

В. В. СОЛЯНИК, С. В. СОЛЯНИК

## **МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗООТЕХНИИ И ЗООГИГИЕНЕ**

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

Установлено, что цифровые двойники основываются на выявленных зависимостях и математически формализованных закономерностях, а при проектировании алгоритмов расчета используют граничные условия, криволинейные и нелинейные функции взаимосвязей параметров. Главная цель разработки цифровых двойников – это полное воспроизведение конкретного процесса через численные значения, которые легко проверяются (подтверждаются или опровергаются) независимыми исследователями на основе их профессиональных знаний. В данном случае исследователи выступают в роли тестировщика программного обеспечения в IT-сфере, то есть специалиста, принимающего участие в тестировании компонента или системы.

**Ключевые слова:** зоотехния, зоогигиена, технология, объективный контроль, цифровые двойники, имитационное моделирование

V.V. SOLYANIK, S.V. SOLYANIK

## **METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TWINS FOR SCIENTIFIC AND PRODUCTION PROCESSES IN ZOOTECHNICS AND ZOOHYGIENE**

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

It has been established that digital twins are based on identified dependencies and mathematically formalized regularities, and use boundary conditions, curvilinear and nonlinear functions of parameter relationships in the calculation algorithm design. The main goal of developing digital twins is to fully reproduce a particular process through numerical values that can be easily verified (confirmed or disproved) by independent researchers based on their professional knowledge. In this case, researchers act as software testers in the IT field, that is, professionals involved in testing a component or system.

**Keywords:** zootechnics, zoohygiene, technology, objective control, digital twins, simulation modeling

**Введение.** По общему правилу цифровой двойник может воспроизводить с высокой степенью достоверности численных значений физически (биологически, гигиенически) протекающий процесс исключительно в известных граничных условиях. Учитывая, что в основе цифровых двойников лежат криволинейные и нелинейные функции от одной или двух переменных, то они лишены возможности прогнозировать течение процессов за ограничениями конкретных характеристик [1-4].

Для прогнозирования в экономике животноводства, но в наибольшей степени в селекции животных, применяются исключительно прямолинейные зависимости. Дело в том, что речь идёт не о зоотехническом «поведении» конкретной статистической выборки, а популяции животных, для которой характерен закон нормального распределения [5-7].

Цель статьи – разработать методологию цифровых двойников для научно-производственных процессов в зоотехнии и зоогигиене.

**Материал и методика исследований.** Разработка цифрового двойника процесса (цепочки) или отдельного этапа (звена) для зоотехнии, зоогигиены, зооэкологии и другим научно-практическим направлениям, включает следующие шаги:

1) по направлениям исследований изучение научных публикаций (таблиц, массивов, графиков, диаграмм), сбор, анализ и структурирование исходной информации (численных данных) по группам (выборкам);

2) воспроизведение условно первичных данных, на основе генератора случайных чисел и статистически обработанных данных, опубликованных в таблицах научных работ (статей, отчетов, монографий и др.);

3) статистическая обработка исходной группы однотипных данных (определяются границы изменения данных; среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение, коэффициент изменчивости и др.);

4) определение уровня достоверности различий между выборками;

5) выявление направления зависимости между изменяющимися исходными парными параметрами (положительная, отрицательная корреляция);

6) математическая формализация установленных закономерностей между парными параметрами (аппроксимационные функции от одной переменной) или тремя параметрами (функции от двух переменных);

7) разработка квадратной матрицы взаимосвязанных парных исходных параметров, включающих математические функции от одной переменной. Для проверки достоверности воспроизведения первичных данных в квадратной матрице каждая её строка подвергается статистической обработке с установлением процента ошибки между моделируемыми и исходными численными значениями характеристик;

8) разработка блок-программы, включающей: исходные (изменяющиеся) данные, алгоритм расчёта (включающий функции от одной или двух переменных);

9) группировка блок-программ решения задач для этапа (звена) или процесса (цепочки), использование функции «Поиск решения» табличного процессора MS Excel с целью оптимизации результата по минимальному, максимальному или точному численному значению.

Пункты 6-9 могут быть самодостаточными цифровыми двойниками, воспроизводящими с высокой степенью точности процесс (этап), который необходимо было оцифровать. Функцию «Поиск решения», (пункт 9), можно полноценно использовать в пунктах 6-8. За последние пару пятилеток нами разработано несколько десятков цифровых двойников для зоотехнии и зоогигиены.

На протяжении последних полтора лет в зоотехнической науке выявление зависимостей ограничивались и ограничиваются, исключительно решением вопросов по пунктам 3-5 из представленных шагов разработки цифровых двойников. Отсутствие возможности компьютерного имитационного моделирования биологических и технологических процессов не позволяет иметь высокие, а самое главное, стабильные производственные параметры работы подотраслей животноводства, и как результат, почти отрицательная рентабельность по большинству сельхозорганизаций, производящих продукцию животного происхождения.

Для того чтобы лист блок-программы (п.п. 6-9) представить в публикации в научном издании (статье, монографии) необходимо воспользоваться сервисом MS Excel «Показать функцию» и скопировать необходимую информацию в лист текстового процессора MS Word.

На странице журнала (книги, брошюры) технически сложно, а порой и невозможно, в полном объёме поместить информацию, содержащейся в матрице (размером от  $5 \times 5$  до  $50 \times 50$  и более), с ячейками, образующимися пересечением столбцов и строк, включающих функции в 20-100 знаков и более. Для выхода из этой ситуации из блок-программы копируется информация, которая содержится в 2-3 столбцах матрицы.

По общему правилу, объём научной статьи в журнале или сборнике научных трудов ограничен 14000-16000 печатных знаков, включая пробелы, знаки препинания, цифры, авторский иллюстрационный материал. Следовательно, чтобы опубликовать содержание матрицы размером  $50 \times 50$  потребуется почти пятьдесят научных статей. Дело в том, что научная публикация должна обязательно содержать следующие разделы: введение, материалы и методы исследований, результаты исследований и их обсуждение, заключение (выводы), литература. Поэтому, чтобы выйти из этого положения, приходится писать монографию или

в статьях излагать лишь описательную информацию, которую читатель не сможет воспроизвести у себя на компьютере, то есть нет возможности, с использованием цифрового двойника, проводить имитационное моделирование процесса, для которого он предназначен.

Ситуация с невозможностью вынести на обсуждение научного сообщества цифровые двойники процессов и их этапов в полном объеме, то есть развернутые листинги компьютерных программ, вызывает большую озабоченность. Дело в том, что если читатель не может в полном объеме осознать суть и особенности того или иного цифрового двойника, ему кажется, что они отсутствуют. Поэтому для подавляющего большинства учёных-зоотехников и всех без исключения зоотехников-практиков рассказ о цифровых двойниках является алогичным. Дело в том, что зоотехники зачастую или вовсе не владеют знаниями в табличном процессоре MS Excel, или являются начинающими пользователями электронных таблиц. При этом оценка функциональности цифровых двойников происходит исходя из субъективного мнения зоотехнического работника, из его компетенции и квалификации в этой специальности и научном направлении.

Разработка цифрового двойника зоотехнической питательности кормов включает три этапа: 1) определение взаимозависимости между ингредиентами конкретного вида корма; 2) статистический анализ ингредиентов корма; 3) собственно разработка цифрового двойника для конкретного вида корма.

Цифровой двойник представляет собой матрицу, реализованную в MS Excel, включающую математически формализованные парные закономерности, а также блок описательной статистики для каждого зоохимического показателя конкретного корма колосовых, зерновых и бобовых кормов (таблица 1).

Таблица – Блок-программа модели цифрового двойника зоотехнического и химического состава зерна ячменя

	<b>А</b>	<b>В</b>	<b>С</b>	<b>Д</b>	<b>Е</b>	<b>Ф</b>
<b>1</b>		Сухое вещество, (г/кг)	Сырая зола (г/кг СВ)*	Переваримость ОВ (%)	Переваримое ОВ (г/кг СВ)	Сырой протеин общий (г/кг СВ)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<i>MIN</i>	<i>861</i>	<i>24</i>	<i>83,2</i>	<i>811</i>	<i>116</i>
<b>3</b>	<i>MAX</i>	<i>905</i>	<i>29</i>	<i>86,4</i>	<i>840</i>	<i>161</i>
<b>4</b>	<b>Изменяемые ячейки (в пределах min-max)</b>	<b>874</b>	<b>25</b>	<b>84,1</b>	<b>820</b>	<b>119</b>
<b>5</b>	Сухое вещество, (г/кг)	=B4	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
<b>6</b>	Сырая зола (г/кг СВ)*	=f(B5)	=C4	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
<b>7</b>	Переваримость ОВ (%)	=f(B5)	=f(C6)	=D4	=f(E8)	=f(F9)

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
8	Переваримое ОВ (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=E4	=f(F9)
9	Сырой протеин общий (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=F4
10	Растворимый СП (% от СП)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
11	Сырой жир (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
12	Сырая клетчатка (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
13	Сахар (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
14	Крахмал (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
15	Нейтрально детергентная клетчатка (NDF) (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
16	Лизин (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
17	Метионин (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
18	Обменная энергия (МДж/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)
19	Неструктурные углеводы (г/кг СВ)	=f(B5)	=f(C6)	=f(D7)	=f(E8)	=f(F9)

Примечание: \*здесь и далее: СВ – сухое вещество; ОВ – органическое вещество; СП – сырой протеин

Продолжение таблицы

	G	H	I	J	K
1	Растворимый СП (% от СП)	Сырой жир (г/кг СВ)	Сырая клетчатка (г/кг СВ)	Сахар (г/кг СВ)	Крахмал (г/кг СВ)
2	20	19	44	23	484
3	28	31	57	32	554
4	21	31	56	27	554
5	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
6	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
7	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
8	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
9	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
10	=G4	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
11	=f(G10)	=H4	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
12	=f(G10)	=f(H11)	=I4	=f(J13)	=f(K14)
13	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=J4	=f(K14)
14	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=K4
15	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
16	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
17	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
18	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)
19	=f(G10)	=f(H11)	=f(I12)	=f(J13)	=f(K14)

Продолжение таблицы

	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>
<b>1</b>	Нейтрально детергентная клетчатка (NDF) (г/кг СВ)	Лизин (г/кг СВ)	Метионин (г/кг СВ)	Обменная энергия (МДж/кг СВ)	Неструктур- ные угле- воды (г/кг СВ)
<b>2</b>	177	7,3	2,7	12,8	583
<b>3</b>	209	7,7	2,8	12,9	644
<b>4</b>	<b>201</b>	<b>7,3</b>	<b>2,7</b>	<b>12,8</b>	<b>635</b>
<b>5</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>6</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>7</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>8</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>9</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>10</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>11</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>12</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>13</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>14</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>15</b>	=L4	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>16</b>	=f(L15)	=M4	=f(N17)	=f(O18)	=f(P19)
<b>17</b>	=f(L15)	=f(M16)	=N4	=f(O18)	=f(P19)
<b>18</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=O4	=f(P19)
<b>19</b>	=f(L15)	=f(M16)	=f(N17)	=f(O18)	=P4

Продолжение таблицы

	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>U</b>
<b>1</b>	<i>Описательная статистика</i>			
<b>2</b>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>Количество n</i>	<i>Среднее M</i>
<b>3</b>				
<b>4</b>				
<b>5</b>	=МИН(B5:P5)	=МАКС(B5:P5)	=СЧЁТ(B5:P5)	=СРЗНАЧ(B5:P5)
<b>6</b>	=МИН(B6:P6)	=МАКС(B6:P6)	=СЧЁТ(B6:P6)	=СРЗНАЧ(B6:P6)
<b>7</b>	=МИН(B7:P7)	=МАКС(B7:P7)	=СЧЁТ(B7:P7)	=СРЗНАЧ(B7:P7)
<b>8</b>	=МИН(B8:P8)	=МАКС(B8:P8)	=СЧЁТ(B8:P8)	=СРЗНАЧ(B8:P8)
<b>9</b>	=МИН(B9:P9)	=МАКС(B9:P9)	=СЧЁТ(B9:P9)	=СРЗНАЧ(B9:P9)
<b>10</b>	=МИН(B10:P10)	=МАКС(B10:P10)	=СЧЁТ(B10:P10)	=СРЗНАЧ(B10:P10)
<b>11</b>	=МИН(B11:P11)	=МАКС(B11:P11)	=СЧЁТ(B11:P11)	=СРЗНАЧ(B11:P11)
<b>12</b>	=МИН(B12:P12)	=МАКС(B12:P12)	=СЧЁТ(B12:P12)	=СРЗНАЧ(B12:P12)
<b>13</b>	=МИН(B13:P13)	=МАКС(B13:P13)	=СЧЁТ(B13:P13)	=СРЗНАЧ(B13:P13)
<b>14</b>	=МИН(B14:P14)	=МАКС(B14:P14)	=СЧЁТ(B14:P14)	=СРЗНАЧ(B14:P14)
<b>15</b>	=МИН(B15:P15)	=МАКС(B15:P15)	=СЧЁТ(B15:P15)	=СРЗНАЧ(B15:P15)
<b>16</b>	=МИН(B16:P16)	=МАКС(B16:P16)	=СЧЁТ(B16:P16)	=СРЗНАЧ(B16:P16)
<b>17</b>	=МИН(B17:P17)	=МАКС(B17:P17)	=СЧЁТ(B17:P17)	=СРЗНАЧ(B17:P17)
<b>18</b>	=МИН(B18:P18)	=МАКС(B18:P18)	=СЧЁТ(B18:P18)	=СРЗНАЧ(B18:P18)
<b>19</b>	=МИН(B19:P19)	=МАКС(B19:P19)	=СЧЁТ(B19:P19)	=СРЗНАЧ(B19:P19)

Продолжение таблицы

	V	W	X
1			
2	<i>ОшибкаСредний m</i>	<i>СреднеКвадрОткл сигма</i>	<i>КоефВариации Cv</i>
3			
4			
5	=W5/T5^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B5:P5)	=(W5/U5)*100
6	=W6/T6^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B6:P6)	=(W6/U6)*100
7	=W7/T7^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B7:P7)	=(W7/U7)*100
8	=W8/T8^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B8:P8)	=(W8/U8)*100
9	=W9/T9^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B9:P9)	=(W9/U9)*100
10	=W10/T10^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B10:P10)	=(W10/U10)*100
11	=W11/T11^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B11:P11)	=(W11/U11)*100
12	=W12/T12^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B12:P12)	=(W12/U12)*100
13	=W13/T13^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B13:P13)	=(W13/U13)*100
14	=W14/T14^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B14:P14)	=(W14/U14)*100
15	=W15/T15^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B15:P15)	=(W15/U15)*100
16	=W16/T16^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B16:P16)	=(W16/U16)*100
17	=W17/T17^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B17:P17)	=(W17/U17)*100
18	=W18/T18^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B18:P18)	=(W18/U18)*100
19	=W19/T19^0,5	=СТАНДОТКЛОН(B19:P19)	=(W19/U19)*100

Численные значения, находящиеся в столбце U (диапазон ячеек U5:U19), используются в программе оптимизации рационов кормления свиней.

Цифровые двойники 13 наименований кормов зернобобовых культур, используемых в кормлении свиней, включают более трёх тысяч математических функций парных взаимосвязей, которые являются оригинальными и новыми знаниями. Каждая математическая функция патентоспособная как способ оценки динамики конкретного зоохимического показателя корма. В настоящее время нецелесообразно инициировать получение нескольких тысяч патентов, так как сумма, уплачиваемой при этом государственной пошлины, может достичь несколько сотен тысяч белорусских рублей.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Для того, чтобы выявить критические точки в технологии функционирования любого свиного комплекса, необходимо создать его цифровую копию, то есть через выявление математических закономерностей технологических, биологических, зоогигиенических и зоотехнических процессов создать методику прогнозирования продуктивных качеств свиней и индикаторных показателей гематологического профиля [8].

Основу методики прогнозирования продуктивности свиней составляют математические закономерности формирования уровня продуктивности свиней различных половозрастных групп путем: во-первых, математического моделирования течения обменных процессов в организме свиней через конкретные гематологические показатели; во-

вторых, контроля выполнения зоотехнических норм кормления свиней во взаимосвязи с конкретными видами кормов используемых в рационах; в-третьих, экономического анализа всех звеньев технологической цепочки свиного комплекса для повышения финансовой доходности от его функционирования [9]. Это позволяет создать методику, позволяющую на конкретном свином комплексе выявлять нарушения в кормлении и содержании всех, без исключения, половозрастных групп свиней, оперативно предлагать пути решения по устранению этих недочётов и тем самым повышать рентабельность производства свинины [10].

На протяжении последнего пятилетия нами разрабатываются цифровые двойники различных технологических процессов производства продукции животноводства. Для создания цифровых двойников необходимо, во-первых, определить направление взаимозависимости параметров, а во-вторых, выявить и математически формализовать закономерности [11-13].

Цифровой двойник конкретного вида корма, в том числе и растительного происхождения, представляет собой квадратную матрицу, в каждой ячейке которой находится аппроксимационная функция выявленной закономерности парной взаимосвязи параметров. Направление взаимосвязи определяется методами описательной статистики [14-15].

Для составления перечня зоотехнических показателей питательности кормов была обезличено проанализирована база данных спектральной лаборатории Skarb-Lab, которая является эксклюзивным партнером Eurofins Agro в Беларуси. В этой лаборатории исследования производятся с использованием спектроскопии ближнего инфракрасного излучения – NIRS, оборудование аттестовано нидерландскими экспертами. В кормах определяется до 40 показателей, в том числе 8 уникальных и 25 базовых, характеризующих параметры протеиновой питательности, энергетической ценности, стабильности питательных веществ и энергии в корме, переваримости кормов и др. Также использовалась информация, содержащаяся в открытых научных публикациях, в том числе в сети Интернет [16-19].

Разработанные цифровые двойники кормов растительного происхождения позволяют проектировать оптимальные рационы кормления свиней, основываясь на взаимозависимости химических и зоотехнических показателей состава конкретных кормов включенный в рацион, и проводить минимальное количество лабораторных исследований показателей зоотехнического анализа (2-3 наиболее дешевых параметра, например, сухое вещество, клетчатка, зола), чтобы смоделировать численные значения 12-13 показателей.

Практическое применение цифровых двойников кормов даёт возможность в условиях производства комбикормов экономить денежные



средства для проведения полного зоотехнического анализа кормов растительного происхождения, используемых в кормлении свиней. При этом разработанные цифровые двойники колосовых, зерновых и бобовых культур можно использовать при прогнозировании объёмов производства продукции животного происхождения, учитывая естественное плодородие сельскохозяйственных земель [20].

**Заключение.** Впервые доказано, что цифровые двойники основываются на выявленных зависимостях и математически формализованных закономерностях, а при проектировании алгоритмов расчёта используют граничные условия, криволинейные и нелинейные функции взаимосвязей параметров. Главная цель разработки цифровых двойников – это полное воспроизведение конкретного процесса через численные значения, которые легко проверяются (подтверждаются или опровергаются) независимыми исследователями на основе их профессиональных знаний. В данном случае исследователи выступают в роли тестировщика программного обеспечения в IT-сфере, то есть специалиста, принимающего участие в тестировании компонента или системы.

#### Литература

1. Соляник, А.В. Методология цифровизации зоотехнии и гигиены животных / А. В. Соляник, С. В. Соляник, В. В. Соляник // Актуальные проблемы преподавания естественнонаучных и специальных дисциплин в учреждениях высшего и среднего специального образования сельскохозяйственного профиля : сб. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры высшей математики и физики. – Горки : БГСХА, 2020. – С. 78-81.
2. 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.
3. Соляник, С. В. Моделирование значений первичных зоотехнических данных по опытным группам и уровня достоверности различий между выборками / С. В. Соляник // Сб. науч. статей. – с. Соленое Займище, 2018. – С. 913-918.
4. Соляник, В. В. Методология прогнозирования уровня продуктивности свиней в зависимости от влияния основных микроклиматических факторов / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2013. – Т. 48, ч. 2. – С. 245-253.
5. Соляник, А. В. Теоретическая и практическая разработка специализированного программного обеспечения для свиноводства : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, С. В. Соляник. – Горки, 2012. – 324 с.
6. Соляник, А. В. Зоотехническая статистика в электронных таблицах : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, В. А. Соляник. – Горки, 2012. – 434 с.
7. Соляник, А. В. Общетеоретические основы использования численных методов в принятии управленческих решений в свиноводстве : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, А. А. Соляник. – Горки, 2013. – 412 с.
8. Соляник, С. В. Основные подходы к планированию развития комбикормовой отрасли Республики Беларусь / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Проблеми виробництва і переробки продовольчої сировини та якості і безпечності харчових продуктів : зб. наук. праць II міжнар. наук.-практ. конф., м. Житомир, 14–15 травня 2020 р. – Житомир, 2020. – С. 244-247.

9. Соляник, С. В. Высокобелковые культуры – важнейшие ингредиенты комбикормов / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Проблеми виробництва і переробки продовольчої сировини та якості і безпечності харчових продуктів : зб. наук. праць II міжнар. наук.-практ. конф., м. Житомир, 14–15 травня 2020 р. – Житомир, 2020. – С. 247-250.
10. Соляник, В. В. Компьютерный алгоритм расчета оптимальных рационов кормления свиней / В. В. Соляник, С. В. Соляник // Современные тенденции развития аграрного комплекса : материалы междунар. науч.-практ. конф. – с. Солёное Займище, 2016. – С. 1129-1135.
11. Соляник, С. В. Математическое описание продуктивного действия комбикормов, изготовленных по ГОСТу, и фактическая эффективность их использования при откорме молодняка свиней / С. В. Соляник, Н. А. Лешкевич, С. В. Кравцов // Материалы II Междунар. науч.-практ. интернет-конф. – с. Солёное Займище, 2017. – С. 1445-1453.
12. Соляник, С. В. Компьютерная программа для расчета оптимальных по питательности и минимальных по стоимости рационов для мультифазного кормления молодняка свиней / С. В. Соляник // Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности : сб. науч. ст. – Ставрополь, 2018. – С. 151-157.
13. Соляник, С. В. Моделирование норм питательности рационов для мультифазного кормления свиней / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. – Горки : БГСХА, 2018. – Ч. 2. – С. 46-50.
14. Соляник, С. В. Компьютерная программа для автоматизации факториального расчета потребности в обменной энергии для свиней мясного направления / С. В. Соляник // Новости науки в АПК. – Ставрополь, 2018. – Т. 2, № 2(11). – С. 27-31.
15. Соляник, С. В. Экспресс-метод проектирования математических многофакторных зоотехнических моделей / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Актуальные проблемы инновационного развития животноводства : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Брянск, 2019. – С. 220-224.
16. Соляник, С. В. Зоотехнические показатели питательности концентрированных кормов для разработки аппроксимационных функций / С. В. Соляник, В. В. Соляник, А. Н. Соляник // Инновации в животноводстве – сегодня и завтра : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», г. Жодино, 19–20 дек. 2019 г.. – Минск : Белорусская наука, 2019. – С. 522-527.
17. Соляник, С. В. Методика моделирования зоотехнической питательности зерна ячменя и пшеницы используемых в кормлении свиней / С. В. Соляник, В. В. Соляник // Материалы III Междунар. науч.-практ. интернет-конф., 28 февр. 2018 г. – с. Солёное Займище, 2018. – С. 527-538.
18. Соляник, С. В. Методика моделирования зоотехнической питательности зерна кукурузы, включаемой в рационы кормления свиней / С. В. Соляник // Материалы III Междунар. науч.-практ. интернет-конф., 28 февр. 2018 г. – с. Солёное Займище, 2018. – С. 538-545.
19. Соляник, С. В. Овёс и рожь – моделирование зоотехнической питательности зерна при использовании его в кормлении свиней / С. В. Соляник // Материалы III Междунар. науч.-практ. интернет-конф., 28 февр. 2018 г. – с. Солёное Займище, 2018. – С. 545-552.
20. Соляник, С. В. Методика учета естественного плодородия сельскохозяйственных земель для снижения вариабельности при производстве продукции животного происхождения в сельхозпредприятиях Беларуси / С. В. Соляник // Материалы III Междунар. науч.-практ. интернет-конф., 28 февр. 2018 г. – с. Солёное Займище, 2018. – С. 72-77.

*Поступила 12.03.2022 г.*