

В. В. СОЛЯНИК, С. В. СОЛЯНИК

**ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК МЕТОДИКИ ОБЪЕКТИВНОГО
КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ
(НА ПРИМЕРЕ СВИНОВОДСТВА)**

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

Согласно материалам статьи, цифровой двойник объективного контроля сельхозпредприятия должен базироваться на мониторинге расчётного счёта предприятия, на бухгалтерских проводках, на анализе товарно-транспортных накладных и т. д. Причём, объективный контроль необходимо осуществлять в режиме реального времени заинтересованными лицами с обязательным информированием всех работников предприятия. Обосновано временное равенство двух технологических периодов: подсосного, дорашивания, откорма молодняка свиней и выращивания ремонтных свинок, их осеменение и супоросности. Закономерность в равенстве двух технологических периодов является основой для внедрения СВ-технологии, один из элементов которой является исключение из производственного цикла группы основных свиноматок и передача на убой свинок-первопоросок, от которых отняты поросята-сосуны.

Ключевые слова: зоотехния, зоогигиена, технология, объективный контроль, цифровые двойники.

V.V. SOLYANIK, S.V. SOLYANIK

**DIGITAL TWIN METHODOLOGY FOR OBJECTIVE
CONTROL OF LIVESTOCK PRODUCTION TECHNOLOGY
(THROUGH THE EXAMPLE OF PIG BREEDING)**

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

According to the materials of the article, the digital twin of objective control of the agricultural enterprise should be based on monitoring the enterprise's current account, on accounting entries, on the analysis of waybills, etc. Moreover, objective control should be carried out in real time by persons concerned with the obligatory informing of all employees of the enterprise. The temporal equality of two technological periods is justified: suckling, completion of growing, fattening of young pigs and rearing of replacement gilts, their insemination and pregnancy. The regularity in the equality of the two technological periods is the basis for the implementation of self-

developing type-related technology (ST-technology), one of the elements of which is the exclusion of the group of main sows from the production cycle and the transfer for slaughter of the first-litter sows, from which suckling piglets are weaned.

Keywords: zootechnics, zoohygiene, technology, objective control, digital twins.

Введение. На протяжении десятилетий, как в Советском Союзе, так и в постсоветских государствах, основным критерием эффективности научно-хозяйственных опытов, проводимых исследователями и специалистами в области зоотехнии, был и остаётся сам факт выполнения экспериментов и списания материально-финансовых затрат. В то же время выходная научная продукция, точнее результаты экспериментов, никогда не воспроизводились независимыми исследователями. Как итог, в своём большинстве научные эксперименты не давали положительных, финансово подтверждённых производственных результатов при осуществлении так называемых мероприятий по внедрению выходной научной продукции. Поэтому результаты проведённых экспериментов указываются в научных отчётах по заданиям государственных программ научных исследований, в научных статьях и в исключительных случаях – при подаче заявки на получение патента [1].

Советские и постсоветские учёные-зоотехники, имея некоторое представление о направлении взаимосвязей отдельных биологических и физиологических процессов, никогда не могли указать какие значения одного параметра будут при определённых численных величинах другого. Особенно это негативно сказывается при составлении рационов кормления животных, когда неизвестны математические функции взаимозависимости в кормовых ингредиентах конкретного вида корма. Незнание математических функций взаимосвязей морфологических и биохимических показателей крови конкретного вида животных, возраста и физиологического состояния не способствовало обоснованной интерпретации полученных производственных результатов. Поэтому гематологические данные по подопытным группам, несмотря на то что они статистически обработаны, не представляют достоверной информации о реальных тенденциях протекания процессов в организме подопытных животных, а самое главное – неясно как формировался конкретный уровень продуктивности животных в подопытных группах [2].

До 10-х годов XXI века, то есть до разработки основных подходов цифровизации животноводства и цифровых двойников для зоотехнии, не было математически формализованных взаимосвязей качественных характеристик молока или мяса, получаемых от животных, принадлежащих к различным породам или породным сочетаниям. В итоге в научных статьях представлены исключительно статистически обработанные данные для контрольных и опытных групп, но воспроизвести полученные результаты в аналогичных производственных условиях почти

невозможно. Особенно если при проведении научно-хозяйственных экспериментов не было ни одной повторности, а была только производственная проверка лучшего варианта, полученного исследователями в опыте [3].

Отдельные специалисты в области зоотехнии утверждают, что цифровые двойники для животноводства должны самообучаться, то есть иметь «задатки» искусственного интеллекта. В действительности это глубокое заблуждение, так как цифровой двойник воспроизводит жизненный цикл какого-либо процесса исключительно в граничных условиях. В конце прошлого века для этих целей использовались CALS-технологии. Однако данное направление в нынешнем столетии трансформировалось именно в разработку цифровых двойников, чтобы пользователь мог сам моделировать течение, например, технологического процесса в известных для исследователя границах [4].

По имеющейся информации о реальном функционировании животноводческих объектов, которая подтверждается результатами объективного контроля, технологическая и экономическая ситуация в большинстве белорусских сельскохозяйственных организаций не выдерживают никакой критики с точки зрения зоотехнической науки. Дело в том, что специалисты в области зоотехнии не имеют представления, что такое материалы и данные объективного контроля.

Материалами объективного контроля считаются первичные носители информации (цифровая аудио-, видеозапись, компьютерные файлы, датчики (на кормораздатчиках и зернохранилищах, на весовых системах, на системах вентиляции, отопления, освещения и иных системах микроклимата), камеры фотофиксации, компьютерные системы видеонаблюдения, аналитические приборы, например, морфо-биохимические и иммунологические и т. д.), а данными объективного контроля считаются результаты обработки первичных носителей информации (карточки, протоколы, распечатки, в том числе с цифровых носителей, например, с цифровых биоанализаторов, компьютерных программ 1С, менеджмент стада, ежемесячные отчёты по животноводству, по выполнению баланса кормов, по обороту стада, по движению поголовья, циклограммы использования производственных зданий и др.).

На основе первичных данных объективного контроля разрабатывается цифровой двойник анализируемого процесса – биологического, технологического, экономического, финансового и т. д.

С зооигиенической точки зрения, конечным оценочным признаком действия различных неблагоприятных факторов (стрессов) являются данные о продуктивности животных, являющейся интегрирующим показателем. При этом о силе воздействия стрессов можно судить по воспроизводительной способности животных (длительность охоты,

количество и качество спермы, продуктивность циклов охоты, оплодотворение, течение супоросности, количество приплода, его жизнеспособность), мясной продуктивности, качеству получаемой продукции, заболеваемости и смертности, экономическим показателям [5].

В настоящее время в области свиноводства уже имеется некоторый фактический материал, позволяющий, по крайней мере, прогнозировать характер превращения того или иного вещества в изучаемой биологической системе. Поэтому встаёт задача анализа и разработки методов количественного прогнозирования химического превращения в биологических системах. Эта задача находит решение в рамках системного подхода, основанного на едином математическом описании этих систем, путём построения набора модельных систем, каждая из которых обладает одним или несколькими специфическими свойствами. При этом, как и при всяком моделировании, теряются отдельные свойства, обусловленные внутрисистемными связями. Но полученные результаты в том или ином приближении отражают поведение биологических систем. Всё это позволяет во многом уточнять имеющиеся представления о биохимических и физиологических процессах.

Одним из важных факторов, стимулирующих дальнейшее развитие различных областей естественных наук, является внедрение в них математики, поскольку ещё К. Маркс отмечал, что использование математики – это показатель зрелости науки. Только в век развития компьютерной техники начало реально сбывается то, что более ста лет тому назад гениально предвидел И.П. Павлов, который в 1909 г. сказал: «...Вся жизнь от простейших до сложнейших организмов, включая, конечно, и человека, есть длинный ряд всё усложняющихся до высочайшей степени уравниваний внешней среды. Придёт время, пусть отдалённое, когда математический анализ, опираясь на естественно-научный, охватит величественными формулами уравнений все эти уравнивания, включая в них, наконец, и самого себя».

Нынешняя зоотехническая наука, как сельскохозяйственная отрасль науки, является зрелой, так как широко использует возможности математики и компьютерных технологий. При этом важно имеющуюся информацию и знания о тенденциях течения тех или иных биохимических процессов, численные значения граничных морфо-биохимических параметров по этапам зарождения и формирования продуктивных качеств организма, например, свиней, преобразовать в чёткие математические зависимости.

В настоящее время технологические расчёты в свиноводстве основываются на принятии как постоянных величин таких параметров как: среднесуточный прирост в подсосный период, за период доразщипывания и откорма; многоплодие основных свиноматок и ремонтных свинок и

их соотношение в стаде; прохолост основных свиноматок и ремонтных свинок; процент выбытия (падежа) молодняка свиней в период выращивания и откорма; возраст осеменения ремонтных свинок и др.

Основная проблема при получении достоверных численных значений, характеризующих движения поголовья на действующем свиномкомплексе, являются отличия, порой очень значительные, от величин, заложенных при проектировании товарных свиноводческих объектов (ферм, комплексов). Результатом вариабельности производственно-технологических параметров по неделям и месяцам года является изменчивость в количестве поступающих финансовых средств на расчётный счёт организации от реализации различных по количеству и весовым кондициям поголовья свиней. Эта ситуация наиболее критична для свиноводческих комплексов, которые построены два-три года назад, так как это отражается на сроке окупаемости заёмных (кредитных) средств, взятых для проектирования и возведения объекта. Особенно это характерно для комплексов и ферм, которые производят в расчёте на свиноместо менее 200 кг свинины в живом весе.

Цель работы – разработать цифровой двойник методики объективного контроля технологии производства животноводческой продукции (на примере свиноводства).

Материал и методика исследований. При установлении механизма формирования того или иного численного значения продуктивности животных не имеет принципиального значения точность величины гематологического параметра, а важна комплексная картина трендов их участия в этом процессе. В то же время, прямолинейные зависимости в отдельных случаях дают значительную погрешность, в отличие от криволинейных и нелинейных, что несколько снижает качественные критерии механизма формирования того или иного уровня продуктивности. На наш взгляд, прямолинейные модели целесообразно использовать исключительно в качестве функции определения направления (положительной, отрицательной) корреляции парный выборочный. Хотя и в этом случае присутствует некая условность, так как при низких значениях коэффициента корреляции сложно однозначно сказать является ли зависимость положительной или отрицательной. Поэтому более приемлемым вариантом является разработка аппроксимационной функции, спроектированной в граничных значениях выборки, чтобы аппроксимационные данные, полученные расчётным путём, воспроизводились с минимальной ошибкой к исходным величинам.

Для разработки аппроксимационных кривых, которые бы повышали точность воспроизводимых данных от одной переменной, целесообразно разбивать имеющиеся численные значения на несколько участков, а затем используя функцию ЕСЛИ электронных таблиц MS Excel,

связать в единую формулу. В итоге из криволинейной модели, имеющую большую ошибку по воспроизведению исходных данных, получится нелинейная сложная функция, позволяющая минимизировать эту погрешность. Безусловно, более точный расчёт приведёт к большим трудозатратам на разработку модели и к увеличению количества знаков в математической функции. Поэтому исследователь всегда должен соотносить быстроту расчёта и его точность и как это отразится на выводах по изучаемому процессу.

В любом случае, при разработке аппроксимационных функций в зоотехнии, гигиене и экологии животных важно выявить скрытую закономерность и описать её математически, то есть в виде функции от одной или двух переменных, чтобы была возможность использовать её в цифровизации процессов (моделей, расчётов) объективного контроля. При этом для каждой разработанной функции, или для целой группы, важно указать граничные значения, в которых работают математические формулы и величину ошибки, с которой они воспроизводят исходные данные. Если исследователя не устраивает точность аппроксимационной кривой, то он может провести самостоятельную работу по минимизации ошибки, но для этого он должен изыскать первичные данные, чтобы спроектировать нелинейную функцию.

Использование математических закономерностей в компьютерных программах даёт возможность создавать цифровые двойники объектов исследования в границах параметров, которые ранее были установлены независимыми исследователями. Например, нами предлагается цифровой двойник объективного контроля окупаемости проектирования, строительства и эксплуатации свиного комплекса (таблица). Для определения окупаемости не нужно анализировать оборот стада и движение поголовья на свиноводческих объектах различной производственной мощности, достаточно оценить годовую эффективность работы свиного комплекса с учётом понесенных затрат на его строительство.

Таблица – Цифровой двойник объективного экспресс-контроля животноводческого объекта (свинокомплекс)

	А	В	С
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	Затраты на проектирование, строительство и функционирование свиного комплекса, у.е.	24000000	24000000
2	Количество свиномест	24000	24000
3	Количество работников, чел.	60	60
4	Производство свинины в живом весе, т/год	5000	5000
5	Цена реализации свиней в живом весе, у.е./кг	1	1
6	Себестоимость прироста, у.е./кг	0,9	0,9
7	РАСЧЁТ		
8	Стоимость свиноместа, у.е.	=B1/B2	1000
9	Стоимость рабочего места	=B1/B3	400000

Продолжение таблицы

1	2	3	4
10	Выручка от реализации живых свиней, у.е.	=B4*B5*1000	5000000
11	Прибыль от производства и реализации свиней, у.е.	=B4*B6*1000	500000
12	Окупаемость затрат на проектирование, строительство и функционирование свиного комплекса, лет	=B1/(B10-B11)	48

На наш взгляд, все материально-финансовые затраты на производство животноводческой продукции должны оцениваться исключительно по наличию денежных средств на расчётном счёте сельскохозяйственной организации. Поэтому объективный контроль должен базироваться на мониторинге расчётного счёта предприятия, на бухгалтерских проводках, на анализе товарно-транспортных накладных и т. д. Причём объективный контроль должен осуществляться в режиме реального времени заинтересованными лицами с обязательным информированием всех работников предприятия.

Результаты эксперимента и их обсуждение. При оценке функционирующих свиногокомплексов установлено, что независимо от ритма производства, который заложен при проектировании свиноводческого объекта (3 дня, 7 дней, 14 дней и др.), фактическим был недельный ритм. Именно к конкретным дням недели происходит отъём свиноматок, перевод животных в другие группы или отгрузка откормочного поголовья. Осеменение маточного поголовья осуществляется почти ежедневно, в зависимости от количества пришедших в охоту ремонтных свинок и основных свиноматок.

Главный критерием освобождения станочного оборудования в секторах воспроизводства, выращивания и откорма является максимальный период времени их занятия технологической группой животных, заложенный по проекту с учётом дней на чистку и дезинфекцию свободных площадей. Например, для трёхфазной технологии срок использования маточных станков с подсосными поросятами по проекту составляет 5 недель (35 дней). В этот период включается нахождение в маточных станках тяжелосупоросных свиноматок (3-5 дней) и 2-3 дня на очистку и дезинфекцию. Следовательно, реальный подсосный период для новорождённых поросят составляет 27-30 дней.

Мы здесь не говорим о зоогигиенической абсурдности белорусских ветеринарно-санитарных норм по продолжительности санитарного разрыва измеряемых 7-10 суток, когда использование маточных станков с поросятами-сосунами ограничено проектом – 28 дней. В итоге, если не нарушать требования технических нормативных правовых актов, подсосный период длится 13-18 дней, то есть налицо сверхнормативный отъём поросят, по западной классификации, использование супердорогих

комбикормов для сосунов. В итоге сохранность поголовья и финансовая эффективность выращивания и откорма свиней на конкретном свиноводческом объекте находится под угрозой технологической катастрофы и банкротства.

Именно фактическая и проектная протяжённость подсосного периода влияет на сохранность и дальнейшие приросты поросят, отнятых от свиноматки. Однако данный момент не отражен в бизнес-плане возведенного и функционирующего свиноводческого объекта: с одной стороны, вроде бы подсосный период длится 5 недель, а фактически – на 20 % он короче.

На экономическую эффективность работы свиногомплекса влияет размер буферной группы, в которой находятся холостые свиноматки и ремонтный свинки, у которых уже прошло 2-3 охоты, то есть в возрасте 240 дней (8 месяцев) и более. Дело в том, что фактически на крупных свиногомплексах буферная группа по численности может превышать несколько сотен свиноматок, что не позволяет оперативно оценивать число животных, которые превысили 7-10-дневный период «обоснованного» нахождения в этом секторе. Чтобы избежать этой ситуации целесообразно постановочное размещение маточного поголовья с чётко установленной датой поступления в буферную группу. Например, станок № 3, в котором находится 20 холостых свиноматки, от которых отняли поросят 1 декабря сего года. Следовательно, 11 декабря в станке № 3 не должно быть ни одной свиноматки: или они за это период будут покрыты, или реализованы на убой.

В целом для бесперебойного функционирования свиногомплекса применяется следующая формула:

I. $3 \times (\text{П\&Д} + \text{От} + 2 \text{ Р\&С}) = 12$, [II. $13 \times (\text{П\&Д} + \text{От} + 2 \text{ Р\&С}) = 52$]; период времени: I – в месяцах; II – в неделях; где П\&Д – подсосный период и дорастивание; От – откорм; Р\&С – период выращивания ремонтных свинок и супоросность свиноматок.

Проведём математические преобразование формулы: I. $\text{П\&Д} + \text{От} + 2 \text{ Р\&С} = 4$, [II. $\text{П\&Д} + \text{От} + 2 \text{ Р\&С}) = 4$]; $\text{П\&Д} + \text{От} + 2 \text{ Р\&С} = 4$; $\text{П\&Д} + \text{От} = 2 \text{ Р\&С}$; $1+1=2$; $2=2$.

Следовательно, подсосный период, дорастивание и откорм молодняка свиней по протяжённости времени равен периоду выращивания ремонтных свинок, их осеменению и супоросности. При этом все технологические периоды от рождения поросят и появления следующего поколения свиней в товарном свиноводстве не должны превышать 12 месяцев (один год). По сути, эта закономерность является зоотехнической и зоогигиенической основой для внедрения саморазвивающейся видо-соответствующей технологии (СВ-технологии). Дело в том, что когда оборот стада и движение поголовья на свиноводческом объекте имеет

чёткие временные рамки цикла производства, это благоприятно сказывается на биологической безопасности предприятия в целом. Исключение из последующего технологического цикла основных свиноматок позволяет ликвидировать имеющиеся заболевания или предупредить появления новых, по мере наступления второго и последующих опоросов и физиологического старения свиноматок. В связи с этим целесообразно свинок-первоопоросок после отъёма от них поросят направлять на убой, что позволит снизить технологические риски от инфекционных заболеваний маточного поголовья в будущем.

Таким образом, для ведения объективного контроля любой свиноводческий объект должен иметь паспорт, в котором должно быть указано количество свиномест по секторам воспроизводства и откорма. Используя представленной формулы в табличном процессоре MS Excel можно смоделировать распределения станочного оборудования по половозрастным группам и физиологическим периодам животных, которые будут их занимать в соответствии с недельным технологическим ритмом. Полугодовой период необходимый на получение 100 кг прироста живой массы (от рождения до снятия с откорма) позволяет за 12 месяцев (52 недели) реализовывать не менее 200 кг свинины с одного свиноместа молодняка свиной.

Объективный контроль за эффективностью использования маточных станков, включающий комплектование станков для опороса супоросными свиноматками, способными обеспечить количество отнятых поросят с каждого станка не менее 11 поросят, максимальную сохранность поголовья на всех стадиях производства, технологические приросты молодняка свиной, реализацию выбракованных свиноматок (после первого опороса и отъёма поросят), надлежащим исполнением зоогигиенических норм и правил при содержании всего поголовья позволяет производить в расчёта на каждое свиноместо, согласно паспорта свиноводческого объекта, не менее 210 кг свинины в живом весе.

Заключение. Материально-финансовые затраты на производство животноводческой продукции должны оцениваться исключительно по наличию денежных средств на расчётном счёте сельскохозяйственной организации.

Цифровой двойник объективного контроля сельхозпредприятия должен базироваться на мониторинге расчётного счёта предприятия, на бухгалтерских проводках, на анализе товарно-транспортных накладных и т. д. Причём, объективный контроль должен осуществляться в режиме реального времени заинтересованными лицами с обязательным информированием всех работников предприятия.

Обосновано временное равенство двух технологических периодов: подсосного, дорацивания, откорма молодняка свиной и выращивания

ремонтных свинок, их осеменение и супоросности. Закономерность в равенстве двух технологических периодов является основой для внедрения СВ-технологии, один из элементов которой является исключение из производственного цикла группы основных свиноматок и передача на убой свинок-первоопоросок, от которых отняты поросята-сосуны. Применение технологического решения будет способствовать обеспечению максимальной биологической безопасности свиноводческого объекта в целом, так как минимизируются риски появления и распространения заболеваний, переносчиками которых являются основные свиноматки, имеющих два и более опороса за продуктивную жизнь.

Литература

1. Соляник, А.В. Методология цифровизации зоотехнии и гигиены животных /А.В. Соляник, С.В. Соляник, В.В. Соляник //Актуальные проблемы преподавания естественных 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, 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.
4. Соляник, А. В. Зоотехническая статистика в электронных таблицах : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, В. А. Соляник. – Горки, 2012. – 434 с.
5. Соляник, А. В. Общетеоретические основы использования численных методов в принятии управленческих решении в свиноводстве : монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, А. А. Соляник. – Горки, 2013. – 412 с.

Поступила 12.03.2022 г.