Aviv [et al.] // Research Square. 2022. № 3. 1240395.
7. **Макаров, Я. А.** Светодиодное освещение в птицеводстве / Я. А. Макаров, А. В. Козлов // Мир инноваций. 2020. № 2. С. 3–8.
8. **Высоцкая, Е. А.** Совершенствование системы освещения производственных помещений сельскохозяйственных предприятий за счет внедрения энергосберегающих ламп / Е. А. Высоцкая, А. С. Корнев, Е. В. Полковников // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (56). С. 137–142.
9. **Гордеев, В. В.** Оценка освещенности в коровниках для фермы на 1200 коров / В. В. Гордеев [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 92. С. 153–158.
10. **Shirokov, Y.** Technosphere safety as a factor of product cost reduction / Y. Shirokov, V. Tikhnenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 012133.
11. **Kinev, I. E.** Methods for calculating and visualizing the spatial distribution of illumination in three-dimensional models of optically complex scenes / I. E. Kinev, D. D. Zhdanov, A. D. Zhdanov, I. S. Potemin // Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision «Graphicon». 2022. № 32. С. 149–160.
12. **Довлатов, И. М.** Расчет расстояния от источника УФ-облучения, обеспечивающего необходимую дозу эффективного облучения / И. М. Довлатов, Л. Ю. Юферев // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3 (28). С. 618–625.
13. **Демиденко, Л. Л.** Автоматизированный расчет освещенности административных и производственных помещений / Л. Л. Демиденко, М. С. Морозов, Д. И. Габитова // В сб.: Энергетические и электротехнические системы. Международный сборник научных трудов. Под ред. С. И. Лукьянова, Е. Г. Нешпоренко. – Магнитогорск, 2020. С. 74–77.
14. **Кирсанов, В. В.** Определение методом инфракрасной термографии заболеваний вымени коров маститом и их влияния на продуктивность / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, И. М. Довлатов [и др.] // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 4–9.
15. **Широбокова, Т. А.** О влиянии искусственного освещения на продуктивность крупного рогатого скота / Т. А. Широбокова, Л. А. Шувалова, И. И. Иксанов // Вестник ВИЭСХ. 2017. № 1 (26). С.18–22.