

Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук, Д. В. Бернацкая

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc_mol@mail.ru

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОМЕРОВ ТЕЛА
И ЖИВОЙ МАССЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных и технологических параметров устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы крупного рогатого скота.

Ключевые слова: комплексная оценка, промеры тела, режимные параметры, погрешность измерения, макетный образец, фотофиксация, корреляция.

E. L. Zhilich, Yu. N. Rogalskaya, V. V. Nikonchuk, D. V. Bernatskaya

RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc_mol@mail.ru

**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE OPTIMAL DESIGN
AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A DEVICE FOR REMOTE MEASUREMENT
OF CATTLE BODY MEASUREMENTS AND LIVE WEIGHT**

Abstract. The results of experimental studies to determine the optimal design and technological parameters of a device for remote determination of body measurements and live weight of cattle are presented.

Keywords: comprehensive assessment, body measurements, operating parameters, measurement error, mock-up sample, photo recording, correlation.

Введение

Конституция и экстерьер являются важнейшими показателями племенных и производственных качеств крупного рогатого скота (КРС). Поэтому в производственных условиях с давних пор широко практикуется оценка и отбор по этим признакам [1].

При переводе скотоводства на промышленную основу резко повысились требования к племенным и продуктивным качествам животных и одновременно возросло значение их оценки по конституции и экстерьеру, так как для рентабельного ведения молочного и мясного скотоводства требуются здоровые, высокопродуктивные животные с крепкой конституцией и соответствующими экстерьерными показателями. Только такие животные в условиях промышленной технологии могут обладать наиболее высокой продуктивностью и устойчиво передавать свои качества потомству.

Комплексная оценка и отбор скота по конституции и экстерьеру в сочетании с другими показателями, наиболее полно характеризующими их племенные и продуктивные качества, способствуют созданию высокопродуктивных стад желательного типа при стандартизации животных по всем показателям, необходимым для организации поточного производства в условиях промышленной технологии [2].

Главными видами продуктивности крупного рогатого скота являются молочная и мясная. Определение показателей, характеризующих продуктивность скота, их правильный учет необходимы для оценки и отбора, организации правильного кормления животных и др.

На сегодняшний день в сельском хозяйстве одной из наиболее трудоемких технологических операций является взвешивание животных. Перевеска скота в сельскохозяйственных организациях проводится не менее двух раз в месяц и требуется для определения состояния здоровья животных, количества необходимого корма, готовности к убою и пр.

Для взвешивания используются стационарные либо передвижные весы, что требует значительных затрат времени и человеческих ресурсов. Другие параметры животных, например, объем тела, площадь шкуры и т. д., в настоящее время определяются только после убоя, поскольку это очень затратный и в целом небезопасный процесс.

Поэтому для повышения эффективности процесса определения живой массы и промеров тела животного необходима разработка устройства для дистанционного определения данных показателей, что в конечном итоге позволит снизить риск опасной реакции животных на стресс и существенно сократить время получения промеров.

Для записи крупного рогатого скота в государственной племенной книге (ГПК) установлены пять промеров: высота в холке, глубина груди, обхват груди за лопатками, косая длина туловища, а также обхват пясти. Промеры берут с помощью мерной палки, циркуля, штангенциркуля и мерной ленты. Чтобы показатели были более точными, измерения делают дважды, а некоторые промеры берут с обеих сторон тела. Между промерами животных и их живой массой отмечается определенная взаимосвязь. Это дает возможность определить живую массу скота по величине промеров. Также от данных показателей зависит эффективное планирование кормления, что позволит животным накопить достаточный резерв жира в организме [3].

Основная часть

Цель исследования – определение рациональных конструктивных и режимных параметров макетного образца устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС.

Объект исследования: способы и устройства для бесконтактного дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС.

Предмет исследования: конструктивные и режимные параметры устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС.

Задачи исследования:

- провести анализ способов, технологий и технических средств для определения промеров тела и живой массы;
- определить основные факторы (параметры), влияющие на погрешность измерения живой массы по промерам тела;
- определить основные промеры, необходимые для расчета живой массы КРС;
- обосновать рациональные конструктивные параметры и режимы работы устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС;
- разработать методы и математические модели определения живой массы КРС по промерам тела;
- провести лабораторные и производственные испытания устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС;
- сформулировать основные выводы, определить рациональные конструктивные и режимные параметры макетной установки.

Программа экспериментальных исследований:

- определить конструктивные параметры макетной установки;
- определить основные промеры тела для расчета живой массы КРС;
- провести многофакторный эксперимент и дисперсионный анализ;
- произвести обработку полученных экспериментальных данных.

Макетный образец устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС должен обеспечивать:

- фото и видео фиксацию объекта измерения;
- определение величины промера тела;
- определение живой массы;
- вывод информации.

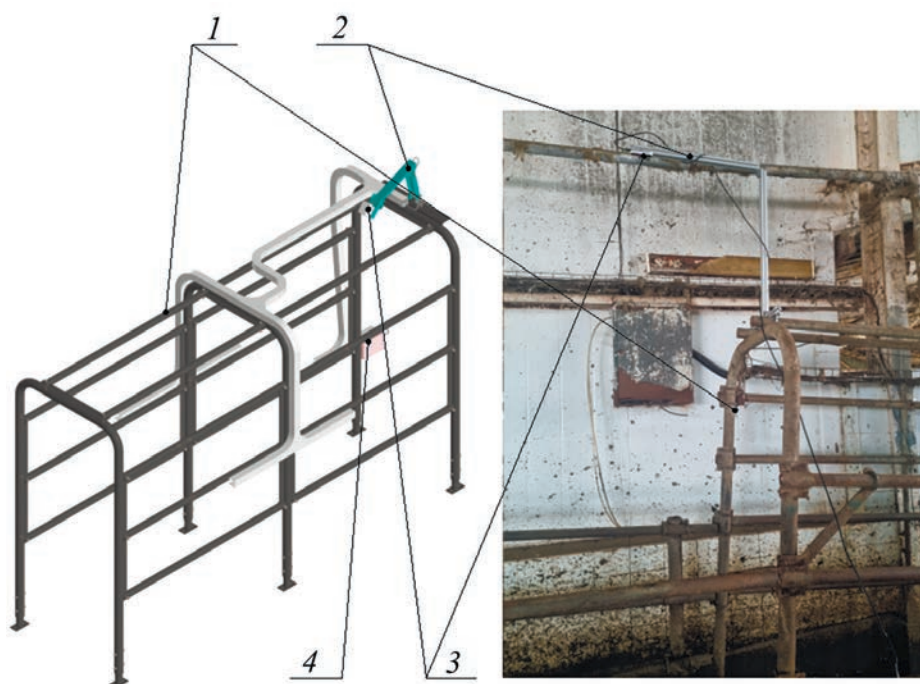


Рисунок 1 – Принципиальная схема и общий вид макетного образца устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС:
1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – 3D-камера; 4 – блок питания

Принципиальная схема и общий вид макетного образца устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС представлены на рисунке 1.

Рама 1 предназначена для ограничения перемещения КРС и размещения основных узлов. Кронштейн 2 предназначен для фиксации камеры с возможностью изменения ее положения вдоль координатных осей. 3D-камера 3 предназначена для снятия промеров путем записи видимого света и невидимого инфракрасного света, что позволяет создавать трехмерную карту глубины окружающей среды. Блок питания 4 предназначен для энергообеспечения источников питания.

Для фиксации данных и последующей их обработки применялся ПК.

Определение конструктивных параметров макетной установки производили опытным путем на основе технических характеристик применяемого оборудования, а также анатомических особенностей стада КРС.

В ходе исследований установлено:

- высота установки 3D-камеры – не менее 2 650 мм, но не более 3 100 мм;
- частота кадров – не менее 10 кадров/с;
- угол поворота камеры – 180° (параллельно поверхности пола);
- ширина прохода – не менее 900 мм.

Определение режимных параметров осуществлялось путем фотофиксации объекта исследования. В ходе обработки полученных данных определена возможность снятия 6 основных промеров:

- поперечная длина туловища в области лопаток (рисунок 2);
- наибольшая поперечная длина туловища (рисунок 3);
- поперечная длина туловища в области седалищных бугров (рисунок 4);
- продольная длина туловища (рисунок 5);
- высота в седалищных буграх (рисунок 6, а);
- высота в холке (рисунок 6, б).

Данные по промерам тела и массе для 50 голов стада КРС представлены в таблице.

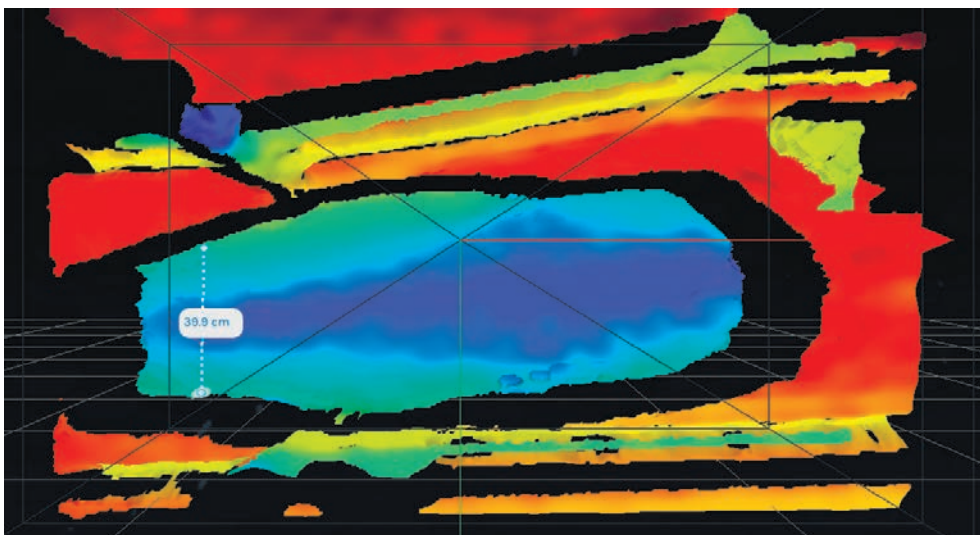


Рисунок 2 – Поперечная длина туловища в области лопаток

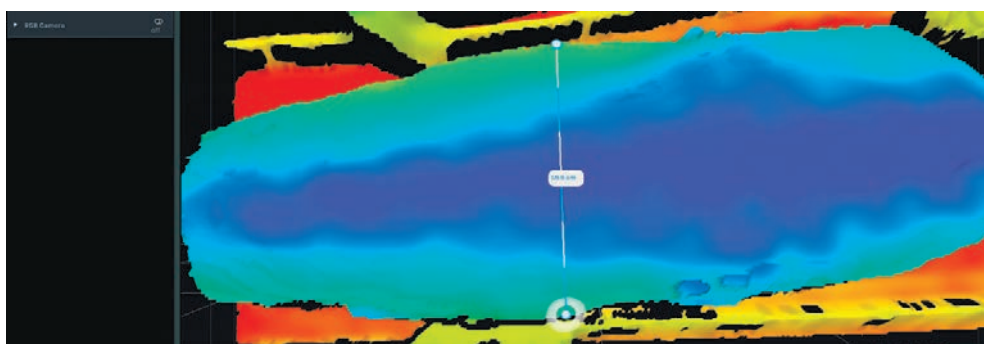


Рисунок 3 – Наибольшая поперечная длина туловища

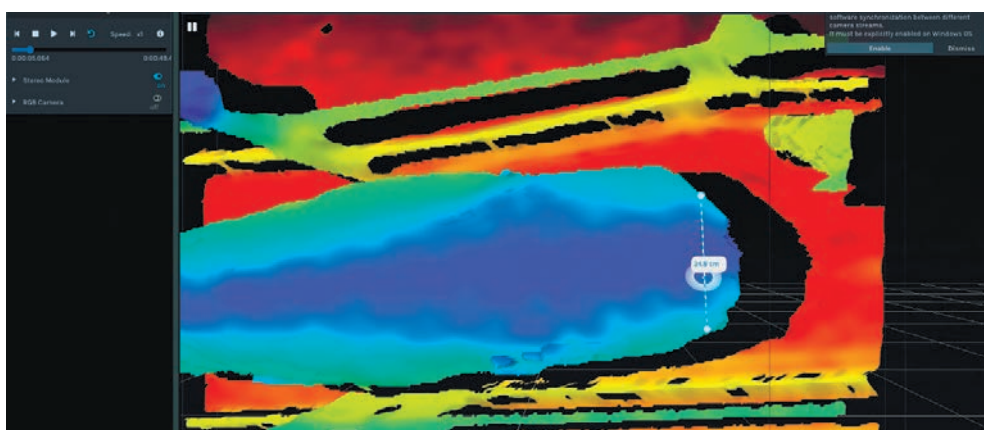


Рисунок 4 – Поперечная длина туловища в области седалищных бугров

Для обработки полученных данных первоначально необходимо произвести дисперсионный анализ. Дисперсионный анализ (ANOVA) – это статистический метод, который используется для сравнения средних значений двух или более выборок. Он позволяет определить, различаются ли средние значения между группами или же различия случайны.

ANOVA позволяет определить, насколько сильны различия между группами, что может быть полезно при выборе стратегий манипулирования факторами.

Обработка полученных данных при неоднородности дисперсий должна предусматривать разделение животных на группы по фактической массе.

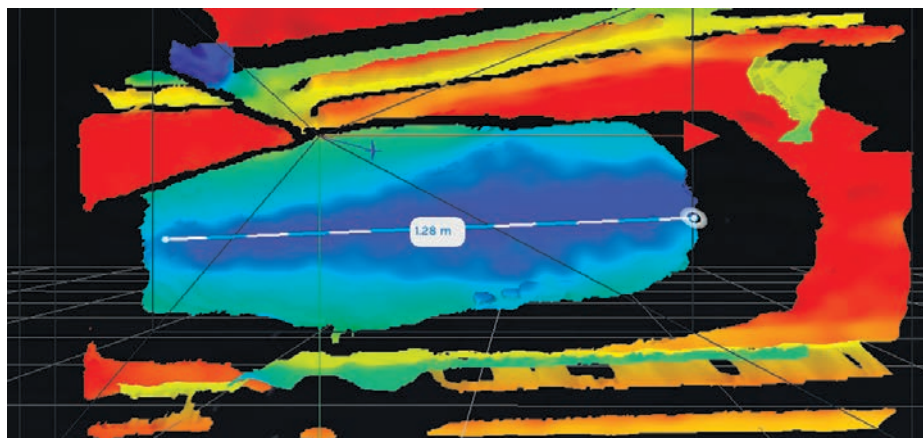
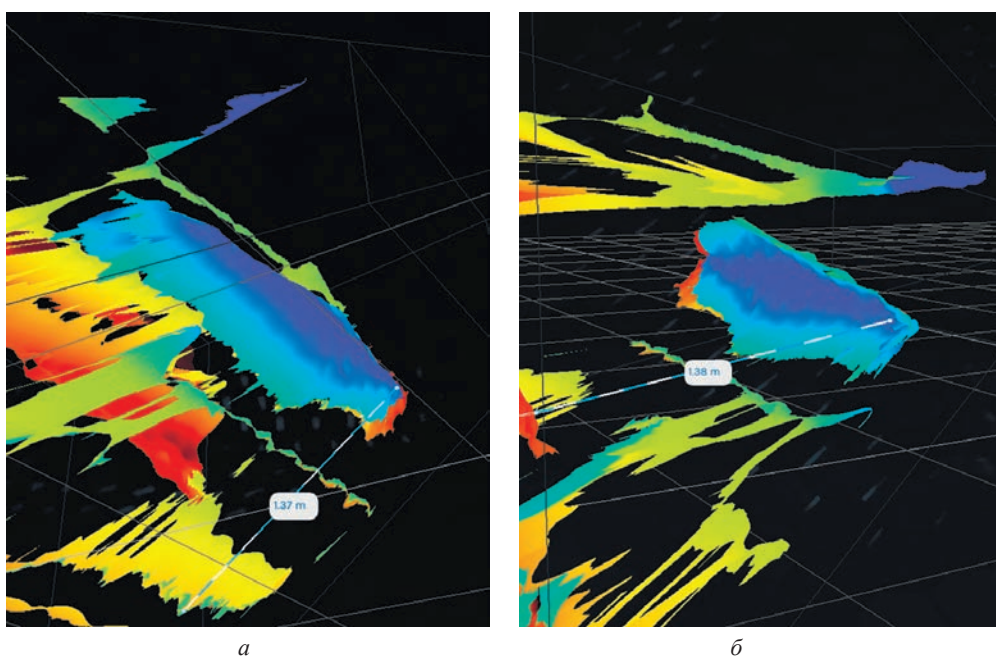


Рисунок 5 – Продольная длина туловища



a

б

Рисунок 6 – Высота в седалищных буграх и холке: *a* – высота в седалищных буграх; *б* – высота в холке

Промеры тела и живая масса дойного стада КРС РСДУП «Экспериментальная база «Зазерье»

№ п/п	Длина за лопатками, см	Наибольшая ширина туловища, см	Длина в седалищных буграх, см	Длина от лопаток до седалищных бугров, см	Высота в седалищных буграх, см	Высота в холке, см	Масса, кг
	<i>Var1</i>	<i>Var2</i>	<i>Var3</i>	<i>Var4</i>	<i>Var5</i>	<i>Var6</i>	<i>Var7</i>
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>
1	33,6	56,7	33,6	124	137	138	464
2	39,9	59,9	34,8	128	141	140	483
3	35,1	59,7	38,7	134	145	144	499
4	38,4	59,5	38,7	136	147	140	503
5	36,5	60,8	40	140	145	146	514
6	34,9	59,4	30,4	128	136	134	467
7	32,7	59,3	32,9	124	137	137	464
8	36,8	60,2	37	136	147	145	509
9	36,7	58,3	35,6	141	140	138	499
10	36,3	57,8	32,3	129	133	132	465

№ п/п	Длина за лопатками, см	Наибольшая ширина туловища, см	Длина в седалищных буграх, см	Длина от лопаток до седалищных бугров, см	Высота в седалищных буграх, см	Высота в холке, см	Масса, кг
	<i>Var1</i>	<i>Var2</i>	<i>Var3</i>	<i>Var4</i>	<i>Var5</i>	<i>Var6</i>	<i>Var7</i>
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>
11	38,5	61,3	35,9	146	147	146	525
12	34,2	58,9	36,6	131	140	140	482
13	38,1	55,1	35,4	149	142	143	514
14	29,9	52,4	33,5	125	134	135	454
15	43,5	60,5	38,2	138	143	144	508
16	34,8	54,9	37,5	141	141	143	499
17	36,8	52,1	36,5	122	132	135	456
18	36,3	55,6	36,6	128	131	131	463
19	33,6	55,5	35,9	129	135	136	469
20	37,3	67,8	32,6	125	135	137	477
21	35,8	59,2	38	121	135	138	466
22	39,7	62,1	36,1	128	144	148	495
23	35,9	60,3	40,2	132	144	149	500
24	33,6	54,2	36,1	129	135	137	468
25	34,4	64,4	36,4	126	134	137	473
26	33,5	56,3	32,3	121	132	136	454
27	35,6	62,3	33,5	128	137	138	478
28	32,2	66,6	33,1	133	144	144	498
29	30,1	58,9	29,7	126	130	134	455
30	35,9	69,2	32,4	126	140	141	485
31	35,1	70,3	38	131	142	145	501
32	34	69,7	34,9	133	145	147	504
33	35,2	56,1	38,2	130	138	139	478
34	33,2	68,5	34,6	133	142	145	501
35	35,7	61	30,5	134	138	142	489
36	40,2	62,8	30,5	126	135	137	473
37	36,7	57,9	35,2	132	136	137	477
38	38,7	46,9	28,9	119	128	128	434
39	38,3	69,2	33,3	137	142	145	510
40	35,3	62,7	32,3	136	137	139	487
41	36,2	57,8	38,5	132	136	139	481
42	38,3	68,1	31,6	138	142	145	512
43	35	60,9	35,3	135	137	138	488
44	31,4	68,5	31,1	142	144	144	514
45	34,9	67,5	33,5	137	136	138	491
46	35,3	69,2	30,7	134	143	143	497
47	36,1	55,8	27,5	120	124	129	446
48	33,3	68,5	34,6	149	146	148	525
49	35,5	56,9	35,3	134	139	139	484
50	33,9	56,1	35,9	131	137	138	477
max	44	70	40	149	147	149	525
min	29,9	46,9	27,5	119	124	128	434
среднее знач.	35,7	60,6	34,6	131,8	138,5	139,8	484,9

Дисперсионный анализ в данном случае позволяет:

- сравнивать две или несколько выборочных средних;
- одновременно изучать действие нескольких независимых факторов, при этом можно определить как эффект каждого фактора в изменчивости изучаемого признака, так и их взаимодействие;
- правильно планировать научный эксперимент.

Под разнообразием при дисперсионном анализе будем понимать наличие неодинаковых значений каждого признака у разных особей, объединенных в группу. Разнообразие группы особей

ANOVA; Var.:Var7; R-sqr=,99691; Adj:,99312 (Spreadsheet1) 6 factors, 1 Blocks, 50 Runs; MS Residual=3,095484 DV: Var7						
Factor	SS	df	MS	F	p	
(1)Var1 (L)	53,68	1	53,6798	17,34134	0,000404	
Var1 (Q)	2,62	1	2,6234	0,84749	0,367248	
(2)Var2 (L)	57,25	1	57,2513	18,49511	0,000290	
Var2 (Q)	0,20	1	0,1969	0,06362	0,803199	
(3)Var3 (L)	2,41	1	2,4079	0,77788	0,387324	
Var3 (Q)	0,39	1	0,3924	0,12675	0,725218	
(4)Var4 (L)	128,46	1	128,4644	41,50059	0,000002	
Var4 (Q)	8,52	1	8,5184	2,75188	0,111330	
(5)Var5 (L)	15,19	1	15,1905	4,90730	0,037402	
Var5 (Q)	0,01	1	0,0065	0,00211	0,963735	
(6)Var6 (L)	7,87	1	7,8726	2,54327	0,125032	
Var6 (Q)	2,30	1	2,3004	0,74313	0,397959	
1L by 2L	0,09	1	0,0878	0,02836	0,867794	
1L by 3L	2,28	1	2,2790	0,73625	0,400118	
1L by 4L	0,38	1	0,3847	0,12427	0,727805	
1L by 5L	12,30	1	12,2967	3,97245	0,058798	
1L by 6L	3,49	1	3,4946	1,12892	0,299530	
2L by 3L	0,37	1	0,3715	0,12002	0,732303	
2L by 4L	4,20	1	4,2033	1,35787	0,256387	
2L by 5L	6,13	1	6,1341	1,98162	0,173193	
2L by 6L	5,01	1	5,0130	1,61946	0,216452	
3L by 4L	1,20	1	1,1973	0,38679	0,540385	
3L by 5L	0,06	1	0,0577	0,01865	0,892627	
3L by 6L	0,06	1	0,0629	0,02033	0,887907	
4L by 5L	19,18	1	19,1791	6,19585	0,020855	
4L by 6L	6,65	1	6,6531	2,14928	0,156785	
5L by 6L	0,82	1	0,8186	0,26444	0,612212	
Error	68,10	22	3,0955			
Total SS	22058,50	49				

Рисунок 7 – Дисперсный анализ Var7; R-sqr = 0,99691; Adj:,99312, 6 факторов, 1 блок, 50 прогонов

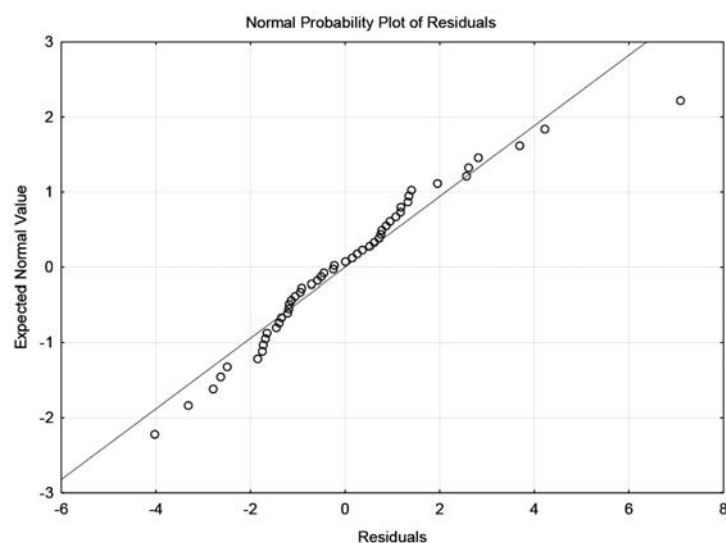


Рисунок 8 – Диаграмма нормального распределения (вероятности)

по изучаемому признаку может иметь разную степень, которая обычно измеряется показателями разнообразия (или изменчивости): лимитами, средним квадратическим отклонением, коэффициентом вариации.

В дисперсионном анализе степень разнообразия индивидуальных и средних значений признака измеряется и сравнивается особыми способами, составляющими специфику этого общего метода.

Организация факторов заключается в том, что каждому изучаемому фактору придается несколько значений. В соответствии с этими значениями каждый фактор разбивается на несколько градаций; для каждой градации подбирается по принципу случайной выборки несколько особей, у которых впоследствии и измеряется величина результативного признака.

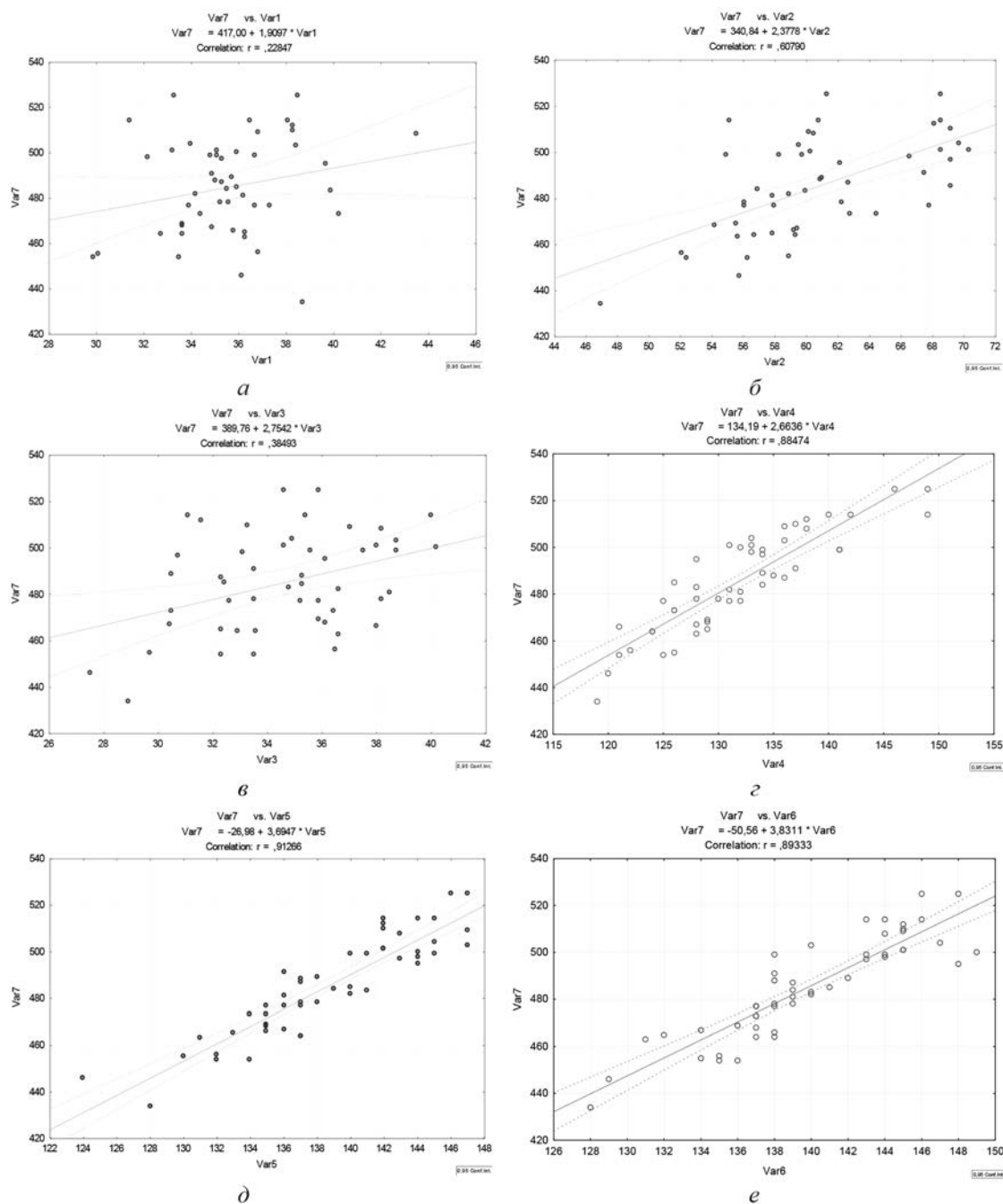


Рисунок 9 – Графики корреляции: а – Var1/Var7, $r = 0,22847$; б – Var2/Var7, $r = 0,60790$; в – Var3/Var7, $r = 0,38493$; г – Var4/Var7, $r = 0,88474$; д – Var5/Var7, $r = 0,91266$; е – Var6/Var7, $r = 0,89333$

Для того чтобы выяснить степень и достоверность влияния изучаемых факторов, надо измерить и оценить ту часть общего разнообразия, которая вызывается этими факторами. Дисперсионный анализ (ANOVA) в соответствии с таблицей представлен на рисунке 7.

Статистические показатели, которые используются в ANOVA – это *F*-статистика и *p-value*.

F-статистика (*F*-значение) измеряет различия между группами, т. е. отношение между средними значениями в группах и дисперсией внутри групп. Если *F*-значение большое, то это указывает на статистически значимые различия между группами. *P-value* (вероятность) – это вероятность того, что различия между группами были случайными и не связаны с фактором, который изучается. Если *p-value* меньше выбранного уровня значимости, то можно отбросить нулевую гипотезу и утверждать, что между группами есть статистически значимые различия.

F-статистика и *p-value* не являются самостоятельными критериями для определения статистической значимости. Они используются вместе с другими статистическими методами для получения более точных результатов.

По данным таблицы, представленной на рисунке 7, можно сделать вывод, что первый и второй фактор статистически значимы в равной степени и один из них для дальнейших расчетов необходимо блокировать. Наибольший вес при расчете имеет 4-й фактор.

Диаграмма нормального распределения, представленная на рисунке 8, показывает отсутствие существенных отклонений от нормального распределения.

Отклонения от прямой линии указывают на отклонения от нормального распределения.

Графики корреляции каждого фактора и коэффициент корреляции представлены на рисунке 9.

Коэффициент корреляции – это мера силы и направления линейной связи между двумя переменными, определяемая как ковариация переменных, деленная на произведение их стандартных отклонений. Это наиболее известный и часто используемый тип коэффициента корреляции.

При анализе коэффициентов корреляции можно сделать вывод, что зависимости $\text{Var4}/\text{Var7}$, $\text{Var5}/\text{Var7}$ и $\text{Var6}/\text{Var7}$ имеют практически линейную зависимость.

Заключение

В ходе проведения экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивных и технологических параметров устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы КРС определены конструктивные параметры макетной установки:

- высота установки 3D-камеры – не менее 2 650 мм, но не более 3 100 мм;
- частота кадров – не менее 10 кадров/с;
- угол поворота камеры – 180° (параллельно поверхности пола);
- ширина прохода – не менее 900 мм.

Также в ходе экспериментальных исследований осуществлено снятие и обработка следующих промеров: поперечная длина туловища в области лопаток; наибольшая поперечная длина туловища; поперечная длина туловища в области седалищных бугров; продольная длина туловища; высота в седалищных буграх; высота в холке. Проведен дисперсный анализ полученных данных, который показал отсутствие существенных отклонений от нормального распределения. При анализе коэффициентов корреляции можно сделать вывод, что зависимости $\text{Var4}/\text{Var7}$, $\text{Var5}/\text{Var7}$ и $\text{Var6}/\text{Var7}$ имеют практически линейную зависимость.

Список использованных источников

1. Экстерьер, конституция и продуктивность крупного рогатого скота : учеб.-метод. пособие / М. М. Карпеня, В. Н. Минаков, В. Н. Подрез, Ю. В. Шамич. – Витебск : ВГАВМ. – 2020. – 68 с.
2. Яковлева, С. Е. Влияние экстерьерных показателей и типа конституции на уровень молочной продуктивности коров черно-пестрой породы / С. Е. Яковлева, С. И. Шепелев, Е. А. Лемеш // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2018. – № 21 (1). – С. 25–29.
3. Об утверждении зоотехнических правил о порядке определения продуктивности племенных животных, племенных стад, оценки фенотипических и генотипических признаков племенных животных : постановление М-ва сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 3 сент. 2013 г. № 44, Мн. – 2013. – 40 с. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W206p0263> (дата обращения: 20.07.2025).