

свинины : монография. Ч. 1 / А. В. Соляник, В. В. Соляник, С. В. Соляник. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 382 с.

6. Гигиена свиней: биотеплофизическая основа разработки специализированного программного обеспечения : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, С. Е. Лещина, С. В. Соляник, В. А. Соляник, А. А. Соляник. – Горки: БГСХА, 2020. – 283 с

7. Рекомендации по сокращению расхода энергии на создание оптимального микроклимата в цехе содержания холостых и супоросных свиноматок. – Жодино, 2010. – 35 с.

8. Ходосовский, Д. Н. Теоретические основы и практические методы ведения адаптивного свиноводства : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Д. Н. Ходосовский. – Жодино, 2012. – 45 с.

9. Соляник, В. В. Методика разработки математических функций от одной и двух переменных, для создания динамических моделей в области зоотехнии и зоогигиены / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2013. – Т. 48, ч. 2. – С. 232 - 245.

10. Соляник, А. В. Теоретическая и практическая разработка специализированного программного обеспечения для свиноводства : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, С. В. Соляник. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2012. – 324 с.

Поступила 15.03.2021 г.

УДК 636.4.22:628.8: 519.681.3

С. В. СОЛЯНИК, В. В. СОЛЯНИК

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЁТА ЗООТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКОНСТРУИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ СВИНЕЙ НА ДОРАЩИВАНИИ И ОТКОРМЕ

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

Разработан цифровой двойник зоотехнических и теплотехнических характеристик реконструированных зданий для содержания свиней на доращивании и откорме. Использование компьютерной программы позволило опровергнуть утверждение исследователей, что для увеличения экономической эффективности при выращивании и откорме молодняка свиней необходимо проводить тепловую реабилитацию свиноводческих зданий при этом повышая коэффициент сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций: наружных стен выше $2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а перекрытий – выше $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Имитационное моделирование теплотехнических и зоогигиенических характеристик дает возможность в автоматическом режиме рассчитать тепло-влажностный баланс зданий, расход тепла, уровень продуктивности молодняка свиней. Компьютерная программа минимизирует трудовые затраты на выявление основных трендов в уровне продуктивности животных и зоогигиеническом качестве условий содержания свиней на выращивании и откорме содержащихся в реконструированных помещениях.

Ключевые слова: зоотехния, поросята на доращивании, молодняк свиней на откорме, зоогигиена, строительная теплотехника, коэффициент сопротивления теплопередаче, имитационное моделирование

S. V. SOLYANIK, V. V. SOLYANIK

**COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATION OF
ZOOTECHNICAL AND HEAT ENGINEERING PARAMETERS
OF RECONSTRUCTED BUILDINGS FOR PIGS AT GROWING
AND FATTENING**

*Research and Practical Center of the National Academy of Sciences
of Belarus for Animal Breeding Zhodino, Republic of Belarus*

A digital twin of zootechnical and heat engineering parameters of reconstructed buildings for pigs at growing and fattening has been developed. The computer program made it possible to refute the assertion of researchers that in order to increase the economic efficiency when growing and fattening young pigs, it is necessary to carry out thermal rehabilitation of pig breeding buildings while increasing the coefficient of resistance to heat transfer of the enclosing structures: outside walls – over $2.0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, and ceilings – over $2.5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. Simulation modeling of heat engineering and zoohygienic parameters makes it possible to automatically calculate the heat and humidity balance of buildings, heat consumption, and the level of productivity of young pigs. The computer program minimizes labor costs for identifying the main trends in the level of animal productivity and zoohygienic quality of pigs housing conditions at growing and fattening in reconstructed premises.

Keywords: zoology engineering, piglets at growing, young stock at fattening, zoohygiene, construction thermal engineering, coefficient of resistance to heat transfer, simulation modeling

Введение. Ученые-зоотехники в своих публикациях утверждают, что: «1. Наиболее эффективным вариантом реконструкции цеха дорашивания является вариант, в котором проведена тепловая реабилитация наружных стен и перекрытий, а также переоборудована система подачи воздуха в секцию. Это способствовало получению наивысшей продуктивности в зимний период года. Зимой среднесуточный прирост молодняка на дорашивании составил 501 г, что на 61,1 % выше, чем в контрольной группе. 2. Расчет теплового баланса подтвердил необходимость утепления наружных стен и перекрытий зданий для содержания молодняка на дорашивании до уровня, когда коэффициент сопротивления теплопередаче составляет 3,2, для перекрытий – $3,7 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Система вентиляции с забором воздуха из тамбуров способствует частичному использованию биологического тепла животных в холодный период года на подогрев наружного воздуха и снижает затраты тепла в расчете на 1 голову по сравнению с типовым вариантом на 45 Вт/ч. 3. Экономическая эффективность от использования вариантов с энергосберегающей технологией с механическим удалением отработанного воздуха составила 22,1 тыс. руб./ц прироста» [1, с. 17]. «Для оптимизации условий содержания свиней и снижения затрат энергии в промышленном свиноводстве в качестве эффективного энергосберегающего приема необходимо осуществлять тепловую реабилитацию

ограждающих конструкций свинарников. Сопротивление теплопередаче (R_0) стен и перекрытий свиноводческих зданий при реконструкции и новом строительстве должно составлять $2,0-2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ у стен и $2,5-3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ у перекрытий в зданиях для холостых, условносупоросных и супоросных свиноматок, $2,5-3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ у стен и $3,5-4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ у перекрытий в свинарниках для содержания подсосных маток с поросятами-сосунами и порослят-отъемышей, $2,0-2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ у стен и $3,0-3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ у перекрытий в зданиях для содержания откормочного поголовья» [2, с. 32].

Утверждение, что «тепловая реабилитация наружных стен и перекрытий цеха дорашивания способствовало в зимний период на 61% повысить продуктивности порослят на дорашивании» [1, с. 17], является некорректным с точки зрения зоотехнии и зооигиены. При проведении научно-хозяйственного опыта исследователи, во-первых, обязаны были в полном объеме выполнить требования по уровню кормления порослят-отъемышей и создать для них условия содержания, соответствующие зооигиеническим нормам и правилам. Во-вторых, уровень среднесуточного прироста порослят, как в опытной группе, так и в контрольной группе, не соответствует продуктивному действию комбикормов, применяемых для данной половозрастной группы. В-третьих, эксперимент проводился на низком зоотехническом фоне, и вероятно, подопытные группы одновременно участвовали в научно-хозяйственном опыте, и следовательно производственные показатели не могут быть достоверными. В-четвертых, исследователи не указали фактический срок окупаемости материально-финансовых затрат, понесенных при реконструкции цеха дорашивания и переводе его на энергосберегающую технологию с механическим удалением отработанного воздуха.

Расчеты, выполненные учеными в области строительной физики и теплотехники показывают, что при улучшении теплоизолирующих свойств стеновых конструкций количество теряемой зданием теплоты снижается не линейно, а по гиперболе. Наибольший эффект в экономии тепла (почти 100 %) в такой модели здания наблюдается при увеличении $R_0^{\text{ПР}}$ наружных стен с $0,5$ до $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Изменение $R_0^{\text{ПР}}$ стен с 1 до $2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ позволяет сэкономить тепловую энергию на 16 %. Увеличением $R_0^{\text{ПР}}$ с 2 до $3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ достигается экономия тепла еще на 7 %, с 3 до 4 и до $5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ соответственно сокращает теплопотери здания всего лишь на 3,5 и 2,3 %. Дальнейшее повышение $R_0^{\text{ПР}}$ на каждую термическую единицу просто бессмысленно, так как экономия энергии составляет процент ошибки измерения, а проблемы, особенно с долговечностью и прочностью таких конструкций возрастут многократно (за исключением дерева). При этом необходимо отметить, что вычисленная таким образом зависимость в процентном отношении практически

одинакова для всех климатических районов. Она отличается только абсолютными значениями теплопотерь [3]. Строительная теплофизика тем и скандальна, что если все делать «по уму», то выбор стеновых теплоизоляционных материалов зачастую становится вторичным. А на первый план выходят критерии экологичности, долговечности и пожарной безопасности жилища. Некоторым торгашам это жутко не по нраву [4].

Три пятилетки назад ученые-зоотехники, далекие от зоогигиены вообще и строительной физики в частности, убедили руководителей отдельных сельхозорганизаций имеющих свинокомплексы, значительно повысить теплотехнические характеристики зданий (коэффициенты сопротивления теплопередаче (R_0) ограждающих конструкций: наружных стен и перекрытий), в которых содержатся поросята на доращивании и молодняк на откорме. При этом отсутствие фундаментальных знаний в строительной теплотехнике привело к необоснованному увеличению материально-финансовых затрат сельхозорганизаций, в которых проводилась модернизация. В итоге понесенные затраты не были окуплены полученной продукцией [5].

В век информационных технологий отдельные исследователи пользуются ситуацией, когда в открытой печати отсутствуют компьютерные программы, позволяющие моделировать теплотехнические характеристики животноводческих зданий и определять основные тренды формирования продуктивности животных, размещенных в этих помещениях.

Была поставлена цель разработать цифровой двойник зоотехнических и теплотехнических характеристик реконструированных зданий для содержания свиней на доращивании и откорме.

Материал и методика исследований. Исходными данными для разработки цифрового двойника была взята информация из методических рекомендаций [1, 6] и автореферата докторской диссертации [2], в которых представлены численные значения зоогигиенических и зоотехнических параметров свинокомплексов РУП «Совхоз-комбинат «Заря» (Гомельская область) и РУСПП «Свинокомплекс Борисовский» (Минская область). Эти свиноводческие объекты были подвергнуты реконструкции и модернизации в период 1998-2006 годы. В частности, в свиарниках:

I) для доращивания поросят были изменены коэффициенты сопротивления теплопередаче (R_0) ограждающих конструкций: наружных стен с $1,27 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ до $3,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$; перекрытия с $2,27 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ до $3,71 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ [1, с. 16; 2, с.20];

II) для откорма молодняка свиней были изменены коэффициенты сопротивления теплопередаче (R_0) ограждающих конструкций:

а) наружных стен с $1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ до $2,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$; перекрытия с $2,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ до $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ [6, с. 8];

б) наружных стен с $0,67 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ до $2,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$; перекрытия с $2,53 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ до $3,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ [2, с. 20];

Программно-математическую основу цифрового двойника составляют функции от одной и двух переменных [7, 8], которые были применены в расчетах в табличном процессоре MS Excel. Мы осознанно не упрощали математические формулы, так как пользователь должен знать алгоритм их получения.

Результаты эксперимента и их обсуждение. На свинокомплексах «Борисовский» (Минская область) и «Заря» (Гомельская область) была проведена тепловая реабилитация свиноводческих зданий для доращивания и откорма свиней, причем не только утеплением стен и перекрытий, но и монтажа подвесных потолков, и даже увеличения плотности размещения свиней, а также применение датских систем микроклимата и др.

В настоящее время свинокомплекс «Борисовский» не функционирует, а на свинокомплексе «Заря» отказались от естественной вентиляции и внедрили датскую систему микроклимата, то нами решена задача по разработке цифрового двойника двойник зоотехнических и теплотехнических характеристик реконструированных зданий для содержания поросят на доращивании (таблица 1, 2) и свиней на откорме (таблица 3), что позволяет без проведения натурных исследований моделировать теплотехнические характеристики ограждающих конструкций и продуктивность животных с учетом экономической эффективности этих мероприятий.

Таблица 1 – Блок-программа моделирования зоогигиенических и зоотехнических параметров зданий для поросят на доращивании в зависимости от теплофизических трендов ограждающих конструкций свинокомплекс «Заря»

	А	В	С
1		Свинокомплекс "Заря"	
2		реконструкция	реконструкция с большим числом постановочных мест
3	Коэффициенты сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, R_o , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$		
4	наружные стены, $(1,27 \dots 3,23) R_o$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	1,27	
5	перекрытия $(2,27 \dots 3,71) R_o$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	2,27	

6	Температура наружного воздуха (0...-24), °С	-24	
7	Зоогигиенические параметры на высоте (0,5...1,5), м	0,5	
8	1) Количество тепла, выделяемого поросятами на доращивании		
9	Количество секций в свинарнике	$=((13,591837-2,0408163*B4)+(17,305556-2,77777*B5))/2$	
10	Количество животных в секции, голов	$=((105,61224+153,06122*B4)+(-172,91667+208,333*B5))/2$	
11	Средняя масса поросенка на доращивании, кг	$=((20+0*B4)+(20+0*B5))/2$	
12	Поступление свободной теплоты от 1 животного, ккал/час	$=((86,7+0*B4)+(86,7+0*B5))/2$	
13	Нормативная температура воздуха в помещении, °С	$=((22+0*B4)+(22+0*B5))/2$	
14	Коэффициент приведения теплоступлений к нормативной температуре	$=((0,54+0*B4)+(0,54+0*B5))/2$	
15	Поступление свободного тепла в секцию, Вт/ч	$=((5276,7602+8802,551*B4)+(-10741,438+11981,25*B5))/2$	
16	Поступление свободного тепла в здание, Вт/час	$=((145411,94+28034,694*B4)+(94396,583+38158,333*B5))/2$	
17	2) Поступление влаги, г/час		
18	Количество секций в свинарнике	$=13,591837-2,0408163*B4$	
19	Количество животных в секции, голов	$=105,61224+153,06122*B4$	
20	Поступление водных паров от 1 животного	$=((59,5+0*B4)+(59,5+0*B5))/2$	
21	Поступление влаги от животных, г/час в секцию	$=((11840,066+16229,082*B4)+(-17692,354+22089,583*B5))/2$	

22	Поступление влаги от животных, г/час в свинарник	$=((296797,1+47375,51*B4)+(210586,83+64483,333*B5))/2$	
23	Добавочная влага, 10% от влаги, выделяемой животными	$=((29679,051+4737,7551*B4)+(21057,653+6448,6111*B5))/2$	
24	Итого поступившей влаги в свинарник, г/час	$=((326476,15+52113,265*B4)+(231644,49+70931,944*B5))/2$	
25	3) Расход вентиляционного воздуха		
26	Влагопоступление в свинарник, г/час	$=((560985,85-52113,265*B4)+0*B6+655817,51-70931,944*B5)/2$	
27	Температура воздуха в галерее, °C	$=((-10,367347+8,1632653*B4)+(-0,34326409+0,27028668*B4)*B6+(-0,00192845+0,0015184645*B4)*B6^2+(-25,2222+11,11111*B5)+(-0,83511077+0,36789021*B5)*B6+(-0,0046916336+0,002066799*B5)*B6^2)/2$	
28	Расход вентиляционного воздуха, м3/час	$=((33660,327+8281,6327*B4)+(131,07007+575,82784*B4)*B6+(5,1218508+11,169521*B4)*B6^2+(18590,056+11272,222*B5)+(-916,77665+783,76567*B5)*B6+(-15,203576+15,20296*B5)*B6^2)/2$	
29	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$=((40394,347+9936,7347*B4)+(157,25914+691,04832*B4)*B6+(6,1500916+13,400753*B4)*B6^2+(22312,25+13525*B5)+(-1100,2568+940,59354*B5)*B6+(-18,235557+18,239914*B5)*B6^2)/2$	

30	Объем помещения в расчете на 1 животное, м ³	$= (0,69846939 + 0,86734694 * B4 + (-0,87986111 + 1,1805556 * B5)) / 2$	
31	4) Расход вентиляционного воздуха в свинарниках для доращивания		
32	Влагопоступление в свинарник, г/час		
33	Температура воздуха в галерее, °C		
34	Расход вентиляционного воздуха, м ³ /час		
35	Расход вентиляционного воздуха, кг/час		
36	Объем помещения в расчете на 1 животное, м ³		
37	5) Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха для свинарников		
38	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$= ((40394,347 + 9936,7347 * B4) + (157,25914 + 691,04832 * B4) * B6 + (6,1500916 + 13,400753 * B4) * B6^2 + (22312,25 + 13525 * B5) + (-1100,2568 + 940,59354 * B5) * B6 + (-18,235557 + 18,239914 * B5) * B6^2) / 2$	
39	Разница температур внутреннего и поступающего воздуха, °C	$= ((33,367347 - 8,1632653 * B4) + (-1,3046951 + 0,2399174 * B4) * B6 + (0,00192845 - 0,0015184645 * B4) * B6^2 + (48,222222 - 11,1111 * B5) + (-1,7412781 + 0,32655424 * B5) * B6 + (0,0046916336 - 0,002066799 * B5) * B6^2) / 2$	

40	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, ккал/час	$= ((403345,36 - 87171,939 * B4) + (-7038,2799 + 1072,5067 * B4) * B6 + (134,53527 - 51,933005 * B4) * B6^2 + (561974,08 - 118650,69 * B5) + (-8989,9441 + 1459,8008 * B5) * B6 + (229,03892 - 70,68659 * B5) * B6^2) / 2$	
41	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, Вт/час	$= ((484011,18 - 104604,08 * B4) + (-8446,6234 + 1287,4332 * B4) * B6 + (161,41597 - 62,30269 * B4) * B6^2 + (674361,56 - 142377,78 * B5) + (-10789,394 + 1752,3396 * B5) * B6 + (274,78939 - 84,800761 * B5) * B6^2) / 2$	
42	б) Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха в свиарниках для дорашивания		
43	Расход вентиляционного воздуха, кг/час		
44	в т.ч. подаваемого с наружи здания		
45	в т.ч. из галереи		
46	Разница температур внутреннего и наружного воздуха, °С		
47	Разница температуры внутреннего воздуха и воздуха галереи, °С		
48	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, ккал/час		
49	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, Вт/час		

50	7) Тепловой баланс свинарников для доращивания		
51	Поступление свободного тепла в здание от животных, Вт/час	$=((271568,16-28034,694*B4)+0*B6+(322583,42-38158,333*B5)+0*B6)/2$	
52	Теплопотери на обогрев вентиляционного воздуха, Вт/час	$=((487250,98-107155,1*B4)+(-7855,7215+885,19316*B4)*B6+(180,41224-74,633746*B4)*B6^2+(682243,5-145850*B5)+(-9466,5272+1204,8463*B5)*B6+(316,22493-101,58482*B5)*B6^2)/2$	
53	Теплопотери на испарение влаги, Вт/час	$=((40055,214-3721,4286*B4)+0*B6+(46827,181-5065,2778*B5)+0*B6)/2$	
54	Теплопотери через стены, ворота, окна, Вт/час	$=((31208,485-5841,3265*B4)+(-1205,877+163,53923*B4)*B6+(7,1566903-2,7991375*B4)*B6^2+(41838,076-7950,6944*B5)+(-1503,4729+222,59507*B5)*B6+(12,250343-3,8099372*B5)*B6^2)/2$	
55	Теплопотери через крышу, Вт/час	$=((19647,372-744,38776*B4)+(-854,66723+32,744168*B4)*B6+(-0,0097859268+0,0091110786*B4)*B6^2+(21001,951-1013,1944*B5)+(-914,25252+44,568451*B5)*B6+(-0,026365559+0,01240119*B5)*B6^2)/2$	
56	Теплопотери через пол, Вт/час	$=((8366,3316-154,59184*B4)+(-333,63067-18,488219*B4)*B6+(0,32417699-0,28759718*B4)*B6^2+(8647,6458-210,41667*B5)+(-299,98725-25,164521*B5)*B6+(0,84752397-0,39145172*B5)*B6^2)/2$	

57	Выделение тепла обогревательными ковриками, Вт/час	$=((-23948,571+18857,143*B4)+0*B6+(-58263,333+25666,667*B5)+0*B6)/2$	
58	Общий расход тепла, Вт/час	$=\text{СУММ}(B52:B56)$	
59	Тепловой баланс, Вт/час	$=((-331904,45+102923,98*B4)+(11242,192-1844,3234*B4)*B6+(-158,69816+54,730928*B4)*B6^2+(-519197,51+140090,97*B5)+(14598,348-2510,329*B5)*B6+(-258,29325+74,494874*B5)*B6^2)/2$	
60	Затраты тепла в расчете на 1 голу, Вт/час	$=((71,87449-18,877551*B4)+(-2,4630448+0,2730199*B4)*B6+(0,038532253-0,013514334*B4)*B6^2+(106,22639-25,694444*B5)+(-2,9598651+0,37161042*B5)*B6+(0,063124588-0,018394511*B5)*B6^2)/2$	
61	8) Параметры микроклимата в секциях для порослят-отъемышей в зимний период		
62	Температура внутреннего воздуха °С:	$=((20,07551-1,122449*B4)+(2,2295918-0,10204082*B4)*B7+(27,270833-2,9166667*B5)+(1,3847222+0,13888889*B5)*B7)/2$	$=((20,010714-1,0714286*B4)+(1,9704082+0,10204082*B4)*B7+(16,292361+0,0694444*B5)+(1,2694444+0,2777778*B5)*B7)/2$
63	Содержание аммиака, мг/м ³ :	$=((15,467602+0,025510204*B4)+(2,0647959-0,051020408*B4)*B7+(15,421181+0,034722*B5)+(2,1576389-0,069444*B5)*B7)/2$	$=((22,238776-5,3061224*B4)+(1,7108163+0,20408163*B4)*B7+(31,894444-7,2222*B5)+(1,369444+0,277778*B5)*B7)/2$

64	Скорость движения воздуха, м/с:	$=((0,12704082+0,010204082*B4)+(-0,0059183673+0,020408163*B4)*D7+(0,10847222+0,013888*B5)+(-0,043055556+0,027777778*B5)*B7)/2$	$=((0,18211735-0,033163265*B4)+(-0,012397959+0,025510204*B4)*D7+(0,24246528-0,04513888*B5)+(-0,058819444+0,0347222*B5)*B7)/2$
65	Относительная влажность воздуха, %	$=(72,520408+5,1020408*B4+63,236111+6,94444*B5)/2$	$=(77,056122+1,5306122*B4+74,270833+2,08333*B5)/2$
66	Бактериальная обсемененность, тыс. КОЕ/м ³ :		
67	общая	$=(4538,8418-1277,0408*B4+6862,7014-1738,1944*B5)/2$	$=(4569,9439-1301,5306*B4+6938,3681-1771,5278*B5)/2$
68	группа стафилококков	$=(647,43878-115,30612*B4+857,26389-156,9444*B5)/2$	$=(657,80612-123,46939*B4+882,48611-168,05556*B5)/2$
69	группа кишечной палочки	$=(7,9438776-1,5306122*B4+10,729167-2,08333*B5)/2$	$=(9,2397959-2,5510204*B4+13,881944-3,472222*B5)/2$
70	9) Продуктивность молодняка свиней на дорацивании в зимний период в зданиях различного типа		
71	Живая масса 1 гол. при постановке на дорацивание, кг	$=(4,1867347+4,1836735*B4-3,4263889+5,694444*B5)/2$	$=(4,8346939+3,6734694*B4-1,85+5*B5)/2$
72	Живая масса 1 гол. при снятии с дорацивания, кг	$=(24,521429+7,8571429*B4+10,223611+10,694444*B5)/2$	$=(27,566837+5,4591837*B4+17,632639+7,4305556*B5)/2$
73	Абсолютный прирост за период дорацивания, кг	$=(20,169898+3,7244898*B4+13,392361+5,069444*B5)/2$	$=(22,567347+1,8367347*B4+19,225+2,5*B5)/2$
74	Среднесуточный прирост за период дорацивания, г	$=(210,56633+79,081633*B4+66,659722+107,63889*B5)/2$	$=(187,88776+96,938776*B4+11,486111+131,94444*B5)/2$
75	Сохранность, %	$=(69,140306+3,8265306*B4+62,177083+5,208333*B5)/2$	$=(71,537755+1,9387755*B4+68,009722+2,6388889*B5)/2$

76	10) Затраты электрической энергии в зимний период в помещениях цеха дорашивания за месяц, кВт/ гол		
77	Вентиляция	$=(2,4554592-0,76020408*B4+3,8388194-1,0347222*B5)/2$	
78	Подогрев воздуха	$=(10,876531-3,3673469*B4+17,004167-4,583333*B5)/2$	
79	Подогрев пола	$=(-3,7988776+4,0306122*B4-11,133472+5,486111*B5)/2$	
80	Освещение	$=(-0,10607143+0,10714286*B4-0,30104167+0,14568333*B5)/2$	
81	Раздача корма	$=(0,12239796-0,025510204*B4+0,16881944-0,0347222*B5)/2$	
82	Затраты на подачу воды	$=(0,063520408+0,0051020408*B4+0,05423611+0,00694444*B5)/2$	
83	Затраты на перекачку навозных масс	$=(0,94285714-0,28571429*B4+1,4627778-0,388889*B5)/2$	
84	Итого	$=СУММ(B77:B83)$	
85	11) Экономическая эффективность дорашивания молодняка свиней в зимний период в зависимости от варианта реконструкции		
86	Получено прироста за период дорашивания, всего, ц	$=(131,2699-16,27551*B4+160,88681-22,152778*B5)/2$	$=(74,508673+28,418367*B4+22,795139+38,680556*B5)/2$
87	Получено прироста на 1 гол. при переводе на откорм, кг	$=(20,169898+3,7244898*B4+13,392361+5,069444*B5)/2$	$=(22,567347+1,8367347*B4+19,225+2,5*B5)/2$
88	Среднесуточный прирост, г	$=(210,56633+79,081633*B4+66,659722+107,63889*B5)/2$	$=(187,88776+96,938776*B4+11,486111+131,9444*B5)/2$
89	Объем энергозатрат за период дорашивания на сектор, кВт	$=(23042,148-5350,5102*B4+32778,59-7282,6389*B5)/2$	$=(19416,816-2495,9184*B4+23958,694-3397,2222*B5)/2$
90	Стоимость энергозатрат за период дорашивания, тыс. руб.	$=(4920,5776-1340,6122*B4+7360,1194-1824,7222*B5)/2$	$=(4548,973-1048,0102*B4+6456,0604-1426,4583*B5)/2$

91	Стоимость энергозатрат на 1 ц прироста, тыс.руб./ ц	$= (43,095918 - 11,020408 * B4 + 63,15 - 15 * B5) / 2$	$= (43,419898 - 11,27551 * B4 + 63,938194 - 15,347222 * B5) / 2$
-----------	---	--	--

Таблица 2 – Блок-программа моделирования зооигиенических и зоотехнических параметров зданий для поросят на доращивании в зависимости от теплофизических трендов ограждающих конструкций свинокомплекс «Борисовский»

	A	D	E
1		Свинокомплекс "Борисовский" (традиционная технология)	
2		реконструкция	реконструкция с использованием подвешенного потолка
3	Коэффициенты сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, $R_o, m^2 \cdot ^\circ C / Вт$		
4	наружные стены, (1,27-3,23) $R_o, m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	3,23	
5	перекрытия (2,27...3,71) $R_o, m^2 \cdot ^\circ C / Вт$	3,71	
6	Температура наружного воздуха (0...-24), $^\circ C$	-24	
7	Зооигиенические параметры на высоте (0,5...1,5), м	0,5	
8	1) Количество тепла, выделяемого поросятами на доращивании		
9	Количество секций в свинарнике	$= ((13,591837 - 2,0408163 * D4) + (17,305556 - 2,77777 * D5)) / 2$	
10	Количество животных в секции, голов	$= ((105,61224 + 153,06122 * D4) + (-172,91667 + 208,333 * D5)) / 2$	
11	Средняя масса поросенка на доращивании, кг	$= ((20 + 0 * D4) + (20 + 0 * D5)) / 2$	
12	Поступление свободной теплоты от 1 животного, ккал/час	$= ((86,7 + 0 * D4) + (86,7 + 0 * D5)) / 2$	

13	Нормативная температура воздуха в помещении, °С	$=((22+0*D4)+(22+0*D5))/2$	
14	Коэффициент приведения теплоступлений к нормативной температуре	$=((0,54+0*D4)+(0,54+0*D5))/2$	
15	Поступление свободного тепла в секцию, Вт/ч	$=((5276,7602+8802,551*D4)+(-10741,438+11981,25*D5))/2$	
16	Поступление свободного тепла в здание, Вт/час	$=((145411,94+28034,694*D4)+(94396,583+38158,333*D5))/2$	
17	2) Поступление влаги, г/час		
18	Количество секций в свинарнике	$=13,591837-2,0408163*D4$	
19	Количество животных в секции, голов	$=105,61224+153,06122*D4$	
20	Поступление водных паров от 1 животного	$=((59,5+0*D4)+(59,5+0*D5))/2$	
21	Поступление влаги от животных, г/час в секцию	$=((11840,066+16229,082*D4)+(-17692,354+22089,583*D5))/2$	
22	Поступление влаги от животных, г/час в свинарник	$=((296797,1+47375,51*D4)+(210586,83+64483,333*D5))/2$	
23	Добавочная влага, 10% от влаги, выделяемой животными	$=((29679,051+4737,7551*D4)+(21057,653+6448,6111*D5))/2$	
24	Итого поступившей влаги в свинарник, г/час	$=((326476,15+52113,265*D4)+(231644,49+70931,944*D5))/2$	
25	3) Расход вентиляционного воздуха		
26	Влагопоступление в свинарник, г/час	$=((560985,85-52113,265*D4)+0*D6+655817,51-70931,944*D5)/2$	

27	Температура воздуха в галерее, °С	$=((-10,367347+8,1632653*D4)+(-0,34326409+0,27028668*D4)*D6+(-0,00192845+0,0015184645*D4)*D6^2+(-25,2222+11,11111*D5)+(-0,83511077+0,36789021*D5)*D6+(-0,0046916336+0,002066799*D5)*D6^2)/2$	
28	Расход вентиляционного воздуха, м3/час	$=((33660,327+8281,6327*D4)+(131,07007+575,82784*D4)*D6+(5,1218508+11,169521*D4)*D6^2+(18590,056+11272,222*D5)+(-916,77665+783,76567*D5)*D6+(-15,203576+15,20296*D5)*D6^2)/2$	
29	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$=((40394,347+9936,7347*D4)+(157,25914+691,04832*D4)*D6+(6,1500916+13,400753*D4)*D6^2+(22312,25+13525*D5)+(-1100,2568+940,59354*D5)*D6+(-18,235557+18,239914*D5)*D6^2)/2$	
30	Объем помещения в расчете на 1 животное, м ³	$=(0,69846939+0,86734694*D4+(-0,87986111+1,1805556*D5))/2$	
31	4) Расход вентиляционного воздуха в свинарниках для дорацивания		
32	Влагодоступление в свинарник, г/час	$=(494802+0*D4+494802+0*D5)/2$	$=(494802+0*D4+494802+0*D5)/2$

33	Температура воздуха в галерее, °С	$=((-5,8316327+4,5918367*D4)+(-0,32860787+0,25874636*D4)*D6+(-0,00694242+0,0054664724*D4)*D6^2+(-14,1875+6,25*D5)+(-0,79945437+0,35218254*D5)*D6+(-0,016889881+0,0074404764*D5)*D6^2)/2$	$=((-6,479518+5,1020408*D4)+(-0,17896016+0,14091351*D4)*D6+(0,00154276-0,0012147716*D4)*D6^2+(-15,763889+6,944444*D5)+(-0,4353836+0,19179894*D5)*D6+(0,0037533069-0,0016534392*D5)*D6^2)/2$
34	Расход вентиляционного воздуха, м³/час	$=((35951,51+6477,551*D4)+(697,10402+130,13182*D4)*D6+(13,607802+4,4876699*D4)*D6^2+(24164,167+8816,6667*D5)+(460,30025+177,12387*D5)*D6+(5,4414896+6,1082174*D5)*D6^2)/2$	$=((39750,495+3486,2245*D4)+(1123,9078-205,93416*D4)*D6+(32,987567-10,771987*D4)*D6^2+(33406,535+4745,1389*D5)+(1498,6508-280,29927*D5)*D6+(52,589592-14,661872*D5)*D6^2)/2$
35	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$=((42102,367+8591,8367*D4)+(689,24283+272,16352*D4)*D6+(11,995609+8,7979832*D4)*D6^2+(26467,611+11694,444*D5)+(193,98082+370,44479*D5)*D6+(-4,0142761+11,975033*D5)*D6^2)/2$	$=((47701,383+4183,1633*D4)+(1348,8298-247,19632*D4)*D6+(39,588643-12,928815*D4)*D6^2+(40089,188+5693,75*D5)+(1798,6585-336,46166*D5)*D6+(63,115494-17,597553*D5)*D6^2)/2$
36	Объем помещения в расчете на 1 животное, м³	$=(1,9943878-0,15306122*D4+2,2729167-0,208333*D5)/2$	$=(2,3442857-0,42857143*D4+3,1241667-0,58333*D5)/2$
37	5) Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха для свиноматок		
38	Расход вентиляционного воздуха, кг/час		
39	Разница температур внутреннего и поступающего воздуха, °С		

40	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, ккал/час		
41	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, Вт/час		
42	б) Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха в свиарниках для доращивания		
43	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$=((42102,367+8591,8367*D4)+(689,24283+272,16352*D4)*D6+(11,995609+8,7979832*D4)*D6^2+(26467,611+11694,444*D5)+(193,98082+370,44479*D5)*D6+(-4,0142761+11,975033*D5)*D6^2)/2$	$=((47701,383+4183,1633*D4)+(1348,8297-247,19632*D4)*D6+(39,588643-12,928815*D4)*D6^2+(40089,188+5693,75*D5)+(1798,6585-336,46166*D5)*D6+(63,115494-17,597553*D5)*D6^2)/2$
44	в т.ч. подаваемого с наружи здания	0	$=((-19832,087+15615,816*D4)+(-178,36928+140,44825*D4)*D6+(0,70118443-0,55211372*D4)*D6^2+(-48248,535+21254,861*D5)+(-433,94608+191,16567*D5)*D6+(1,705878-0,75148813*D5)*D6^2)/2$
45	в т.ч. из галерей	$=((-45262,541+35639,796*D4)+(-1016,2145+800,16888*D4)*D6+(-26,186036+20,618926*D4)*D6^2+(-110117,07+48509,722*D5)+(-2472,2996+1089,1188*D5)*D6+(-63,706754+28,064649*D5)*D6^2)/2$	$=((-19831,439+15615,306*D4)+(-178,2582+140,36079*D4)*D6+(0,70581267-0,55575801*D4)*D6^2+(-48246,958+21254,167*D5)+(-433,67584+191,04663*D5)*D6+(1,7171379-0,7564484*D5)*D6^2)/2$
46	Разница температур внутреннего и наружного воздуха, °С	0	$=((-14,903061+11,734694*D4)+(0,64795918-0,5102008*D4)*D6+(-36,25944+15,972222*D5)+(1,5763889-0,6944444*D5)*D6)/2$

47	Разница температуры внутреннего воздуха и воздуха галереи, °С	$= ((28,831633 - 4,5918367 * D4) + (-1,3193513 + 0,25145772 * D4) * D6 + (0,00694242 - 0,0054664724 * D4) * D6^2 + (37,1875 - 6,25 * D5) + (-1,7769345 + 0,342619 * D5) * D6 + (0,016889881 - 0,0074404764 * D5) * D6^2) / 2$	$= ((29,479592 - 5,1020408 * D4) + (-1,468999 + 0,36929057 * D4) * D6 + (-0,00154276 + 0,0012147716 * D4) * D6^2 + (38,763889 - 6,94444 * D5) + (-2,1410053 + 0,506455 * D5) * D6 + (-0,0037533069 + 0,0016534392 * D5) * D6^2) / 2$
48	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, ккал/час	$= ((330171,98 - 29555,102 * D4) + (-8358,9264 + 2112,3858 * D4) * D6 + (103,89568 - 27,807337 * D4) * D6^2 + (383954,06 - 40227,778 * D5) + (-12202,882 + 2875,1918 * D5) * D6 + (154,4973 - 37,848876 * D5) * D6^2) / 2$	$= ((310906,21 - 14385,204 * D4) + (-4741,3695 - 736,08418 * D4) * D6 + (173,52545 - 82,633929 * D4) * D6^2 + (337083,28 - 19579,861 * D5) + (-3401,9007 - 1001,8924 * D5) * D6 + (323,89624 - 112,47396 * D5) * D6^2) / 2$
49	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, Вт/час	$= ((396205,59 - 35465,816 * D4) + (-10030,995 + 2534,9702 * D4) * D6 + (124,6655 - 33,365221 * D4) * D6^2 + (460743,52 - 48272,917 * D5) + (-14643,937 + 3450,3761 * D5) * D6 + (185,38093 - 45,413774 * D5) * D6^2) / 2$	$= ((373087,05 - 17262,245 * D4) + (-5689,8132 - 883,28352 * D4) * D6 + (208,22485 - 99,159983 * D4) * D6^2 + (404499,54 - 23495,833 * D5) + (-4082,4826 - 1202,247 * D5) * D6 + (388,66847 - 134,96775 * D5) * D6^2) / 2$
50	7) Тепловой баланс свиарников для доращивания		
51	Поступление свободного тепла в здание от животных, Вт/час	$= (235964 + 0 * D4 + 235964 + 0 * D5) / 2$	$= (235964 + 0 * D4 + 235964 + 0 * D5) / 2$
52	Теплопотери на обогрев вентиляционного воздуха, Вт/час	$= ((396205,59 - 35465,816 * D4) + (-9899,0646 + 2494,1247 * D4) * D6 + (130,16262 - 35,067116 * D4) * D6^2 + (460743,52 - 48272,917 * D5) + (-14437,679 + 3394,7809 * D5) * D6 + (193,97503 - 47,730242 * D5) * D6^2) / 2$	$= ((373087,05 - 17262,245 * D4) + (-5557,8824 - 924,12898 * D4) * D6 + (213,72197 - 100,86188 * D4) * D6^2 + (404499,54 - 23495,833 * D5) + (-3876,2244 - 1257,8422 * D5) * D6 + (397,26257 - 137,28422 * D5) * D6^2) / 2$

53	Теплопотери на испарение влаги, Вт/час	$= (35329 + 0 \cdot D4 + 35329 + 0 \cdot D5) / 2$	$= (35329 + 0 \cdot D4 + 35329 + 0 \cdot D5) / 2$
54	Теплопотери через стены, ворота, окна, Вт/час	$= ((27570,194 - 2976,5306 \cdot D4) + (-1198,3915 + 157,64516 \cdot D4) \cdot D6 + (9,421462 - 4,5824223 \cdot D4) \cdot D6^2 + (32986,653 - 4051,3889 \cdot D5) + (-1485,2619 + 214,57258 \cdot D5) \cdot D6 + (17,760198 - 6,2371859 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$	$= ((30843,036 - 5553,5714 \cdot D4) + (-1380,2065 + 300,80661 \cdot D4) \cdot D6 + (5,0350097 - 1,1285228 \cdot D4) \cdot D6^2 + (40948,993 - 7559,0278 \cdot D5) + (-1927,591 + 409,431255 \cdot D5) \cdot D5 + (7,0886077 - 1,5360449 \cdot D5) \cdot D5^2) / 2$
55	Теплопотери через крышу, Вт/час	$= ((22558,047 - 3036,2571 \cdot D4) + (-980,68631 + 131,97179 \cdot D4) \cdot D6 + (0,0029418428 - 0,00091078724 \cdot D4) \cdot D6^2 + (28083,191 - 4132,6833 \cdot D5) + (-1220,8383 + 179,62827 \cdot D5) \cdot D6 + (0,0045992226 - 0,0012396826 \cdot D5) \cdot D6^2)$	$= ((21731,691 - 2385,5832 \cdot D4) + (-944,78105 + 103,69993 \cdot D4) \cdot D6 + (0,0029418428 - 0,00091078724 \cdot D4) \cdot D6^2 + (26072,789 - 3247,0438 \cdot D5) + (-1133,4861 + 141,14713 \cdot D5) \cdot D6 + (0,0045992226 - 0,0012396826 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$
56	Теплопотери через пол, Вт/час	$= ((9373,9082 - 947,95918 \cdot D4) + (-447,0621 + 70,827862 \cdot D4) \cdot D6 + (0,65161869 + 0,48074587 \cdot D4) \cdot D6^2 + (11098,931 - 1290,2778 \cdot D5) + (-575,94913 + 96,40459 \cdot D5) \cdot D6 + (1,5264426 + 0,65434855 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$	$= ((9390,7551 - 961,22449 \cdot D4) + (-450,11214 + 73,229469 \cdot D4) \cdot D6 + (-0,69095906 + 0,51172255 \cdot D4) \cdot D6^2 + (11139,917 - 1308,333 \cdot D5) + (-583,36943 + 99,67344 \cdot D5) \cdot D6 + (1,6221519 + 0,69651124 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$
57	Выделение тепла обогревательными ковриками, Вт/час		
58	Общий расход тепла, Вт/час	$= \text{СУММ}(D52:D56)$	$= \text{СУММ}(E52:E56)$

59	Тепловой баланс, Вт/час	$=((-255072,69+42426,531 \cdot D4) + (12525,224 - 2854,5845 \cdot D4) \cdot D6 + (-138,93463 + 39,169096 \cdot D4) \cdot D6^2 + (-332277,19 + 57747,222 \cdot D5) + (17719,774 - 3885,4067 \cdot D5) \cdot D6 + (-210,21151 + 53,313492 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$	$=((-234417,7 + 26162,755 \cdot D4) + (8332,9061 + 446,45286 \cdot D4) \cdot D6 + (-218,07205 + 101,48202 \cdot D4) \cdot D6^2 + (-282026,65 + 35610,417 \cdot D5) + (7520,4859 + 607,67194 \cdot D5) \cdot D6 + (-402,74114 + 138,12831 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$
60	Заграты тепла в расчете на 1 году, Вт/час	$=((60,729592 - 10,102041 \cdot D4) + (-2,97410069 + 0,67535227 \cdot D4) \cdot D6 + (0,033441145 - 0,0095055882 \cdot D4) \cdot D6^2 + (79,1125 - 13,75 \cdot D5) + (-4,2029604 + 0,91922948 \cdot D5) \cdot D6 + (0,050738675 - 0,012938162 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$	$=((55,805102 - 6,2244898 \cdot D4) + (-1,9750698 - 0,11121235 \cdot D4) \cdot D6 + (0,052339954 - 0,02438654 \cdot D4) \cdot D6^2 + (67,131944 - 8,472222 \cdot D5) + (-1,7726942 - 0,15137236 \cdot D5) \cdot D6 + (0,096716684 - 0,033192791 \cdot D5) \cdot D6^2) / 2$
61	8) Параметры микроклимата в секциях для посят-отъемшей в зимний период		
62	Температура внутреннего воздуха °C:	$=((17,904847 + 0,58673469 \cdot D4) + (2,2943878 - 0,15306122 \cdot D4) \cdot D7 + (16,837153 + 0,7986111 \cdot D5) + (2,5729167 - 0,2083333 \cdot D5) \cdot D7) / 2$	$=((17,354082 + 1,0204082 \cdot D4) + (2,3591837 - 0,20408163 \cdot D4) \cdot D7 + (18,460069 + 0,59027778 \cdot D5) + (1,9576389 - 0,06944444 \cdot D5) \cdot D7) / 2$
63	Содержание аммиака, мг/м ³ :	$=((17,379082 - 1,4795918 \cdot D4) + (1,8704082 + 0,10204082 \cdot D4) \cdot D7 + (20,071528 - 2,0138889 \cdot D5) + (1,6847222 + 0,13888889 \cdot D5) \cdot D7) / 2$	$=((17,897449 - 1,8877551 \cdot D4) + (1,7408163 + 0,20408163 \cdot D4) \cdot D7 + (21,332639 - 2,569444 \cdot D5) + (1,369444 + 0,277778 \cdot D5) \cdot D7) / 2$
64	Скорость движения воздуха, м/с:	$=((0,13352041 + 0,0051020408 \cdot D4) + (0,02 \cdot D7 + (0,12423611 + 0,00694449 \cdot D5) \cdot D7) / 2$	$=((0,1367602 + 0,0025510204 \cdot D4) + (0,01350408 + 0,0051020408 \cdot D4) \cdot D7 + (0,13211806 + 0,00347222 \cdot D5) + (0,00423611 + 0,00694444 \cdot D5) \cdot D7) / 2$
65	Относительная влажность воздуха, %	$=(79,647959 - 0,51020408 \cdot D4 + 80,576389 - 0,6944444 \cdot D5) / 2$	$=(84,183673 - 4,0816327 \cdot D4 + 91,611111 - 5,555556 \cdot D5) / 2$

66	Бактериальная обсемененность, тыс. КОЕ/м ³ :		
67	общая	$= (3960,2143 - 821,42857 * D4 + 5454,9861 - 1118,0556 * D5) / 2$	$= (3550,7041 - 498,97959 * D4 + 4458,7083 - 679,16667 * D5) / 2$
68	группа стафилококков	$= (748,52041 - 194,89796 * D4 + 1103,1806 - 265,27778 * D5) / 2$	$= (388,90306 + 88,265306 * D4 + 228,28472 + 120,13889 * D5) / 2$
69	группа кишечной палочки	$= (7,9438776 - 1,5306122 * D4 + 10,729167 - 2,083333 * D5) / 2$	$= (6 + 0 * D4 + 6 + 0 * D5) / 2$
70	9) Продуктивность молодняка свиней на доращивании в зимний период в зданиях различного типа		
71	Живая масса 1 гол. при постановке на доращивание, кг	$= (9,6295918 - 0,10204082 * D4 + 9,8152778 - 0,13888889 * D5) / 2$	$= (9,5647959 - 0,051020408 * D4 + 9,6576389 - 0,0694444 * D5) / 2$
72	Живая масса 1 гол. при снятии с доращивания, кг	$= (33,268878 + 0,96938776 * D4 + 31,504861 + 1,3194444 * D5) / 2$	$= (32,944898 + 1,2244898 * D4 + 30,716667 + 1,666667 * D5) / 2$
73	Абсолютный прирост за период доращивания, кг	$= (23,47449 + 1,122449 * D4 + 21,431944 + 1,5277778 * D5) / 2$	$= (23,280102 + 1,2755102 * D4 + 20,959028 + 1,736111 * D5) / 2$
74	Среднесуточный прирост за период доращивания, г	$= (292,85714 + 14,285714 * D4 + 266,86111 + 19,44444 * D5) / 2$	$= (290,91327 + 15,816327 * D4 + 262,13194 + 21,527778 * D5) / 2$
75	Сохранность, %	$= (71,667347 + 1,8367347 * D4 + 68,325 + 2,5 * D5) / 2$	$= (70,112245 + 3,0612245 * D4 + 64,541667 + 4,166667 * D5) / 2$
76	10) Затраты электрической энергии в зимний период в помещениях цеха доращивания за месяц, кВт/ гол		
77	Вентиляция	$= (-0,6547449 + 1,688755 * D4 - 3,7278472 + 2,2986111 * D5) / 2$	$= (1,2113776 + 0,21938776 * D4 + 0,81215278 + 0,2986111 * D5) / 2$
78	Подогрев воздуха	$= (3,1010204 + 2,755102 * D4 - 1,9125 + 3,75 * D5) / 2$	$= (5,6928571 + 0,71428571 * D4 + 4,3930556 + 0,9722222 * D5) / 2$
79	Подогрев пола	$= (2,1753061 - 0,67346939 * D4 + 3,4008333 - 0,9166667 * D5) / 2$	$= (2,1753061 - 0,67346939 * D4 + 3,4008333 - 0,9166667 * D5) / 2$
80	Освещение	$= (0,023520408 + 0,0051020408 * D4 + 0,014236111 + 0,00694444 * D5) / 2$	$= (0,017040816 + 0,010204082 * D4 - 0,001527778 + 0,01388889 * D5) / 2$

81	Раздача корма	$= (0,10943878 - 0,015306122 * D4 + 0,13729167 - 0,02083333 * D5) / 2$	$= (0,09 + 0 * D4 + 0,09 + 0 * D5) / 2$
82	Затраты на подачу воды	$= (0,082959184 - 0,010204082 * D4 + 0,10152778 - 0,01388889 * D5) / 2$	$= (0,089438776 - 0,015306122 * D4 + 0,11729167 - 0,02083333 * D5) / 2$
83	Затраты на перекачку навозных масс	$= (0,66423469 - 0,066326531 * D4 + 0,78493056 - 0,09027778 * D5) / 2$	$= (0,71607143 - 0,1074286 * D4 + 0,91104167 - 0,1458333 * D5) / 2$
84	Итого	$= СУММ(D77:D83)$	$= СУММ(E77:E83)$
85	11) Экономическая эффективность доразивания молодняка свиней в зимний период в зависимости от варианта реконструкции		
86	Получено прироста за период доразивания, всего, ц	$= (100,49184 + 7,9591837 * D4 + 86,008333 + 10,8333 * D5) / 2$	$= (97,057653 + 10,663265 * D4 + 77,653472 + 14,513889 * D5) / 2$
87	Получено прироста на 1 гол. при переводе на откорм, кг	$= (23,47449 + 1,122449 * D4 + 21,431944 + 1,527778 * D5) / 2$	$= (23,280102 + 1,2755102 * D4 + 20,959028 + 1,736111 * D5) / 2$
88	Среднесуточный прирост, г	$= (292,85714 + 14,285714 * D4 + 266,86111 + 19,444 * D5) / 2$	$= (290,91327 + 15,816327 * D4 + 262,13194 + 21,527778 * D5) / 2$
89	Объем энергозатрат за период доразивания на сектор, кВт	$= (8780,5663 + 5879,0816 * D4 - 1917,7292 + 8002,0833 * D5) / 2$	$= (15946,995 + 236,22449 * D4 + 15517,132 + 321,52778 * D5) / 2$
90	Стоимость энергозатрат за период доразивания, тыс. руб.	$= (3458,7816 - 189,59184 * D4 + 3803,7861 - 258,05556 * D5) / 2$	$= (4193,3082 - 767,95918 * D4 + 5590,7806 - 1045,2778 * D5) / 2$
91	Стоимость энергозатрат на 1 ц прироста, тыс.руб./ ц	$= (33,311735 - 3,3163265 * D4 + 39,346528 - 4,5138889 * D5) / 2$	$= (39,506224 - 8,1938776 * D4 + 54,416806 - 11,152778 * D5) / 2$

Таблица 3 – Блок-программа моделирования зоогигиенических и зоотехнических параметров зданий для молодняка свиней на откорме в зависимости от теплофизических трендов ограждающих конструкций

	А	В	С
1		Свинокомплекс "Заря"	
2		реконструкция (естественная вентиляция)	реконструкция (датская система микроклимата)
3	Коэффициенты сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$		
4	наружные стены, (1,27...3,23) $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	1,4	2,42
5	перекрытия (2,27...3,71) $R_0, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	1,87	3,2
6	Температура наружного воздуха (0...-24), °C	-24	-24
7	Зоогигиенические параметры на высоте (0,5...1,5), м	0,5	0,5
8	1) Количество тепла, выделяемого животными, Вт/час		
9	Количество секций в свинарнике	$= (6+0 \cdot B_4 + 6+0 \cdot B_5) / 2$	
10	Количество животных в секции, гол.	$= (600+0 \cdot B_4 + 600+0 \cdot B_5) / 2$	
11	Средняя масса животного, гол.	$= (80+0 \cdot B_4 + 80+0 \cdot B_5) / 2$	
12	Поступило свободного тепла от одного животного, ккал/час	$= (185+0 \cdot B_4 + 185+0 \cdot B_5) / 2$	
13	Нормативная температура воздуха в помещении, °C	$= (16+0 \cdot B_4 + 16+0 \cdot B_5) / 2$	
14	Коэффициент приведения теплопоступлений к нормативной температуре	$= (0,82+0 \cdot B_4 + 0,82+0 \cdot B_5)$	
15	Поступило свободного тепла в секцию, ккал/час	$= (91020+0 \cdot B_4 + 91020+0 \cdot B_5) / 2$	
16	Поступило свободного тепла в секцию, Вт/час	$= (109224+0 \cdot B_4 + 109224+0 \cdot B_5) / 2$	
17	Поступило свободного тепла в здание, Вт/час	$= (655344+0 \cdot B_4 + 655344+0 \cdot B_5) / 2$	
18	2) Поступление влаги, г/час		
19	Количество секций в свинарнике	$= (6+0 \cdot B_4 + 6+0 \cdot B_5) / 2$	

20	Количество животных в секции, голов	$=(600+0*B4+600+0*B5)/2$	
21	Поступление водяных паров от одного животного, г/час	$=(124+0*B4+124+0*B5)/2$	
22	Нормативная температура, °С	$=(16+0*B4+16+0*B5)/2$	
23	Коэффициент приведения влагопоступлений к нормативной температуре	$=(1,4+0*B4+1,4+0*B5)/2$	
24	Поступление влаги от животных в секцию, г/ч	$=(89280+0*B4+89280+0*B5)/2$	
25	Добавочная влага, 10% от влаги, выделяемой животными	$=B24*0,1$	
26	Поступление влаги в секцию, г/час	$=(98208+0*B4+98208+0*B5)/2$	
27	Поступление влаги в свиарник, г/час	$=(589248+0*B4+589248+0*B5)/2$	
28	3) Расход вентиляционного воздуха		
29	Влагопоступление (в свиарник), г/час	$=B27$	
30	Абсолютная влажность внутреннего воздуха, г/кг	$=10,2+0*B6$	
31	Абсолютная влажность поступающего воздуха, г/кг	$=3,49+0,25432143*B6+0,0052321429*B6^2$	
32	Разница	$=6,71-0,25432143*B6-0,0052321429*B6^2$	
33	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$=87816+2659,1798*B6+62,727976*B6^2$	
34	Расход вентиляционного воздуха, м ³ /час	$=105380+3191,1857*B6+75,278571*B6^2$	
35	Объем помещения в расчете на животное, м ³	$=5,1+0*B6$	
36	Кратность воздухообмена свиарника в час	$=5,7+0,16928571*B6+0,0039285714*B6^2$	
37	4) Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха		
38	Расход вентиляционного воздуха, кг/час	$=105380+3191,1857*B6+75,278571*B6^2$	
39	Разница температур внутреннего и наружного воздуха	$=16-1*B6$	
40	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, ккал/час	$=404659-8701,0286*B6+137,45714*B6^2$	

41	Расход тепла на обогрев вентиляционного воздуха свиарника, Вт/час	$=485591-10441,2*B6+164,95*B6^2$	
42	5) Расход тепла на испарение влаги в свиарниках		
43	Испарение воды с ограждающих конструкций, г/час	$=(53568+0*B4+53568+0*B5)/2$	
44	Расход тепла на испарение 1 г влаги, ккал	$=(0,595+0*B4+0,595+0*B5)/2$	
45	Расход тепла на испарение влаги из свиарника, ккал/час	$=(31876+0*B4+31876+0*B5)/2$	
46	Расход тепла на испарение влаги из свиарника, Вт/час	$=(38248+0*B4+38248+0*B5)/2$	
47	6) Тепловой баланс свиарника-откормочника		
48	Поступление свободного тепла в здание от животных, Вт/час	$=655344+0*B6$	$=655344+0*C6$
49	Теплопотери на обогрев вентиляционного воздуха, Вт/час	$=485591-10441,2*B6+164,95*B6^2$	$=485591-10441,2*C6+164,95*C6^2$
50	Теплопотери на испарение влаги, Вт/час	$=38248+0*B6$	$=38248+0*C6$
51	Теплопотери через стены, ворота, окна	$=30999-2084,2429*B6-6,1142857*B6^2$	$=18838-1012,2357*C6+3,8964286*C6^2$
52	Теплопотери через крышу	$=35034,968-2189,7087*B6$	$=20112,839-1257,0436*C6$
53	Теплопотери через пол	$=1094,032-683,79128*B6$	$=10941,032-683,79128*C6$
54	Общий расход тепла	$=600814-15398,943*B6+158,83571*B6^2$	$=573731-13394,212*C6+168,84881*C6^2$
55	Тепловой баланс	$=54530+15398,943*B6-158,83571*B6^2$	$=81613+13394,212*C6-168,84881*C6^2$
56	Затраты тепла в расчете на 1 голову, Вт/час	$=0,00015987212-2,122619*B6+0,1077381*B6^2$	$=5,3290705E-14-0,50571429*C6+0,14142857*C6^2$
57	7) Тепловой баланс свиарника-откормочника с учетом ограждающих конструкций		
58	Поступление свободного тепла в здание от животных, Вт/час	$=(655344+0*B4+0*B6+655344+0*B5+0*B6)/2$	

59	Теплопотери на обогрев вентиляционного воздуха, Вт/час	$= ((485591 + 0 * B_4) + (-10441,2 + 0 * B_4) * B_6 + (164,95 + 0 * B_4) * B_6^2 + (485591 + 0 * B_5) + (-10441,2 + 0 * G_56) * B_6 + (164,95 + 0 * B_5) * B_6^2) / 2$	
60	Теплопотери на испарение влаги, Вт/час	$= (38248 + 0 * B_4 + 0 * B_6 + 38248 + 0 * B_5 + 0 * B_6) / 2$	
61	Теплопотери через стены, ворота, окна	$= ((47690,569 - 11922,549 * B_4) + (-3555,6253 + 1050,9875 * B_4) * B_6 + (-19,854482 + 9,8144258 * B_4) * B_6^2 + (48097,549 - 9143,609 * B_5) + (-3591,5011 + 806,02045 * B_5) * B_6 + (-20,189501 + 7,5268529 * B_5) * B_6^2) / 2$	
62	Теплопотери через крышу	$= ((55516,322 - 14629,538 * B_4) + (-3469,8373 + 914,37755 * B_4) * B_6 + (56015,76 - 11219,646 * B_5) + (-3501,0499 + 701,25195 * B_5) * B_6) / 2$	
63	Теплопотери через пол	$= ((-12421,458 + 9653,9126 * B_4) + (-683,79128 + 0 * B_4) * B_6 + (-12750,998 + 7403,7594 * B_5) + (-683,79128 + 0 * B_5) * B_6) / 2$	
64	Общий расход тепла	$= ((637986,75 - 26551,961 * B_4) + (-18150,535 + 1965,4225 * B_4) * B_6 + (145,09224 + 9,8167647 * B_4) * B_6^2 + (638893,11 - 20363,158 * B_5) + (-18217,625 + 1507,3165 * B_5) * B_6 + (144,75714 + 7,5286466 * B_5) * B_6^2) / 2$	

65	Тепловой баланс	$= ((17357,255 + 26551,961 * B_4) + (18150,535 - 1965,4225 * B_4) * B_6 + (-145,09224 - 9,8167647 * B_4) * B_6^2 + (16450,895 + 20363,158 * B_5) + (18217,625 - 1507,3165 * B_5) * B_6 + (-144,75714 - 7,5286466 * B_5) * B_6^2) / 2$	
66	Затраты тепла в расчете на 1 голову, Вт/час	$= ((0,00037930444 - 0,00015673737 * B_4) + (-4,3419 + 1,5852007 * B_4) * B_6 + (0,061496278 + 0,033029873 * B_4) * B_6^2 + (0,00038465472 - 0,0001202046 * B_5) + (-4,3960113 + 1,2157178 * B_5) * B_6 + (0,060368793 + 0,02533118 * B_5) * B_6^2) / 2$	
67	8) Параметры микроклимата в секциях для свиней на откорме в зимний период		
68	Температура внутреннего воздуха, °C	$= ((21,55 + 0 * B_4) + (0,7 + 0 * B_4) * B_7 + (21,55 + 0 * B_5) + (0,7 + 0 * B_5) * B_7) / 2$	$= ((19,3 + 0 * C_4) + (1,4 + 0 * C_4) * C_7 + (19,3 + 0 * C_5) + (1,4 + 0 * C_5) * C_7) / 2$
69	Содержание аммиака, мг/м ³ :	$= ((12,9 + 0 * B_4) + (-1,4 + 0 * B_4) * B_7 + (12,9 + 0 * B_5) + (-1,4 + 0 * B_5) * B_7) / 2$	$= ((9,85 + 0 * C_4) + (-0,7 + 0 * C_4) * C_7 + (9,85 + 0 * C_5) + (-0,7 + 0 * C_5) * C_7) / 2$
70	Скорость движения воздуха, м/с:	$= ((0,011 + 0 * B_4) + (0 + 0 * B_4) * B_7 + (0,011 + 0 * B_5) + 0 * B_7) / 2$	$= ((0,2 + 0 * B_4) + (0 * B_4) * B_7 + (0,2 + 0 * C_5) + 0 * C_7) / 2$
71	Относительная влажность воздуха, %	$= (119,3549 - 18,039216 * B_4 + 119,97068 - 13,834586 * B_5) / 2$	
72	Бактериальная обсемененность, тыс. КОЕ/ м ³ :		
73	общая	$= (676,03922 - 144,31373 * B_4 + 680,96541 - 110,67669 * B_5) / 2$	
74	группа стафилококков и стрептококков	$= (161,89216 - 53,1372558 * B_4 + 163,70602 - 40,75188 * B_5) / 2$	
75	группа кишечной палочки	$= (19,258824 - 1,4705882 * B_4 + 19,309023 - 1,1278195 * B_5) / 2$	
76	9) Продуктивность свиней на откорме в зимний период в зданиях различного типа		

77	Живая масса 1 головы при пост. на откорм, кг	$= (43,641176 + 1,4705882 * B4 + 43,590977 + 1,1278195 * B5) / 2$	
78	Живая масса 1 головы при снятии с откорма, кг	$= (109,12549 + 5,1960784 * B4 + 108,94812 + 3,9849624 * B5) / 2$	
79	Среднесуточный прирост за период откорма, г	$= (549,70588 + 32,352941 * B4 + 548,6015 + 24,81203 * B5) / 2$	
80	10) Затраты электрической энергии в зимний период в помещениях для откорма свиней за месяц, кВт/гол		
81	Вентиляция	$= (-1,5784314 + 1,127451 * B4 - 1,6169173 + 0,86455165 * B5) / 2$	
82	Освещение	$= (0,21 + 0 * B4 + 0,21 + 0 * B5) / 2$	
83	Раздача корма	$= (0,86 + 0 * B4 + 0,86 + 0 * B5) / 2$	
84	Затраты на подачу воды	$= (1,03 + 0 * B4 + 1,03 + 0 * B5) / 2$	
85	Затраты на перекачку навозных масс	$= (0,11 + 0 * B4 + 0,11 + 0 * B5) / 2$	
86	Итого	$= \text{СУММ}(B81:B85)$	
87	11) Экономическая эффективность энергозатрат при откорме свиней в зимний период в зависимости от варианта реконструкции		
88	Получено прироста, всего, ц	$= (390,88235 + 22,941176 * B4 + 390,09925 + 17,593985 * B5) / 2$	
89	Получено прироста на 1 голову при снятии с откорма, кг	$= (65,147059 + 3,8235294 * B4 + 65,016541 + 2,9323308 * B5) / 2$	
90	Среднесуточный прирост, г	$= (549,70588 + 32,352941 * B4 + 548,6015 + 24,81203 * B5) / 2$	
91	Объем энергозатрат за период откорма, кВт	$= (1490,502 + 2660,7843 * B4 + 1399,6752 + 2040,6015 * B5) / 2$	
92	Стоимость энергозатрат за период откорма, тыс. руб.	$= (152,07843 + 271,37255 * B4 + 142,81504 + 208,1203 * B5) / 2$	
93	Энергозатраты на 1 ц прироста, тыс. руб./ц	$= (0,50509804 + 0,53921569 * B4 + 0,48669173 + 0,41353383 * B5) / 2$	
94	Стоимость дополнительной продукции на 1 голову, тыс. руб.	$= (-4,8864706 + 14,911765 * B4 - 5,3954887 + 11,43609 * B5) / 2$	
95	Дополнительная прибыль на 1 голову за период откорма, тыс. руб.	$= (-3,5515686 + 14,372549 * B4 - 4,0421805 + 11,022556 * B5) / 2$	

Чтобы воспользоваться компьютерной программой для моделирования зоотехнических и зоогигиенических параметров для зданий на

доращивании необходимо скопировать в лист электронной таблицы MS Excel в диапазон A1:E91, изменяющие ячейки B4:E7 в границах параметров, указанных в ячейках A3:A7. Для зданий, в которых размещен молодняк свиней на откорме, компьютерную программу нужно скопировать в электронную таблицу MS Excel в диапазон A1:C95, изменяющие ячейки B4:C7 в границах параметров, указанных в ячейках A3:A7. Пользователь в ручном режиме вносит численные значения в изменяющиеся ячейки.

Компьютерные программы в полном объеме воспроизводят численные значения, представленные в первоисточниках [1, 2, 6], из которых они были взяты. Это позволило одновременно контролировать в режиме реального времени как правильность проведенных расчетов, так и установить пределы моделирования зоотехнических и зоогигиенических параметров.

При проведении имитационного моделирования выявлено ряд расчетных ошибок, которые не заметили авторы опубликованных материалов. Это указывает на то, что как новому строительству, так и любой модернизации (реконструкции) свиноводческих зданий, связанных с решением теплотехнических задач, должно предшествовать математическое моделирование гигиенических и технологических трендов.

Заключение. Впервые на постсоветском пространстве разработан цифровой двойник зоотехнических и теплотехнических характеристик реконструированных зданий для содержания свиней на доращивании и откорме.

Использование компьютерной программы позволило опровергнуть утверждение исследователей, что для увеличения экономической эффективности при выращивании и откорме молодняка свиней необходимо проводить тепловую реабилитацию свиноводческих зданий при этом повышая коэффициент сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций: наружных стен выше $2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а перекрытий – выше $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Имитационное моделирование теплотехнических и зоогигиенических характеристик дает возможность в автоматическом режиме рассчитать тепло-влажностный баланс зданий, расход тепла, уровень продуктивности молодняка свиней.

Компьютерная программа минимизирует трудозатраты на выявления основных трендов в уровне продуктивности животных и зоогигиеническом качестве условий содержания свиней на выращивании и откорме содержащихся в реконструированных помещениях.

Литература

1. Рекомендации по усовершенствованию технологических и технических решений систем вентиляции, навозоудаления, водопотребления для содержания свиней в цехе доращивания. – Жодио, 2008. – 18 с.
2. Ходосовский, Д. Н. Теоретические основы и практические методы ведения

адаптивного свиноводства : автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук / Д.Н. Ходосовский. – Жодино, 2012. – 45 с.

3. Зарыхта, К. Как построить теплый дом! Все что мы хотели узнать о Пенофол™, но боялись спросить / К. Зарыхта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masterbetonov.ru/content/view/16030/128>. – Дата доступа. 10.03.2021.

4. Эта скандальная строительная теплофизика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.allbeton.ru/forum/topic6311.html>. – Дата доступа. 10.03.2021.

5. Гигиена свиней: биотеплофизическая основа разработки специализированного программного обеспечения : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник., С. Е. Лещина, С. В. Соляник, В. А. Соляник, А. А. Соляник. – Горки : БГСХА, 2020. – 283 с

6. Рекомендации по созданию оптимального микроклимата в цехе откорма свиней реконструируемых и вновь строящихся свиноводческих комплексов. - Жодино, 2010. – 27 с.

7. Соляник, В. В. Методика разработки математических функций от одной и двух переменных, для создания динамических моделей в области зоотехнии и зоогигиены / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2013. – Т. 48, ч. 2. – С. 232 - 245.

8. Соляник, А. В. Общетеоретические основы использования численных методов в принятии управленческих решения в свиноводстве: монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, А. А. Соляник. – Горки, 2013. – 412 с.

Поступила 15.03.3021 г.

УДК 636.4.083.37:614.9

Д.Н. ХОДОСОВСКИЙ, В.И. БЕЗЗУБОВ, А.А. ХОЧЕНКОВ,
И.И. РУДАКОВСКАЯ, В.А. БЕЗМЕН, А.С. ПЕТРУШКО,
А.Н. СОЛЯНИК, Т.А. МАТЮШОНОК

СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБИТИЯ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ НА ДЛИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩИХ КОМПЛЕКСАХ

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

С целью снижения выбытия молодняка разработана схема применения биологически активных и дезинфицирующих веществ на длительно действующем промышленном комплексе. Установлено, что для этого целесообразно применять подкислители, пробиотики и антистрессовые препараты через систему поения, а также проводить дезинфекцию в присутствии животных препаратом «Сталосан Ф» в течении двух смежных дней в неделю и при возникновении диарей у молодняка в станке, что позволяет повысить среднесуточный прирост на 20-31 г ($P<0,05$), снизить отход и выбраковку поросят на 1,2-1,4 %.

Ключевые слова: свинокомплексы, молодняк свиней, выбытие, поение, биологически активные вещества.