

weight). The use of the digital twin made it possible to detect inaccuracy in the information provided by researchers in published scientific papers.

**Список литературы.** 1. Соляник, С. В. Цифровизация расчета стоимости производственных площадей свиноводческого объекта / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Брянск : Изд-во Брянского ГАУ, 2019. – С. 224–227. 2. Соляник, С. В. Экспресс-метод проектирования математических многофакторных зоотехнических моделей / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Брянск : Изд-во Брянского ГАУ, 2019. – С. 220–224. 3. О создании в Национальной академии наук Беларуси пилотных инновационных объектов [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 7 апреля 2021 г., № 204 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100204&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 07.02.2022 09.04.2021, 5/48954. 4. Дойлидов, В. А. Многоплодие и сохранность поросят-сосунов у свиноматок белорусских и зарубежных пород / В. А. Дойлидов, В. В. Дойлидов // Сборник научных трудов XXVII Международной научно-практической конференции. – Брянск : Изд-во Брянского ГАУ, 2020. – С. 45–49. 5. Ходосовский, Д. Н. Оптимизация плотности размещения ремонтного молодняка мясного направления продуктивности / Д. Н. Ходосовский // Сборник научных трудов XXVII Международной научно-практической конференции. – Брянск : Изд-во Брянского ГАУ, 2020. – С. 91–97. 6. Республиканские нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения животноводческих объектов : РНТП-1-2004 / Н. А. Попков [и др.]. – Минск, 2004. – 92 с.

**References.** 1. Solyanik, S. V. Cifrovizaciya rascheta stoimosti proizvodstvennyh ploshchadej svinovodcheskogo ob"ekta / S. V. Solyanik, V. V. Solyanik // Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Bryansk : Izd-vo Bryanskogo GAU, 2019. – S. 224–227. 2. Solyanik, S. V. Ekspress-metod proektirovaniya matematicheskikh mnogofaktornykh zootekhnicheskikh modelej / S. V. Solyanik, V. V. Solyanik // Sbornik nauchnyh trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Bryansk : Izd-vo Bryanskogo GAU, 2019. – S. 220–224. 3. O sozdanii v Nacional'noj akademii nauk Belarusi pilotnykh innovacionnykh ob"ektov [Elektronnyj resurs] : postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 7 aprelya 2021 g., № 204 // Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100204&p1=1&p5=0>. – Data dostupa: 07.02.2022 09.04.2021, 5/48954. 4. Dojlidov, V. A. Mnogoploдие i sohrannost' porosyat-sosunov u svinomatok belorusskikh i zarubezhnykh porod / V. A. Dojlidov, V. V. Dojlidov // Sbornik nauchnyh trudov XXVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konfe-rencii. – Bryansk : Izd-vo Bryanskogo GAU, 2020. – S. 45–49. 5. Hodosovskij, D. N. Optimizaciya plotnosti raz-meshcheniya remontnogo molodnyaka myasnogo napravleniya produktivnosti / D. N. Hodosovskij // Sbornik nauchnyh trudov XXVII Mezhdunarordnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Bryansk : Izd-vo Bryanskogo GAU, 2020. – S. 91–97. 6. Respublikanskije normy tekhnologicheskogo proektirovaniya novykh, rekonstrukcii i tekhnicheskogo perevoorzheniya zhivotnovodcheskikh ob"ektov : RNTP-1-2004 / N. A. Popkov [i dr.]. – Minsk, 2004. – 92 s.

Поступила в редакцию 10.01.2022.

DOI 10.52368/2078-0109-58-1-71-77

УДК 636:519.2:681.3

## ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

Соляник С.В. ORCID ID 0000-0002-2901-978X, Соляник В.В. ORCID ID 0000-0003-3602-3418

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», г. Жодино, Республика Беларусь

Разработан цифровой двойник температурно-влажностных характеристик микроклимата животноводческих зданий. Основу цифрового двойника составляют зоогиенические нормативы к воздушной среде животноводческих помещений, теплофизические свойства воздуха, требования к системам микроклимата и работы вентиляции. **Ключевые слова:** скотоводство, свиноводство, микроклимат, компьютерное моделирование.

## DIGITAL TWIN FOR TEMPERATURE AND HUMIDITY CHARACTERISTICS OF MICROCLIMATE IN LIVESTOCK FACILITIES

Solyanik S.V., Solyanik V.V.

RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry”, Zhodino, Republic of Belarus

A digital twin for the temperature and humidity characteristics of the microclimate in livestock facilities has been developed. The digital twin is based on zoohygienic standards for the air environment in livestock premises, thermophysical properties of the air, requirements for microclimate systems and ventilation functioning. **Keywords:** cattle breeding, pig breeding, microclimate, computer modelling.

**Введение.** В последнее время при разработке бизнес-планов проектирования новых, реконструкции и техническом перевооружении животноводческих объектов основываются исключительно на республиканских нормах РНТП-1-2004 [1].

С точки зрения доказательной зооигиены основными параметрами нормируемого микроклимата животноводческих помещений являются температура, влажность воздуха, содержание углекислого газа, аммиака, сероводорода, а также скорость движения воздуха. Предельная концентрация углекислоты в воздухе помещений для содержания свиней – 0,2% (объемных). Предельная концентрация вредных газов в воздухе свинарников: аммиака – 20,0 мг/м<sup>3</sup>, сероводорода – 10,0 мг/м<sup>3</sup>. Из нормированных значений внутреннего воздуха рассчитывается работа вентиляционных систем, в том числе воздухообмен в конкретном помещении. Например, минимальное количество приточного воздуха в особо холодный период может приниматься не менее (1 ц живой массы): в помещениях для откормочного поголовья, подсосных и легкосупоросных маток, хряков и поросят-отъемышей – 15 м<sup>3</sup>/час, а в других помещениях – 20 м<sup>3</sup>/час. В особо холодный период года (-25...-30 °С), но не более 10 дней подряд, разрешается снизить температуру внутреннего воздуха до 13 °С во всех помещениях, кроме помещения для опоросов и поросят-отъемышей. На этот период в помещения откормочного поголовья, хряков, легкосупоросных свиноматок и поросят-отъемышей подачу свежего воздуха можно уменьшить до 10 м<sup>3</sup>/час, а в остальных – до 15 м<sup>3</sup>/час. В это время во всех помещениях допускается рециркуляция внутреннего воздуха до 50% от нормы приточного (Строительные нормы и правила (СНиП) 2.10.03-84) [1].

В частности, согласно подпункту 3.2.13 РНТП-1-2004 предусматриваются следующие нормы внутреннего воздуха для холодного и переходного периодов года помещений для крупного рогатого скота, где в стойлах, боксах, групповых клетках содержатся коровы, нетели, молодняк старше 6 мес., быки, скот на откорме; телята с 20-дневного возраста и до 6 месяцев – расчетная температура 10 °С, относительная влажность – 40-75%. Если содержание беспривязное, то ни температура, ни относительная влажность воздуха не нормируются.

В подпункте 4.14 РНТП-1-2004 для холодного и переходного периодов года приведены нормы температуры и влажности внутреннего воздуха помещений для содержания свиней – свинарники (помещения): 1) для холостых и супоросных свиноматок (кроме тяжелосупоросных за 4-10 дней до опороса) – 13-19 °С, 40-75%; 2) для подсосных и тяжелосупоросных (за 4-10 дней до опороса) свиноматок – 18-22 °С, 40-70%; 3) для поросят-отъемышей и ремонтного молодняка – 18-22 °С, 40-70%; 4) для содержания откормочного поголовья – 14-20 °С, 40-75% [1]. Расчетной температурой для свинарников является среднее значения из указанных диапазонов: 1) 16 ± 3 °С; 2) 20 ± 2 °С; 3) 20 ± 2 °С; 4) 18 ± 2 °С. Нормативные параметры воздуха должны обеспечиваться в зоне размещения свиней, то есть в пространстве высотой до 1 метра над уровнем пола.

На протяжении столетий численные значения характеристик окружающего воздуха (относительная и абсолютная влажность; влагосодержание; теплосодержание; максимальное давление водяного пара; содержание водяного пара, углекислого газа, аммиака, сероводорода; парциальное давление водяного пара, углекислого газа, аммиака, сероводорода; степень черноты водяного пара, углекислого газа, аммиака, сероводорода; поглощающая способность водяного пара, углекислого газа, аммиака, сероводорода и т.д..) исследователи находят, обращаясь к специальным таблицам (графикам, рисункам, диаграммам и др.), размещенным на страницах специальных справочников, учебных пособий, учебников, книг и монографий. При этом гигиенисты, проектировщики, специалисты в строительной теплофизике различные численные значения характеристик воздуха вынуждены вручную вносить в свои расчеты или используют системы управления базами данных (СУБД). Эта ситуация не позволяет проводить теплотехнические расчеты в динамических моделях, разработанные в табличном процессоре, например, Microsoft Excel [2].

Как нестранно, но никто из специалистов в области проектирования и строительства животноводческих зданий не указывает на то, что такая характеристика, как абсолютная влажность наружного воздуха в численном значении может отличаться на несколько порядков, особенно если его температура значительно ниже нуля градусов. Поэтому, даже при 100% относительной влажности наружного воздуха в холодный и переходный периоды года, в помещение будет поступать сухой воздух, если учитывать его абсолютную влажность. Игнорирование такого теплофизического фактора приводит к ситуации, когда слизистая оболочка носа животных, особенно молодняка, в обогреваемых помещениях становится уязвимой для инфекционных заболеваний. Дело в том, что слизистая оболочка носа является, так сказать, первым барьером против пыли и возбудителей заболеваний, которые могут попасть в тело животных через воздух, которым они дышат, если слизистый секрет высыхает [3].

Местный неспецифический иммунитет проявляется слизистыми оболочками носа, если они увлажнены, что позволяет противостоять инфицирующей дозе различных заболеваний. Нагрев холодного наружного воздуха может снизить относительную влажность в помещении до уровня ниже 30% [4], приводя к таким болезням, как сухость кожи, потрескавшиеся губы, сухость в глазах и чрезмерная жажда. Более высокая влажность снижает инфекционность аэрозольного вируса гриппа [5].

Следствием подогрева воздуха и снижения его относительной (абсолютной) влажности в помещении, где содержится молодняк животных, например, поросята на доращивании, становится высушивание слизистых поверхностей, что приводит к возникновению респираторных заболеваний у животных этой половозрастной группы.

В середине прошлого века учеными-зооигиенистами было установлено, что строительными нормами, правилами и нормативными документами, издаваемыми в их развитие, при проектировании рекомендуется руководствоваться грациями влажностного режима воздуха помещений в холодный период года. Принята следующая грация влажностного режима: сухой – относительная влажность воздуха менее 50%, абсолютная влажность воздуха – менее 8 мм. рт. ст.; нормальный – 50...70%, 8...9,9 мм. рт. ст.; влажный – 65...75%, 10 ... 12,5 мм. рт. ст.; мокрый – относительная влажность воздуха – более 75%, абсолютная влажность воздуха – более 12,5 мм. рт. ст.. При температуре 18-20 °С влажностный режим здания является нормальным при относительной влажности 50-60 %, т.е. абсолютная влажность 8-9,9 мм рт. ст. (при 100% относительной влажности – абсолютная влажность составляет 16...19,8 мм рт. ст.). При этом мокрый влажностный режим наступает, если абсолютная влажность воздуха более 12,5 мм. рт. ст., т.е. при относительной влажности 100%, когда температура воздуха более 14 °С. В мыльных помещениях бань при температуре 30 °С и относительной влажности воздуха более 75% абсолютная влажность воздуха превышает 12,5 мм рт. ст., но в промышленных и сельскохозяйственных зданиях оценки влажностных режимов не совпадают [6, с. 66].

Дело в том, что в животноводческих зданиях температура воздуха в зимнее время, как правило, ниже, чем в жилых комнатах (18-20 °С). Поэтому при сравнительно высокой относительной влажности воздуха помещений коровников давление водяных паров в них значительно ниже, чем во многих помещениях жилых и коммунальных зданий. Установленная главой СНиП шкала градаций дает разные оценки для влажностного режима помещений коровников. Стойловый коровник при температуре помещений 10 °С и относительной влажности воздуха 85% относится к числу мокрых помещений, а по графе значений абсолютной влажности воздуха – к числу сухих помещений, поскольку давление водяных паров в нем равно 7,73 мм рт. ст., то есть менее 8 мм рт. ст. [6, с. 67].

При проектировании и выборе типов наружных ограждений животноводческих помещений не следует исходить из весьма условных классификаций или градаций влажностного режима, приводимых в СНиПе. Теплотехнические качества ограждений следует назначать в соответствии с определенными расчетами, требуемыми сопротивлениями ограждений теплопередаче и паропроницанию, или же руководствуясь опытом эксплуатации удачно спроектированных и построенных зданий аналогичного назначения [6, с. 68].

По вопросам строительной теплотехники у нас и за рубежом издано несчетное количество специальной литературы, справочников, книг, монографий, учебников и учебных пособий. При этом зачастую из издания в издание «переходят» опечатки (ошибки). Например, в практикумах по зооигиене ошибочно указана единица измерения объемной массы воздуха – м<sup>3</sup>/кг [7, с. 143, 8, с. 259].

Цель работы – представить цифровой двойник температурно-влажностных характеристик микроклимата животноводческих зданий

**Материалы и методы исследований.** На основе данных Р.М. Ладыженского [9] разработаны: блок-программа расчета максимального давления водяного пара, теплосодержания и влагосодержания влажного воздуха [6, с. 135] (табл. 1), блок-программа расчета абсолютной влажности воздуха в зависимости от температуры воздуха и относительной влажности воздуха [10] (табл. 2) и блок-программа расчета абсолютной влажности воздуха в сельскохозяйственных помещениях (табл. 3).

**Таблица 1 - Блок-программа расчета максимального давления водяного пара, теплосодержания и влагосодержания влажного воздуха**

	<b>А</b>	<b>В</b>
<b>1</b>	Температура (t= -25...+35), °С	<b>-12</b>
<b>2</b>	Барометрическое давление (710...780), мм рт. ст.	<b>710</b>
<b>3</b>	Максимальное давление водяного пара (E), мм. рт. ст.	$=4,487785+0,33250203*B1+0,010851521*B1^2+0,00021703148*B1^3+0,0000021876659*B1^4$
<b>4</b>	Влагосодержание воздуха (D), г/кг	$=3,8138054+0,28016881*B1+0,0094095772*B1^2+0,00020890544*B1^3+0,0000023385704*B1^4$
<b>5</b>	Теплосодержание воздуха (I), ккал/кг	$=2,2691564+0,40775588*B1+0,0057564779*B1^2+0,00012990927*B1^3+0,0000014459839*B1^4$
<b>6</b>	Объемная масса воздуха при различной температуре и барометрическом давлении, кг/м <sup>3</sup>	$=(0,000821429+0,00171486*B2)+(-0,000171-0,0000057*B2)*B1$

**Таблица 2 - Блок-программа расчета абсолютной влажности воздуха в зависимости от температуры воздуха и относительной влажности воздуха**

	<b>А</b>	<b>В</b>
1	Температура воздуха (-25...100), °С	-30
2	Относительная влажность воздуха (0...100), %	100
3	Абсолютная влажность воздуха, г/м <sup>3</sup> (г/кг)	=ЕСЛИ(В1<=0;(-0,0000001+0,048178762*В2)*1,090424^В1; ЕСЛИ(В1<=30;(-8,8811Е-16+0,0502077246*В2)*1,0607318^В1; ЕСЛИ(В1<=50;0,06945517*В2*1,0509041^В1; ЕСЛИ(В1>50;(-7,105Е-15+0,14391226*В2)*1,0380756^В1))))

**Таблица 3 - Блок-программа расчета абсолютной влажности воздуха в сельскохозяйственных помещениях**

	<b>А</b>	<b>В</b>
1	Температура воздуха (0...30), °С	22
2	Относительная влажность воздуха (0...100), %	100
3	Абсолютная влажность воздуха, г/м <sup>3</sup>	=(-8,8811Е-16+0,0502077246*В2)*1,0607318^В1

Чтобы воспользоваться блок-программами, их необходимо скопировать в соответствующие диапазоны ячеек отдельных листов электронной таблицы MS Excel.

**Результаты исследований.** Согласно исследованиям М.А. Быкова [3, с. 87], лучепоглощение CO<sub>2</sub> и влагой помещения достигает 13% лучистой энергии. Однако в расчете автором использовались лишь нормативные значения углекислого газа и влаги, а поглощение лучистой энергии аммиаком не учитывалось вовсе. Поэтому, на наш взгляд, необходимо проводить анализ не только нормативных показателей и динамических (суточных) изменений загазованности здания, учитывая зооигиенически обоснованные характеристики, но и значения, фактически получаемые в производственных условиях, что, как известно, порой может в несколько раз превышать рекомендованные нормы.

Нами разработана компьютерная программа, позволяющая оценить, какое количество тепла теряется в связи с наличием в воздухе животноводческих помещений многоатомных газов (углекислого газа, аммиака и пр.). Однако в качестве примера (табл. 4) проведен расчет влияния наличия водяного пара и углекислого газа в помещении для содержания крупного рогатого скота, так как исходные данные взяты из исследований М.А. Быкова [6, с. 33-39], для этого вида животных.

**Таблица 4 - Блок-программа расчета поглощающей способности многоатомных газов и водяного пара**

	<b>А</b>	<b>В</b>	<b>В</b>
1	<b>Исходные данные по зданию и животным</b>		
2	Длина наружной стены_А, м	54	54
3	Высота наружной стены_А, м	3,5	3,5
4	Длина покрытия_В, м	54	54
5	Ширина покрытия_В, м	9	9
6	Длина пола, м	54	54
7	Ширина пола, м	18	18
8	Длина наружной стены_А_1, м	54	54
9	Высота наружной стены_А_1, м	3,5	3,5
10	Длина покрытия_В_1, м	54	54
11	Ширина покрытия_В_1, м	9	9
12	Количество животных, гол.	200	200
13	Живая масса животного, кг	500	500
14	Температура воздуха помещения (газа) (t <sub>в</sub> ), °С	0	0
15	Температура стен и потолка (t <sub>с</sub> ), °С	-1	-1
16	Температура подстилки (t <sub>1</sub> ), °С	4	4
17	Температура поверхности животных (оболочки) (t <sub>ж</sub> ), °С	22	22

Продолжение таблицы 4

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
18	Относительная влажность ( $j_a$ ), %	<b>85</b>	<b>85</b>
19	Содержание углекислого газа, %	<b>0,125</b>	<b>0,125</b>
20	<b>Исходные параметры строительной теплофизики</b>		
21	Коэффициент излучения поверхности тела животных ( $c_1$ ), ккал/( $m^2 \cdot ч \cdot (T/100)^4$ )	<b>4,65</b>	<b>4,65</b>
22	Коэффициент излучения для ограждения ( $c_2$ ), ккал/( $m^2 \cdot ч \cdot (T/100)^4$ )	<b>4,5</b>	<b>4,5</b>
23	Коэффициент абсолютного черного тела ( $c_0$ ), ккал/( $m^2 \cdot ч \cdot (T/100)^4$ )	<b>4,9</b>	<b>4,9</b>
24	Степень черноты тела крупного рогатого скота ( $e_{ж}$ )	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>
25	<b>Результаты расчета</b>		
26	Площадь наружных стен $A$ , $m^2$	= $B2 \cdot B3$	189
27	Площадь покрытия $B$ , $m^2$	= $B4 \cdot B5$	486
28	Площадь пола, $m^2$	= $B6 \cdot B7$	972
29	Площадь наружных стен $A_1$ , $m^2$	= $B8 \cdot B9$	189
30	Площадь покрытия $B_1$ , $m^2$	= $B10 \cdot B11$	486
31	Площадь ограждения Здания, $m^2$	= $B28 \cdot B9$	3402
32	Объем помещения, $m^3$	= $B26+B27+B28+B29+B30$	2322
33	Площадь поверхности тела животных, $m^3$	= $B12 \cdot (0,105 \cdot B13^{(2/3)})$	1323
34	Средняя абсолютная температура воздуха ( $T_2$ ), $^{\circ}C$	= $273,15+B14$	273,15
35	Средняя абсолютная температура поверхности ( $T_1$ ), $^{\circ}C$	= $273,15+B17$	295,15
36	Средняя температура ограждения ( $t_{cp}$ ), $^{\circ}C$	= $((B16 \cdot B28) - (B27+B30+B26+B29)) / (B28+B27+B30+B26+B29)$	1,0930
37	Количество тепла от лучистого теплообмена ( $Q_{1,2}$ ), ккал/ч	= $1 / (1/B21+B33 / (B26+B27+B28+B29+B30)) \cdot (1/B22 - 1/B23) \cdot (((273,15+B17)/100)^4 - (((273,15+B36)/100)^4)) \cdot B33$	113418
38	Парциальное давление водяного пара, ( $гн_2о$ )	= $(4,58 \cdot B18/100)/755$	0,0052
39	Парциальное давление углекислого газа ( $гсо_2$ )	= $B19/100$	0,0013
40	Длина луча ( $l$ ), м	= $4 \cdot B31/B32$	5,8605
41	Произведение давления водяного пара и длина волны ( $гн_2о$ )	= $B38 \cdot B40$	0,0302
42	Произведение давления углекислого газа и длина волны ( $гсо_2$ )	= $B39 \cdot B40$	0,0073
43	Степень черноты углекислого газа, $CO_2$ ( $p_l=0,1 \dots 0,007$ ; $t=0 \dots 20$ $^{\circ}C$ ) ( $e_{co_2}$ )	= $0,0279208661747816 - 0,00477902293875237 \cdot B14 + 0,00136458242349832 \cdot B14^2 - 0,000125422854089619 \cdot B14^3 + 3,31014592908757E-06 \cdot B14^4 + 2,89892722024717 \cdot B42 + 0,0326644888774139 \cdot B14 \cdot B42 - 0,00505052961311193 \cdot B14^2 \cdot B42 + 0,000037939666774717 \cdot B14^3 \cdot B42 - 65,4374705497789 \cdot B42^2 + 0,464389813262187 \cdot B14 \cdot B42^2 + 0,00876418982316782 \cdot B14^2 \cdot B42^2 + 758,467382853776 \cdot B42^3 - 2,39657308020714 \cdot B14 \cdot B42^3 - 3268,37653157459 \cdot B42^4$	0,0459

Продолжение таблицы 4

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
44	Степень черноты водяного пара, $H_2O(p=0,045...0,015; t=0...20\text{ }^\circ\text{C}) (e_{H_2O})$	$=0,0153337314980817 - 0,00629274089022136 * B14 + 0,0010619093328113 * B14^2 - 0,0000663751771981058 * B14^3 + 1,37447190240459E-06 * B14^4 + 6,11965402691635 * B41 - 0,64534541375653 * B14 * B41 + 0,0176325690817646 * B14^2 * B41 - 0,0000420990848430892 * B14^3 * B41 - 78,515819594251 * B41^2 + 9,88474688082839 * B14 * B41^2 - 0,228570675525861 * B14^2 * B41^2 + 292,596689921068 * B41^3 - 33,8181823069773 * B14 * B41^3 + 135,254499925725 * B41^4$	0,1367
45	Степень черноты водяного пара и углекислого газа ( $e_r$ )	$=B43+B44$	0,1827
46	Эффективная степень черноты оболочки ( $e'_w$ )	$=(B24+1)/2$	0,9750
47	Поглощающая способность углекислого газа ( $A_{CO_2}$ )	$=B43 * (B34/B35)^{0,65}$	0,0437
48	Поглощающая способность водяного пара ( $A_{H_2O}$ )	$=B44$	0,1367
49	Поглощающая способность углекислого газа и водяного пара ( $A_r$ )	$=B47+B48$	0,1804
50	Тепло, поглощаемое многоатомными компонентами воздуха помещения ( $q_{r,w}$ ), ккал/м <sup>2</sup> ·ч	$=B46 * B23 * (B45 * (B34/100)^4 - B49 * (B35/100)^4)$	-16,8
51	Тепло, выделенное от всего поголовья коров, поглощаемое многоатомными компонентами воздуха помещения ( $q_{r,w}$ ), ккал/м <sup>2</sup> ·ч	$=B50 * B33$	-22264
52	Процент лучистой теплоотдачи поверхности тела животных, которое не доходит до ограждающих конструкций, %	$=B51/B37 * 100$	-19,63

В результате расчета с использованием компьютерной программы, за счет более точного его проведения, установлено, что процент лучистой теплоотдачи поверхности тела животных, которая не доходит до ограждающих конструкций, в зависимости от наличия углекислого газа и водяных паров в помещении составляет 19,6%, а не 13%, как указывалось в первоисточнике.

**Заключение.** Разработан цифровой двойник температурно-влажностных характеристик микроклимата животноводческих зданий. Основу цифрового двойника составляют зоогигиенические нормативы к воздушной среде животноводческих помещений, теплофизические свойства воздуха, требования к системам микроклимата и работы вентиляции. Проектирование блок-программ по расчету теплофизических характеристик воздуха, а также апробация цифрового двойника при расчете поглощающей способности многоатомных газов и водяного пара, позволило на 1/3 повысить точность расчета.

**Conclusion.** A digital twin for the temperature and humidity characteristics of the microclimate in livestock facilities has been developed. The digital twin is based on zoohygienic standards for the air environment in livestock premises, thermophysical properties of the air, requirements for microclimate systems and ventilation functioning. The design of block programs for calculating the thermophysical characteristics of the air, as well as the testing of a digital twin for calculating the absorption capacity of polyatomic gases and water vapor allowed increasing of the accuracy of calculations by 1/3.

**Список литературы.** 1. Республиканские нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения животноводческих объектов : РНТП-1-2004 / Н. А. Попков [и др.]. – Минск, 2004. – 92 с. 2. Гигиена свиней: биотеплофизическая основа разработки специализированного программного обеспечения : монография / А. В. Соляник [и др.]. – Горки : БГСХА, 2020. – 283 с. 3. Методология оценки и моделирования комфортных условий содержания свиней : методические указания для слушателей факультета повышения квалификации, консультантов и студентов / Белорусский государственный аграр-

ный технический университет, Кафедра основ животноводства ; ред. С. И. Плященко. – Минск : БГАТУ, 2003 – 196 с. 4. Optimum Humidity Levels for Home // AirBetter. org August. – 2014. – № 3. URL: <https://www.airbetter.org/optimum-humidity-levels-home/> 5. High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs / John D. Noti [et al.] // PLOS ONE : journal. – 2013. – Vol. 8 (2). – P. 57485. doi:10.1371/journal.pone.0057485. 6. Быков, М. А. Расчет температурно-влажностного режима животноводческих зданий / М. А. Быков. – Москва, 1965. – 140 с. 7. Садо́мов, Н. А. Зооги́иена с основами проектирования животноводческих объектов : практикум / Н. А. Садо́мов. – Горки : БГСХА, 2009. – 156 с. 8. Садо́мов, Н. А. Зооги́иена с основами проектирования животноводческих объектов : практикум / Н. А. Садо́мов. – Горки : БГСХА, 2017. – 284 с. 9. Лады́женский, Р. М. Кондиционирование воздуха : учебник / Р. М. Лады́женский. – Москва : Пищепромиздат, 1952. – 442 с. 10. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Relative\\_Humidity-ru.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Relative_Humidity-ru.svg)

**References.** 1. Respublikanskije normy tekhnologicheskogo proektirovaniya novyh, rekonstrukcii i tekhnicheskogo perevooruzheniya zhivotnovodcheskih ob"ektov : RNTP-1-2004 / N. A. Popkov [i dr.]. – Minsk, 2004. – 92 s. 2. Gigiena svinej: bioteplofizicheskaya osnova razrabotki specializirovannogo programmogo obespecheniya : monografiya / A. V. Solyanik [i dr.]. – Gorki : BGSKHA, 2020. – 283 s. 3. Metodologiya ocenki i modelirovaniya komfortnyh uslovij soderzhaniya svinej : metodicheskie ukazaniya dlya slushatelej fakul'teta povysheniya kvalifikacii, konsultantov i studentov / Belorusskij gosudarstvennyj agrarnyj tekhnicheskij universitet, Kafedra osnov zhivotnovodstva ; red. S. I. Plyashchenko. – Minsk : BGATU, 2003 – 196 s. 4. Optimum Humidity Levels for Home // AirBetter. org August. – 2014. – № 3. URL: <https://www.airbetter.org/optimum-humidity-levels-home/> 5. High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs / John D. Noti [et al.] // PLOS ONE : journal. – 2013. – Vol. 8 (2). – P. 57485. doi:10.1371/journal.pone.0057485. 6. Bykov, M. A. Raschet temperaturno-vlazhnostnogo rezhima zhivotnovodcheskih ob"ektov : praktikum / N. A. Sadomov. – Gorki : BGSKHA, 2009. – 156 s. 8. Sadomov, N. A. Zoogigiena s osnovami proektirovaniya zhivotnovodcheskih ob"ektov : praktikum / N. A. Sadomov. – Gorki : BGSKHA, 2017. – 284 s. 9. Ladyzhenskij, R. M. Kondicionirovanie vozduha : uchebnik / R. M. Ladyzhenskij. – Moskva : Pishchepromizdat, 1952. – 442 s. 10. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Relative\\_Humidity-ru.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Relative_Humidity-ru.svg)

Поступила в редакцию 10.01.2022.

DOI 10.52368/2078-0109-58-1-77-80  
УДК 636.2.082.451:615.3

#### ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОХРАНЕНИЯ ПОЛОВОЙ ФУНКЦИИ ПЛЕМЕННЫХ БЫЧКОВ ПРИ ИХ ВЫРАЩИВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЙОДСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА

Ханчина А.Р. ORCID ID 0000-0001-9972-388X, Кузнецова Т.С. ORCID ID 0000-0002-4516-3204  
УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»,  
г. Витебск, Республика Беларусь

*В статье описываются результаты использования йодсодержащего препарата для повышения активности эндокринного резерва семенников бычков при выращивании их для племенных целей. Приведены данные качества спермопродукции и устойчивости спермиев к криоконсервации, дана оценка степени влияния на становление половой функции племенных бычков при приучении их к отдаче спермы на искусственную вагину. Показана экономическая эффективность мероприятий по сохранению нормальной функции щитовидной железы. **Ключевые слова:** племенные бычки, щитовидная железа, йодная недостаточность, половые рефлексы, эндокринный резерв семенников, спермопродукция.*

#### PRODUCTION AND ECONOMIC EFFICIENCY OF PRESERVING THE SEXUAL FUNCTION OF BREEDING BULL CALVES RAISED WITH THE USE OF IODINE-CONTAINING PREPARATION

Khanchina A.R., Kuznetsova T.S.  
Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Republic of Belarus

*The article describes the results of using an iodine-containing preparation for increasing the activity of the endocrine reserve in testes of bull calves raised for breeding purposes. The data are presented on the quality of sperm production and the resistance of sperms to cryopreservation. The degree of the influence on the development of the sexual function of pedigree bull calves is assessed when training the calves to donate the sperm into an artificial vagina. The economic efficiency of measures for preserving the normal function of the thyroid gland has been shown. **Keywords:** breeding bulls, thyroid gland, iodine deficiency, sexual reflexes, endocrine reserve of testes, sperm production.*

**Введение.** В настоящее время к выращиванию племенных быков и их использованию для воспроизводства стада предъявляются высокие требования, особенно к спермопродукции и племенным качествам. Большое количество быков-производителей выбраковывается из-за низкого качества спермы, что является следствием нарушения нейро-эндокринной регуляции половой функции или развития патологических процессов в семенниках. Показатели здоровья и функционального состояния репродуктивных органов самцов зависят от воздействия внешней среды на организм животных,