

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА И ЕГО ТИПЫ

О.Е. GERMANOVA,

доктор экономических наук, профессор,
Южный федеральный университет
e-mail:germanovaoe@mail.ru

Ю.Н. РУДАЯ,

ассистент, кафедры экономики и управления,
Азово-Черноморская
государственная агроинженерная академия
e-mail:juliarudaya@gmail.com

Используя первичные данные об объемах производства молока и затратах факторов производства, рассчитаны показатели технического прогресса и определены его типы с помощью обоснованных производственных функций.

Ключевые слова: показатели и тип технического прогресса.

Коды классификатора JEL: Q16.

За годы рыночных преобразований сельскохозяйственное производство в России превратилось в отрасль с высокой степенью изношенности техники и оборудования, что делает его неконкурентным на отечественном и мировом рынках. Существует настоятельная необходимость широкомасштабного технического перевооружения сельского хозяйства, развитие которого может быть обеспечено использованием достижений технологического прогресса как основного инновационного фактора производства. Для успешного решения названной проблемы необходимо использование в управлении техническим прогрессом показателей, отражающих его экономическое содержание в условиях рынка, позволяющих определить вклад каждого фактора производства и технического прогресса в экономический рост, в снижение издержек производства, в изменение других показателей деятельности предприятий.

Применявшиеся в измерении и планировании технического прогресса в центрально-управляемой экономике показатели — уровень механизации и автоматизации производства, его энерговооруженность и фондоемкость, экономическая эффективность капитальных вложений, использовавшихся для внедрения новой техники, повышение производительности труда и изменение других показателей деятельности предприятий — не отражают сущность этого явления в условиях рынка.

В рыночной экономике экономическое содержание технического прогресса проявляется в эффективности и капиталоемкости технологии, предельной норме технологического замещения факторов производства, эластичности их замещения, технологической отдаче от масштаба производства. Учитывая динамику таких показателей, можно оценить возможные варианты технического перевооружения производства, принять решение о внедряемом типе технического прогресса, выбрать наиболее эффективное решение не только для отрасли, для сельскохозяйственных предприятий, но и для отдельных видов производств. Названные показатели образуют систему и являются действенными инструментами в механизме управления техническим прогрессом.

В теории производства динамика показателей и типы технического прогресса анализируются с помощью производственных функций, в обосновании которых используется методология теории факторов производства. Применительно к сельскому хозяйству производственные функции как функции одного переменного фактора впервые были обоснованы К. Викселем, Ю. фон Либихом, позднее Э. Хеди, Д. Диллоном. Сегодня экономисты используют методологию и инструментарий, разработанные применительно к техническому прогрессу в рыночной экономике Р. Солоу, К. Дж. Эрроу, Я. Тинбергеном, М. Брауном и другими выдающимися экономистами. Эта методология используется в настоящем исследовании технического прогресса и определении его типов, в сельскохозяйственных предприятиях, производящих молоко, — молочных комплексах и фермах Ростовской области.

Система показателей технического прогресса находит отражение в модификациях производственной функции Кобба—Дугласа $Q = AL^{\alpha}K^{\beta}C^{\gamma}F^{\varphi}$ для $\alpha + \beta + \gamma + \varphi \neq 1$, учитывающей на технологическую взаимосвязь между конечным продуктом и затратами четырех факторов производства (труда L , капитала K , затратами кормов C и численностью поголовья F), и

функции $Q = AL^{\alpha}K^{\beta}e^{\gamma}$ с темпом технического прогресса γ . Эффективность технологии измеряется коэффициентом A ; капиталоемкость технологии — отношением K/L ; предельная производительность факторов производства — частными производными функции по всем переменным: f'_L, f'_K, f'_C, f'_F ; предельная норма технологического замещения для замещающихся факторов производства — труда и капитала, расхода кормов и численности поголовья — отношением предельных продуктов:

$$MRTS_{LK} = \frac{f'_L}{f'_K}, \quad MRTS_{FC} = \frac{f'_F}{f'_C};$$

эластичность замещения факторов — коэффициентом $\sigma_{LK} = \frac{d(K/L)}{K/L} : \frac{d(f'_L/f'_K)}{f'_L/f'_K}$.

В измерении показателей технического прогресса, производительности используемых ресурсов, а также степени влияния технического прогресса и основных факторов производства на конечный результат в производстве молока использованы данные 220 обследованных предприятий отрасли молочного скотоводства Ростовской области за период с 2004 по 2008 г., из которых отобрано 50 наиболее крупных и эффективных с поголовьем 100 и более коров.

Предприятия значительно различаются по применяемой технологии, объему используемых ресурсов, численности поголовья и другим параметрам. При анализе такого числа разнородных объектов возникла проблема достоверности получаемых результатов. Поэтому были выбраны типичные предприятия и использованы методы исследования процессов производства с большим числом характеристик. Одним из таких методов является метод кластерного анализа.

Использовано основополагающее понятие кластерного анализа — многомерный объект, под которым понимается статистическая единица, определяемая набором значений признаков, или ее основной признак. Такими многомерными объектами в данном случае являются молочные фермы, комплексы и предприятия, специализирующиеся на производстве молока. В кластерном анализе сравнение предприятий производится с помощью матрицы расстояний, в отличие от факторного анализа, где сравнение строится на основе матрицы коэффициентов корреляции. В результате в исходной совокупности предприятий выделены группы, идентичные по экономическому содержанию показателей.

На первом этапе сформирована матрица наблюдений, имеющая следующий вид:

$$\begin{array}{cccccc} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mk} & \dots & X_{mn} \end{array}$$

где X_{mn} — значение n -го признака для m -й статистической единицы. Матрица содержит полную характеристику изучаемых множеств. Признаки, включенные в матрицу наблюдений, неоднородны, поскольку описывают разные свойства объектов, различаются и их единицы измерения.

Для устранения неоднородности измерения исходных данных выполнена нормализация всех признаков, которая проводилась путем деления исходных величин на их среднеквадратичное отклонение или способом вычисления стандартного Z -вклада, который показывает количество стандартных отклонений, отделяющих k -й признак от среднего значения:

$$Z_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k},$$

где Z_{ik} — нормализованное значение признака для i -й единицы; x_{ik} — значение k -го признака для i -й статистической единицы; \bar{x}_k — среднее арифметическое значение k -го признака. Стандартное отклонение k -го признака S_k рассчитывалось по следующей формуле:

$$S = \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Подход к стандартизации признаков путем нормализации основан на измерении колеблемости вариационного ряда и использован для устранения избыточной информации. После стандартизации признаков рассчитаны элементы матрицы расстояний. Для определения расстояния использовались следующие формулы:

— средняя абсолютная разность (или расстояние Хэмминга):

$$C_{rs} = \frac{\sum_{k=1}^n |z_{rk} - z_{sk}|}{n};$$

корень квадратный из среднего квадрата разности:

$$C_{rs} = \left[\frac{\sum_{k=1}^n (z_{rk} - z_{sk})^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}},$$

где $r, s = 1, 2, \dots, m$.

В результате процедуры кластеризации исходная совокупность из 50 предприятий была разделена на три группы схожих между собой объектов с учетом всех классификационных признаков, которые обладают свойством плотности, дисперсией и отличием от других признаков.

Выявление степени однородности анализируемых предприятий проведено с помощью пакета STATISTICA 7. Программа STATISTICA позволяет оценить степень близости объектов с помощью агломеративных методов, строящихся на последовательном объединении наиболее близких объектов в один кластер, и метода k -средних. В методе k -средних объект относится к тому классу, расстояние до которого минимально.

В исследовании технического прогресса использовались данные бухгалтерской отчетности 50 крупных предприятий Ростовской области: среднегодового поголовья, затрат на содержание поголовья (в целом и по статьям), объема и себестоимости произведенной продукции, прямых затрат труда на производство молока.

К первому кластеру отнесены всего два предприятия: сельскохозяйственный производственный кооператив (СПК) «Колхоз им. Шаумяна» Мясниковского района и сельскохозяйственное закрытое акционерное общество (СЗАО) «СКВО» зерноградского района Ростовской области. Оба предприятия являются высокоэффективными производителями молока. Поголовье в каждом из хозяйств превышает 700 голов. СПК «Колхоз им. Шаумяна» является одним из самых крупных сельскохозяйственных предприятий Ростовской области. В структуре его товарной продукции основную долю занимает молоко. На протяжении нескольких последних лет СЗАО «СКВО» систематически попадает в рейтинг наиболее крупных и эффективных предприятий по производству молока в России (клуб «Молоко-100»). В 2002 г. на предприятии было осуществлено комплексное техническое переоснащение производства молока, произведена замена существующего поголовья на высокопродуктивное племенное.

Второй кластер представлен 9 предприятиями со средним поголовьем 630 коров и удоем на одну голову в 3200 кг. Третий, самый многочисленный кластер образуют 30 предприятий. В этих хозяйствах поголовье составляет 150–170 коров, а затраты труда на одну голову сопоставимы с затратами предприятий, входящих в первый и второй кластеры. Однако затраты капитала на предприятиях первого и второго кластеров более чем в два раза превосходят аналогичный показатель на предприятиях третьего кластера, представленных в табл. 1.

К 1-му и 2-му кластерам отнесены предприятия, представленные в табл. 2.

Результаты кластеризации позволяют сделать вывод об идентичности условий производства и технологий, применяемых на предприятиях каждого кластера, и на таком основании проанализировать эффективность использования факторов производства и технический прогресс в молочном скотоводстве. Для каждой группы предприятий построим производственные функции, с помощью которых оценим влияние на конечный выпуск не только технического прогресса, но и изменения затрат применявшихся ресурсов во времени. Производственная функция представляет собой наиболее обобщенную модель функционирования экономического объекта, поэтому ее можно использовать для сравнения эффективности работы предприятий, относящихся к разным кластерам.

Первоначально обоснуем производственные функции для предприятий, входящих во второй и третий кластеры, — функции Кобба—Дугласа для двух факторов производства с суммой частных эластичностей выпуска по труду и капиталу, не равной единице: $Q = AL^{\alpha}K^{\beta}$ $\alpha + \beta \neq 1$, где Q — конечный продукт предприятия L — затраты труда в человеко-часах K — затраты капитала α и β — частные эластичности выпуска по труду и капиталу A — параметр, определяющий эффективность применяемой технологии.

Таблица 1

Сводная таблица кластеров предприятий отрасли молочного скотоводства Ростовской области, отнесенных к третьему кластеру¹

№ п/п	Код р-на	Наименование	Год					
			2004		2005		2006	
			Кластер	Расстояние	Кластер	Расстояние	Кластер	Расстояние
1	80	СПК им. Калинина	3	0,17	3	0,32	3	0,38
2	77	ОАО «Заря»	3	0,18	3	0,30	3	0,30
3	66	ЗАО «Восход»	3	0,30	3	0,36	3	0,36
4	70	ООО «Сальский Кагальник»	3	0,35	3	0,40	3	0,40
5	77	ОАО им. Калинина	3	0,12	3	0,30	3	0,35
6	80	ЗАО «Гвардейское»	3	0,32	3	0,41	3	0,41
7	85	СПК «Заря»	3	0,24	3	0,24	3	0,25
8	51	КСП «Поднятая целина»	3	0,17	3	0,26	3	0,26
9	79	СПК «Нива»	3	0,15	3	0,35	3	0,25
10	66	СПК «Стычной»	3	0,29	3	0,23	3	0,25
11	76	ЗАО АФ «Новый путь»	3	0,23	3	0,18	3	0,22
12	80	ЗАО «Ростовский»	3	0,18	3	0,18	3	0,21
13	85	ЗАО им. С.М.Кирова	3	0,14	3	0,13	3	0,21
14	53	СПК «Краснокутское»	3	0,17	3	0,32	3	0,31
15	77	СПК «Маяк»	3	0,09	3	0,17	3	0,17
16	77	ООО «Знамя»	3	0,29	3	0,15	3	0,22
17	83	ЗАО «Родина»	3	0,16	3	0,11	3	0,14
18	66	СПК «Правда»	3	0,13	3	0,22	3	0,21
19	77	ООО «Ряженое»	3	0,12	3	0,11	3	0,11
20	76	ЗАО «Таган-мост»	3	0,09	3	0,10	3	0,15
21	78	ОАО «Дружба»	3	0,49	3	0,21	3	0,14
22	83	СПК «Целинский»	3	0,07	3	0,06	3	0,06
23	80	СПК «Кировская»	3	0,13	3	0,29	3	0,30
24	77	ОАО им. Ленина	3	0,23	3	0,17	3	0,16
25	76	ООО «Ефремовское»	3	0,19	3	0,14	3	0,20
26	76	СПК «Миусский»	3	0,22	3	0,14	3	0,20
27	76	СПК «Советинский»	3	0,38	3	0,41	3	0,52
28	77	ООО «Григорьевское»	3	0,62	3	0,28	3	0,48
29	51	СПК «Меркуловский»	3	0,21	3	0,26	3	0,22
30	51	СПК «Калининский»	3	0,47	3	0,45	3	0,49

Для определения параметров рассматриваемой зависимости функция приведена к линейному виду путем логарифмирования: $\ln Q = \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K$. Сумма (S) квадратичных отклонений между наблюдаемыми величинами и соответствующими оценками должна быть минимальной: $S = \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K - \ln Q)^2 \rightarrow \min$. Необходимым условием минимизации суммы квадратичных отклонений является равенство нулю ее первых частных производных по всем переменным:

$$\frac{\partial S}{\partial \ln A} = 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K - \ln Q) = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K - \ln Q) \ln L = 0,$$

¹ Составлена авторами на основе данных бухгалтерской отчетности предприятий и проведенного кластерного анализа.

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K - \ln Q) \ln K = 0.$$

Таким образом, система нормальных уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} n \ln A + \alpha \sum \ln L + \beta \sum \ln K = \sum \ln Q, \\ \ln A \sum \ln L + \alpha \sum \ln^2 L + \beta \sum \ln L \ln K = \sum \ln L \ln Q, \\ \ln A \sum \ln K + \alpha \sum \ln L \ln K + \beta \sum \ln^2 K = \sum \ln K \ln Q. \end{cases} \quad (1)$$

Решением данной системы уравнений являются значения:

$$\ln A = \frac{\sum \ln Q - \alpha \sum \ln L - \beta \sum \ln K}{n},$$

$$\alpha = \frac{(n-1)(\sum \ln Q \sum \ln L - \beta \sum \ln L \sum \ln K)}{n \sum \ln^2 L - (\sum \ln L)^2}, \quad (2)$$

$$\beta = \frac{(n-1) \sum \ln Q \sum \ln K (n \sum \ln^2 L - (\sum \ln L)^2)}{(\sum \ln^2 K - (\sum \ln K)^2) (n \sum \ln^2 L - (\sum \ln L)^2) - (n-1)^2 (\sum \ln K)^2 (\sum \ln L)^2}.$$

Решение (2) системы уравнений (1) используется в обосновании производственных функций для предприятий, входящих во 2-й и 3-й кластеры в 2004–2006 гг. Производственные функции представлены в таблице 3.

Таблица 2

Сводная таблица кластеров предприятий отрасли молочного скотоводства Ростовской области, отнесенных к 1-му и 2-му кластерам²

№ п/п	Код р-на	Наименование	Год					
			2004		2005		2006	
			Кластер	Расстояние	Кластер	Расстояние	Кластер	Расстояние
1	77	СПК «Рассвет»	2	0,47	2	0,59	2	0,60
2	80	ЗАО «Родина»	2	0,30	2	0,40	2	0,38
3	76	СПК «Прогресс»	2	0,22	2	0,47	2	0,44
4	80	ООО АФ «Кагальницкая»	2	0,37	2	0,54	2	0,96
5	77	СПК «Родина»	2	0,51	2	0,62	2	0,64
6	76	СПК «50 лет Октября»	2	0,37	2	0,23	2	0,38
7	76	СПК «Россия»	2	0,80	2	0,41	2	0,39
8	76	СПК «Колос»	2	1,22	2	1,08	2	1,25
9	75	К-з им. Мясникова	2	0,62	2	0,36	2	0,19
10	75	СПК К-з им. Шаумяна	1	1,23	1	1,32	1	1,04
11	81	СЗАО «СКВО»	1	1,23	1	1,32	1	1,04

Полученные производственные функции Кобба—Дугласа с двумя факторами производства адекватно не отражают производственный процесс, что подтверждается низким значением коэффициента детерминации R^2 , а влияние прочих факторов на выпуск отображается коэффициентом эффективности технологии A .

В традиционной модели производственной функции Кобба—Дугласа учитывается влияние на конечный продукт только двух факторов: труда и капитала. Технический прогресс в молочном скотоводстве проявляется не только в показателях эффективности и капиталоемкости технологии, эластичности замещения факторов производства, но и в использовании породного скота, увеличении расхода кормов и улучшении кормовых рационов животных.

² Составлена авторами на основе данных бухгалтерской отчетности предприятий и проведенного кластерного анализа.

Таблица 3

Производственные функции для предприятий — производителей молока, входящих во 2-й и 3-й кластеры, в 2004–2006 гг.³

Кластеры	Функция	R-квадрат
2004 год		
2-й	$Q = 14,899K^{0,3156}L^{0,5418}, \alpha + \beta = 0,852$	0,47
	$Q = 6,4122K^{-0,3766}L^{0,6234}e^{-0,0041t}$	0,66
3-й	$Q = 24,982K^{0,0189}L^{0,7344}, \alpha + \beta = 0,753$	0,57
	$Q = 5,3805K^{0,1655}L^{0,8345}e^{0,00258t}$	0,57
2005		
2-й	$Q = 5,0907K^{-0,4387}L^{0,5721}, \alpha + \beta = 1,012$	0,62
	$Q = 0,0068K^{2,5562}L^{-1,5562}e^{-0,0307t}$	0,39
3-й	$Q = 27,043K^{-0,0124}L^{0,8215}, \alpha + \beta = 0,809$	0,69
	$Q = 10,599K^{0,0175}L^{0,09825}e^{0,0159t}$	0,65
2006		
2-й	$Q = 24,225K^{0,3224}L^{0,40571}, \alpha + \beta = 0,723$	0,56
	$Q = 4,3776K^{0,4885}L^{0,5119}e^{-0,0168t}$	0,47
3-й	$Q = 30,161K^{-0,0492}L^{0,8815}, \alpha + \beta = 0,832$	0,52
	$Q = 2,673K^{0,2587}L^{0,7413}e^{0,1119t}$	0,57

Численность молочного стада и расход кормов являются в определенных пределах замещаемыми факторами, о чем свидетельствует мировая практика. Один и тот же объем производства можно получить при высокой продуктивности животных и относительно небольшой численности стада, и наоборот. Кроме того, углубление специализации в сельском хозяйстве приводит к тому, что большинство предприятий, особенно крупных, не занимаются заготовкой кормов, а приобретает их на рынке. Сельскохозяйственные организации сегодня не могут производить сбалансированные по питательности корма для животных высокопродуктивных пород, поэтому производство таких кормов выделяется в качестве самостоятельного вида производства в рамках АПК. По этой причине и потому, что на большинстве предприятий, занимающихся производством молока, преобладает привязный способ содержания животных, в производственную функцию не включается такой фактор, как площадь сельскохозяйственных угодий, но включаются численность коров и расход кормов. В общем виде функция имеет вид: $Q = f(L, K, C, F)$, где L, K, C, F — затраты труда, капитала, среднегодового поголовья коров и расход кормов.

Учитывая сказанное, в исследовании влияния технического прогресса в молочном скотоводстве целесообразно использовать модификацию производственной функции Кобба-Дугласа следующего вида:

$$Q = AL^\alpha K^\beta C^\gamma F^\varphi,$$

где A — коэффициент эффективности технологии, $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ — частные эластичности факторов производства по выпуску Q .

Чтобы учесть количество труда, которое действительно было затрачено на производство продукции, в производственную функцию включены прямые затраты труда на производство молока. Поскольку машины и оборудование используются в течение длительного времени, в производственную функцию включены затраты капитала, относящиеся к исследуемому периоду.

Для нахождения параметров $A, \alpha, \beta, \gamma, \varphi$ приведем производственную функцию к линейному виду путем логарифмирования, определим предельные продукты факторов производства и коэффициент эффективности технологии с помощью линейного регрессионного анализа методом наименьших квадратов.

³ Рассчитаны авторами на основе исходных данных предприятий.

Запишем необходимое условие минимизации суммы квадратичных отклонений: $S = \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln C + \varphi \ln F - \ln Q)^2 \rightarrow \min$. Условию минимизации соответствует равенство нулю первых частных производных:

$$\begin{aligned}\frac{\partial S}{\partial \ln A} &= 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln C + \varphi \ln F - \ln Q) = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \alpha} &= 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln C + \varphi \ln F - \ln Q) \ln L = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \beta} &= 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln C + \varphi \ln F - \ln Q) \ln K = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \gamma} &= 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln C + \varphi \ln F - \ln Q) \ln C = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \varphi} &= 2 \sum (\ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma \ln C + \varphi \ln F - \ln Q) \ln F = 0.\end{aligned}$$

Для определения параметров производственных функций необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}n \ln A + \alpha \sum \ln L + \beta \sum \ln K + \gamma \sum \ln C + \varphi \sum \ln F &= \sum \ln Q, \\ \ln A \sum \ln L + \alpha \sum \ln^2 L + \beta \sum \ln L \ln K + \gamma \sum \ln L \ln C + \varphi \sum \ln L \ln F &= \sum \ln L \ln Q, \\ \ln A \sum \ln K + \alpha \sum \ln L \ln K + \beta \sum \ln^2 K + \gamma \sum \ln K \ln C + \varphi \sum \ln K \ln F &= \sum \ln K \ln Q, \\ \ln A \sum \ln C + \alpha \sum \ln L \ln C + \beta \sum \ln K \ln C + \gamma \sum \ln^2 C + \varphi \sum \ln C \ln F &= \sum \ln C \ln Q, \\ \ln A \sum \ln F + \alpha \sum \ln L \ln F + \beta \sum \ln K \ln F + \gamma \sum \ln C \ln F + \varphi \sum \ln^2 F &= \sum \ln F \ln Q,\end{aligned}$$

Используя данные табл. 1 и 2 и данные предприятий, входящих в каждый кластер, о выпуске продукции, затратах труда, капитала, кормов и среднегодовом поголовье за период с 2004 по 2006 г., определим параметры производственной функции.

Для предприятий, входящих во второй кластер, система уравнений, составленная по данным 2004 г., имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}9 \ln A + 41,67\alpha + 65,61\beta + 57,63\gamma + 65,61\varphi &= 67,47, \\ 41,67 \ln A + 1737,05\alpha + 2734,40\beta + 2401,80\gamma + 2734,37\varphi &= 2817,54, \\ 65,61 \ln A + 2734,37\alpha + 4304,31\beta + 3780,73\gamma + 4304,31\varphi &= 4435,23, \\ 57,63 \ln A + 2401,80\alpha + 3780,73\beta + 3780,73\gamma + 3320,84\varphi &= 3895,72, \\ 65,61 \ln A + 2734,37\alpha + 4304,31\beta + 3780,73\gamma + 4304,31\varphi &= 4435,23.\end{aligned}$$

Решая систему уравнений, получим: $A=3,68$; $\alpha = -0,161$; $\beta = 0,115$; $\gamma = 0,914$; $\varphi = 0,030$. Аналогично рассчитываются параметры для 2005 и 2006 гг.

Ниже представлена система нормальных уравнений для предприятий, входящих во 2-й кластер, на основе данных 2005 и 2006 гг.:

— в 2005 г.

$$\begin{aligned}9 \ln A + 41,49\alpha + 67,94\beta + 57,20\gamma + 75,40\varphi &= 68,18, \\ 41,49 \ln A + 1721,05\alpha + 2818,40\beta + 2372,80\gamma + 3127,82\varphi &= 2828,58, \\ 67,94 \ln A + 2818,40\alpha + 4615,37\beta + 3885,70\gamma + 5122,10\varphi &= 4632,07, \\ 57,20 \ln A + 2372,80\alpha + 3885,70\beta + 3271,34\gamma + 4312,29\varphi &= 3899,73, \\ 75,40 \ln A + 3127,82\alpha + 5122,10\beta + 4312,29\gamma + 5684,47\varphi &= 4435,23.\end{aligned}$$

— в 2006 г.

$$\begin{aligned}9 \ln A + 41,37\alpha + 71,22\beta + 57,25\gamma + 77,11\varphi &= 68,18, \\ 41,37 \ln A + 1711,37\alpha + 2946,50\beta + 2368,40\gamma + 3190,00\varphi &= 2823,14, \\ 71,22 \ln A + 2946,50\alpha + 5073,08\beta + 4077,76\gamma + 5492,27\varphi &= 4860,66, \\ 57,25 \ln A + 2368,40\alpha + 4077,76\beta + 3277,71\gamma + 4414,69\varphi &= 3907,01, \\ 77,11 \ln A + 3190,00\alpha + 5492,27\beta + 4414,69\gamma + 5946,09\varphi &= 4435,23.\end{aligned}$$

Система нормальных уравнений для предприятий, входящих в 3-й кластер, имеет вид:

— в 2004 г.

$$\begin{aligned} 30 \ln A + 100,99a + 157,99\beta + 150,60\gamma + 200,94\varphi &= 173,71, \\ 100,99 \ln A + 10198,10a + 15954,90\beta + 15208,40\gamma + 20290,48\varphi &= 17542,34, \\ 157,99 \ln A + 15954,90a + 24961,44\beta + 23793,56\gamma + 31744,42\varphi &= 27444,97, \\ 150,60 \ln A + 15208,40a + 23793,56\beta + 22680,32\gamma + 30259,18\varphi &= 26160,89, \\ 200,92 \ln A + 202990,48a + 31744,42\beta + 30259,18\gamma + 40370,61\varphi &= 34902,83. \end{aligned}$$

— в 2005 г.

$$\begin{aligned} 30 \ln A + 97,01a + 170,30\beta + 149,44\gamma + 208,49\varphi &= 176,51, \\ 97,01 \ln A + 9411,12a + 16521,20\beta + 14497,10\gamma + 20225,40\varphi &= 17123,21, \\ 170,30 \ln A + 16521,20a + 29002,96\beta + 25449,62\gamma + 35505,63\varphi &= 30059,77, \\ 149,44 \ln A + 14497,10a + 25449,62\beta + 22331,61\gamma + 31155,59\varphi &= 26160,89, \\ 208,49 \ln A + 20225,40a + 35505,63\beta + 31155,59\gamma + 43466,23\varphi &= 34902,83. \end{aligned}$$

— в 2006 г.

$$\begin{aligned} 30 \ln A + 92,05a + 170,33\beta + 147,22\gamma + 207,72\varphi &= 174,95, \\ 92,05 \ln A + 8472,55a + 15678,40\beta + 13551,20\gamma + 19119,60\varphi &= 16103,75, \\ 170,33 \ln A + 15678,40a + 29012,77\beta + 25076,45\gamma + 35380,61\varphi &= 29799,87, \\ 147,22 \ln A + 13551,20a + 25076,45\beta + 21674,18\gamma + 30580,32\varphi &= 26160,89, \\ 207,72 \ln A + 19119,60a + 35380,61\beta + 30580,32\gamma + 43146,08\varphi &= 34902,83. \end{aligned}$$

Определив параметры A , α , β , γ и φ , представим производственные функции в табл. 4. Полученные функции имеют высокую степень достоверности, адекватно отражают реально существующие зависимости.

Таблица 4

Зависимость объемов производства молока от затрат труда, капитала, численности поголовья и расхода кормов⁴

Кластеры	Функция	Сумма коэффициентов эластичности	R-квадрат
2004			
2-й	$Q = 3,68L^{-0,161} K^{0,115} C^{0,914} F^{-0,030}$	0,89	0,68
3-й	$Q = 0,66L^{0,098} K^{-0,024} C^{0,845} F^{0,261}$	1,18	0,82
2005			
2-й	$Q = 0,08L^{-0,111} K^{0,403} C^{0,939} F^{0,194}$	1,43	0,91
3-й	$Q = 0,28L^{0,193} K^{-0,012} C^{0,639} F^{0,493}$	1,31	0,93
2006			
2-й	$Q = 6,44L^{0,131} K^{0,357} C^{-0,308} F^{0,357}$	0,84	0,86
3-й	$Q = 0,16L^{0,247} K^{-0,027} C^{0,793} F^{0,458}$	1,47	0,84

Для большинства функций R-квадрат, характеризующий долю вариации зависимой переменной, обусловленной регрессией или изменчивостью объясняющих переменных, имеет значение, достаточное для признания их достоверными.

Коэффициенты регрессии показывают, что на предприятиях, относящихся к 3-му кластеру, предельный продукт капитала f_K имеет отрицательное значение, т. е. при применении дополнительной единицы капитала объем производства сокращается. Подобное обстоятельство объясняется тем, что при производстве молока сегодня предприятия не могут отказаться от использования техники, которая имеет низкие технические характеристики в силу физического и морального устаревания. Поэтому на предприятиях используется больше, чем это необходимо, доильного и другого оборудования, часть которого постоянно находит-

⁴ Рассчитана авторами на основе исходных данных предприятий.

ся в ремонте. Этим объясняется отрицательное значение предельного продукта капитала.

Подобные выводы подтверждаются низким значением коэффициента эффективности технологии A , который с каждым годом снижается. Увеличение производства молока на предприятиях в большей степени обусловлено ростом поголовья, а не увеличением его продуктивности.

Увеличивающиеся затраты на обслуживание оборудования отрицательно сказываются на динамике конечного продукта отрасли. В структуре затрат на основное производство с каждым годом растет доля амортизационных отчислений. Отрицательное значение коэффициента α в 2004 и 2005 гг. для предприятий, входящих во 2-й кластер, свидетельствует об использовании излишней относительно применяемого капитала рабочей силе, о перерасходе затрат труда в человеко-часах при низкой заработной плате.

Однако производственные функции иллюстрируют возрастающую отдачу от масштаба производства, так как сумма частных эластичностей выпуска по переменным факторам ($\alpha + \beta + \gamma + \varphi > 1$) больше единицы.

В отличие от предприятий, входящих в 3-й кластер, сумма коэффициентов регрессии для предприятий 2-го кластера в большинстве случаев меньше единицы, что свидетельствует об отрицательном эффекте от масштаба.

Резкое увеличение в 2005 г. значения коэффициента A в производственной функции для предприятий 2-го кластера свидетельствует о внедрении в производство новых технологий, позволяющих расширить масштабы производства и увеличить выпуск конечной продукции не только за счет увеличения поголовья.

Технические нововведения (замена поголовья высокопродуктивными породами животных, внедрение прогрессивных доильных установок, использование сбалансированных по питательности кормов и др.) на предприятиях 2-го кластера отразились в повышении эффективности технологии с 3,68 до 6,44; капиталоемкости — с 15,0 до 25,84. Рост коэффициента частной эластичности выпуска по капиталу β (с 0,115 до 0,357) отражал увеличение вклада капитала в экономический рост. Снижение частной эластичности выпуска по поголовью φ (с 0,914 до 0,308) свидетельствует об ослаблении влияния численности стада на объем производства молока, а повышение частной эластичности выпуска по расходу кормов γ (с 0,03 до 0,36) — о возрастании положительного влияния расхода кормов и их сбалансированности, продуктивности животных на конечный выпуск (табл. 5).

В 2004 и 2005 гг. на предприятиях, относящихся ко 2-му кластеру, предельная производительность труда была отрицательной, при увеличении затрат труда выпуск снижался. Подобные результаты объясняются тем, что использование новых машин приводило к высвобождению рабочей силы и делало нецелесообразным сохранение числа занятых.

Отрицательное значение предельного продукта труда и капитала свидетельствует, что предприятия стремились увеличить объем производства за счет использования большего количества ресурсов при его неизменной технической оснащенности. Без использования новых технологий по закону убывающей предельной производительности последовательное увеличение переменного ресурса, при неизменных затратах других ресурсов, обуславливает убывающую отдачу данного фактора.

Таблица 5

Показатели технического прогресса на предприятиях с различными масштабами производства⁵

Год	Капиталоемкость, К/L	Предельные продукты факторов производства				Предельная норма технологического замещения, $MRTS_k$	Эластичность замещения труда капиталом, σ
		Труд	Капитал	Поголовье	Корма		
2-й кластер							
2004	15,00	-2,23	0,11	2,18	0,01	-21,00	
2005	18,76	-5,56	1,08	8,49	0,23	-5,17	-0,18
2006	25,84	53,12	5,56	21,77	2,97	9,48	0,05
3-й кластер							
2004	9,49	1,98	-0,05	3,53	0,17	-38,76	
2005	13,49	8,00	-0,04	4,93	0,50	-217,03	0,25
2006	17,13	20,00	-0,13	11,14	0,42	-156,75	-0,74

⁵ Рассчитана авторами на основе исходных данных предприятий.

Технически и технологически эффективные способы производства характеризуются производственными функциями с положительными предельными продуктами факторов. Рост предельных продуктов факторов производства на предприятиях, входящих во 2-й кластер, характеризует переход к более эффективной технологии производства молока. Отрицательное значение частной эластичности выпуска по труду в 2006 г. сменилось на положительное (от $-0,161$ до $0,131$), что свидетельствовало об увеличении, хотя и незначительном, вклада труда в прирост конечного продукта.

На предприятиях, отнесенных ко 2-му кластеру, в 2004–2006 гг. имел место капиталоемкий технический прогресс, рост производства на $2,05\%$ был обеспечен на $12,27\%$ приростом основного капитала, на $0,36\%$ — увеличением затрат труда, на $1,91\%$ — увеличением численности стада, на $5,57\%$ — увеличением расхода кормов и на $18,06\%$ — снижением надоев у коров, закупленных за рубежом и не адаптировавшихся к климатическим условиям Ростовской области.

Эффективность технологии на предприятиях 3-го кластера снижалась (с $0,66$ до $0,16$), что уже само по себе свидетельствует о регрессе. В то же время повышение капиталоемкости (с $9,49$ до $17,13$) было вызвано резким снижением числа занятых и использованием морально и физически устаревшего оборудования, значительная часть которого находилась в ремонте. Поэтому динамика капиталоемкости не является отражением прогрессивных тенденций. Резкие изменения предельной нормы технологического замещения в течение трех лет объясняются отсутствием регулирования соотношения между трудом и капиталом и экономически обоснованного замещения факторов производства. Изменение предельного продукта такого фактора, как численность поголовья, свидетельствует о ее сокращении, а динамика предельного продукта по расходу кормов — о резких изменениях затрат кормов на одно животное в разные годы, что не способствовало повышению (в отдельные годы сохранению) продуктивности животных. Показатели технологических изменений на предприятиях 3-го кластера изменяются противоречиво и независимо друг от друга, тем самым характеризуя наличие регресса.

Капиталоемкий технический прогресс, характерный для предприятий 2-го кластера обеспечил относительно небольшое (по сравнению с третьим кластером) высвобождение работников. Повышение капиталоемкости и эффективности технологии обусловили высвобождение 20 работников. Общее высвобождение рабочей силы на предприятиях, входящих во 2-й кластер, составило 55 человек ($12,5\%$ общего числа работающих) при более высоком соотношении капитала к труду, что соответствовало фактическому высвобождению и обеспечило повышение производительности труда (производство молока на 1 человеко-час) на 14% .

На предприятиях, входящих в 3-й кластер, высвобождение работников вызвано не техническим прогрессом, а сокращением поголовья коров, что привело к снижению объемов производства. При отсутствии технического прогресса использование морально и физически устаревшего оборудования потребовало вовлечения в процесс производства дополнительно 109 работников.

За 2006 г. прирост производства молока на предприятиях 3-го кластера, по сравнению с 2005 г., составил $1,32\%$ и был обеспечен незначительным увеличением расхода кормов на одно животное при сокращении поголовья. Вклад технического прогресса в прирост ничтожно мал и составил $0,11\%$, что подтверждает вывод об его отсутствии, т.е. о регрессе.

Для оценки вклада технического прогресса в конечный выпуск на предприятиях, входящих в 1-й кластер, и его влияния на численность занятых, а также для обоснования применимости производственных функций на практике в управлении деятельностью сельскохозяйственными предприятиями были проанализированы показатели СЗАО «СКВО» Зерноградского района Ростовской области. Предприятие является многопродуктовым и занимается производством продукции растениеводства и животноводства. В общей структуре выручки СЗАО «СКВО» реализация молока составляет около 30% .

Оценка технического прогресса осуществлялась по его вкладу в динамику валового внутреннего продукта (ВВП) молочного скотоводства в сопоставимых ценах (табл. 6).

Затраты факторов производства получены из форм годовых бухгалтерских отчетов предприятия за десятилетний период — с 1996 по 2008 г., из сведений, содержащихся в первичных документах по учету основных средств предприятия, что позволяет считать исходные данные обоснованными с точки зрения статистической достоверности. В 2002 г. в СЗАО «СКВО» была проведена комплексная модернизация производства, включающая замену оборудования, изменение породного состава животных, смену технологии производства. В результате внедрения достижений технического прогресса производительность труда в СЗАО «СКВО» повысилась (табл. 7).

Таблица 6

**Конечный продукт СЗАО «СКВО» в молочном скотоводстве
и изменение факторов — его определяющих⁶**

Год	ВВП, Q , тыс. руб.	Основной капитал, K , тыс. руб.	Капиталоемкость K/L , руб./чел.-ч.	Капиталоотдача Q/L
2004	37252	78275	1102,46	0,48
2005	45511	67056	1016,00	0,68
2006	39480	58238	939,32	0,68
2007	38416	64117	971,47	0,60
2008	53903	100951	1463,06	0,53

Таблица 7

**Изменение численности занятых и затрат труда в производстве молока
в СЗАО «СКВО» в период с 2004 по 2008 г.⁷**

Год	Численность занятых, E , чел.	Затраты труда, L , тыс. чел.-ч.	Почасовая производительность труда, Q/L , руб./чел.-ч.	Производительность труда в расчете на одного работника, Q/E , тыс. руб./чел.
2004	39	71,00	524,68	955,18
2005	39	66,00	689,56	1012,31
2006	36	62,00	636,77	1096,67
2007	32	66,00	582,06	1200,50
2008	36	69,00	781,20	1497,31

В рамках рассматриваемого периода выделим два этапа: до модернизации производства с 1996 по 2002 г. и после ее проведения — с 2003 по 2008 г. (табл. 8).

Таблица 8

**Изменение конечного продукта молочного скотоводства и затрат труда
в СЗАО «СКВО» с 1996 по 2008 г.**

Показатели	Год	
	1996–2002	2003–2008
ВВП, Q , тыс. руб.	9331,1	40948,6
Затраты труда, L , тыс. чел.-ч.	105,7	68,8
Численность занятых, E , чел.	66,7	36,7
Почасовая производительность труда, Q/L , руб./ч.	0,098	0,537
Рабочее время одного занятого, L/E , тыс. ч.	1,58	1,87

Если бы выпуску продукции за период с 1996 по 2002 г. соответствовала производительность труда, достигнутая после модернизации производства, то количество отработанных часов составило бы:

⁶ Рассчитаны авторами на основе исходных данных предприятия.

⁷ Рассчитано авторами на основе исходных данных предприятия.

$$L^* = \frac{Q_{1996-2002}}{(Q/L)_{2003-2008}} = 15,7.$$

Потребовалось бы 15,7 тыс. часов труда вместо 105,7 тыс., отработанных в действительности. Это повлекло бы сокращение числа занятых до $E^* = \frac{L^*}{(L/E)_{1996-2002}} = 9,9$,

т. е. при существующем объеме производства в условиях возросшей производительности труда предприятию потребовалось бы 10 работников. Высвобожденными оказались бы $E_f = E_{1996-2002} - E^* = 57$ человек. Повторное вовлечение высвобожденных работников в производство, обусловленное техническим прогрессом, составило $E_w = E_{2002-2006} - E^* = 27$ человек. Таким образом, из возможного числа высвобожденных 57 человек повторно в процесс производства было вовлечено 27.

На основании проведенного анализа приходим к выводу, что при сложившемся техническом уровне производства в СЗАО «СКВО» возможно дальнейшее сокращение численности работников, занятых в молочном скотоводстве. Для подтверждения этого вывода оценим влияние технического прогресса на показатели деятельности предприятия на основе данных бухгалтерской отчетности по производству молока с 1996 по 2008 г.

Так как на конечные результаты работы предприятия оказывает влияние не только качество применяемых машин и оборудования, но и селекционно-генетические характеристики породного состава, то чтобы учесть такой немаловажный фактор, как размер поголовья, этот показатель был взят в качестве независимой переменной, наряду с затратами труда, используемого в молочном скотоводстве, затратами капитала и расходом кормов:

$$Q = AL^\alpha K^\beta C^\gamma F^\varphi,$$

где L, K, C, F — затраты труда, капитала, среднегодовое поголовье и расход кормовых единиц соответственно A — коэффициент эффективности технологии $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ — частные эластичности выпуска по факторам производства.

Построим производственную функцию для подразделения СЗАО «СКВО», занимающегося производством молока, с использованием выше представленного алгоритма обоснования функции.

Полученная в результате расчетов производственная функция имеет вид:

$$Q = 9,12L^{-2,752} K^{0,582} C^{2,421} F^{-0,253}.$$

Коэффициент детерминации R^2 равен 0,88, что свидетельствует о достоверности предлагаемой модели. Значение показателя эффективности технологии ($A = 9,12$) свидетельствует о высоком технологическом и техническом уровне производства после технологической модернизации, отрицательная частная эластичность выпуска по труду — об использовании избыточной рабочей силы. В производстве молока в СЗАО «СКВО» используются автоматизированные системы кормления, содержания и доения животных, которые требуют минимальных затрат труда.

Замена поголовья на высокопродуктивное племенное отразилась на предельном продукте этого фактора, который с 40,36 в 2002 г. вырос до 140,78 в 2008 г. Повышение капиталоемкости с 11,20 до 591,13 подтверждает вывод об эффективности применяемых технологий, отражается в росте выпуска продукции и свидетельствует о трудоинтенсивном типе технического прогресса. Отрицательное значение предельного продукта кормов может свидетельствовать о несбалансированном кормовом рационе, который не соответствует имеющемуся поголовью (табл. 9).

Прирост валового надоя в СЗАО «СКВО» в 2008 г. составил 23,09% по сравнению с 2007 г. и был обеспечен на 31,58% (из общего в 23,09% прироста) увеличением поголовья, на 5,04% — приростом основного капитала, на 6,35% — техническим прогрессом, на 7,65% — снижением расхода кормов, на 12,23% — сокращением прямых затрат труда.

Используемые в настоящее время в хозяйстве техника и технология позволяют весь капитал заменить трудом. Соотношение между относительным изменением капиталоемкости

сти $\frac{d(K/L)}{K/L}$ и относительным изменением предельной нормы технологического замещения

$\frac{d(f_L/f_K)}{f_L/f_K}$, равное единице, а также аналогичное соотношение для F/C необходимо использо-

вать в минимизации затрат труда, капитала, кормов и численности коров на один центнер молока. Планируя уровень показателей технического прогресса, несложно обосновать экономические показатели деятельности предприятия после его технического перевооружения.

Таблица 9

Показатели технического прогресса в СЗАО «СКВО»⁸

Год	Капитало-емкость, K/L	Предельные продукты факторов производства				Предельная норма технологического замещения, $MRTS_K$	Эластичность замещения труда капиталом, σ_K
		Труд	Капитал	Поголовье	Корма		
2003	255,98	-3503,02	2,89	161,86	-2,06	-1211,73	1,00
2004	374,01	-3938,22	2,22	185,80	-1,23	-1770,46	1,00
2005	357,92	-3703,59	2,19	176,61	-0,83	-1694,26	1,00
2006	333,51	-2791,03	1,77	153,60	-0,74	-1578,72	1,00
2007	497,65	-1991,34	0,85	135,68	-0,55	-2355,72	1,00
2008	519,13	-2252,05	0,92	140,78	-0,48	-2457,40	1,00

Используя адаптированную к условиям молочного скотоводства производственную функцию Кобба—Дугласа с суммой частных эластичности факторов производства, не равной единице, с помощью алгоритма расчета производственных функций и табличного процессора MS Excel можно рассчитать показатели технического прогресса и определить его тип для конкретного предприятия. Полученные результаты позволяют принимать решения о целесообразности использования того или иного типа технического прогресса в сельскохозяйственных организациях с учетом имеющихся ресурсов и природных условий.

Обоснованные значения коэффициента капиталоемкости технологии и эластичности замещения факторов производства дают возможность принимать решения об изменении пропорций между затратами труда и капитала, обеспечивающем снижение издержек производства; оценить финансовые средства, необходимые для подобного рода преобразований; определить пределы, при которых при сокращении поголовья животных и увеличении расхода кормов растет объем производства.

Таким образом, с помощью производственных функций измерены параметры технического прогресса, определены его типы и оценено, насколько фактический выпуск отличается от потенциально возможного, выявлены резервы для устранения разрыва между их значениями. Обоснованные производственные функции для сельскохозяйственных предприятий Ростовской области, занимающихся производством молока, являются имитационными моделями производства, позволяющими руководителям и специалистам находить ответы на вопросы, «что будет, если...», если будут изменяться цены на ресурсы, затраты факторов, технические параметры внедряемой техники и т.п., точно прогнозировать технические и экономические показатели деятельности предприятия в ближайшем будущем. В этом состоит значение выполненного исследования для практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллен Р. Дж. Д. Математическая экономия. М.: Изд-во иностранной лит, 1963.
2. Браун М. Теория и измерение технического прогресса. М.: Статистика, 1971.
3. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Прогресс, 2002.
4. Кендрик Дж. Тенденции производительности в США. М.: Статистика, 1967.
5. Солоу Р. М. Экономическая теория ресурсов или ресурсы экономической теории. Лекция в честь Ричарда Т. Эли. // Вехи экономической мысли. Т. 3. СПб.: Экономическая школа, 1999.
6. Тинберген Я., Босс Х. Математические модели экономического роста. М: Прогресс, 1967.
7. Хеди Э., Диллон Д. Производственные функции в сельском хозяйстве. М.: Прогресс, 1965.
8. Эрроу К. Дж. Применение теории управления к экономическому росту // Математическая экономия. М.: Мир, 1974.

⁸ Рассчитаны авторами на основе исходных данных.