

Оценочная модель влияния цифровых технологий

на эффективность пищевой промышленности



УДК 338.45:664:004



Янь Чаохэн,
аспирант Белорусского
национального технического
университета;
emoting.cz@gmail.com

Аннотация. Изучен механизм воздействия цифровых преобразований на производительность китайских пищевых компаний, построена оценочная модель для эмпирической проверки. Применен метод анализа среды функционирования (DEA) для измерения технической эффективности предприятий, котирующихся на фондовой бирже А-акций, за период 2018–2024 гг., использована регрессионная модель Tobit для определения степени воздействия цифровых технологий на эффективность деятельности субъектов хозяйствования. Предложены теоретическая основа и практическое руководство для организаций по осуществлению цифровой трансформации и повышению производственной результативности, а также рекомендации для принятия решений правительством при разработке соответствующей промышленной политики. Отмечены причины потери эффективности в этом сегменте экономики, предложены пути выхода из сложившейся ситуации.

Ключевые слова: цифровые технологии, пищевая отрасль, эффективность предприятий, анализ среды функционирования (DEA), модель Tobit, цифровая трансформация, технологические инновации.

Для цитирования: Янь Чаохэн. Оценочная модель влияния цифровых технологий на эффективность пищевой промышленности // Наука и инновации. 2026. №7. С. 44–49. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2026-07-44-49>

С углублением развития нового раунда научно-технической революции и промышленной трансформации цифровые технологии стали ключевой силой в перераспределении мировых ресурсов, реструктуризации экономической структуры и изменении глобального конкурентного ландшафта. Группа двадцати (G20) в «Инициативе по развитию и сотрудничеству в области цифрового сектора», принятой на саммите в Ханчжоу в 2016 г., четко указала, что этот сегмент становится все более важной движущей силой экономического роста, способной значительно повысить экономическую эффективность, создать новые возможности для трудоустройства и улучшить качество государственных услуг [1]. Пищевая отрасль, будучи базовой, напрямую влияет на продовольственную безопасность страны и здоровье граждан. Однако традиционно она повсеместно сталкивается с такими проблемами, как высокие технологические затраты, сложные цепочки поставок, трудности в отслеживании качества и безопасности продукции, медленное реагирование на нужды потребителей [2].

Цифровая трансформация предоставляет новый путь для решения этих вопросов. Благодаря применению больших данных, искусственного интеллекта, Интернета вещей, блокчейна и других цифровых технологий предприятия пищевой отрасли могут добиться интеллектуализации технологического процесса, прозрачности цепочки поставок, отслеживаемости управления качеством и точности маркетинга, тем самым всесторонне повышая операционную эффективность и основную конкурентоспособность [3]. Например, в производственном звене интеллектуальные датчики и алгоритмы машинного обучения в реальном времени контролируют технологические параметры, оптимизируют процессы и сокращают отходы сырья; в цепочках поставок технология блокчейн создает систему полного отслеживания от фермы до стола, обеспечивая безопасность продуктов питания; в маркетинге с помощью анализа больших данных точно определяются предпочтения потребителей, реализуются персонализированные рекомендации и индивидуализированное производство.

Несмотря на широкие перспективы внедрения цифровизации в пищевой отрасли, вопрос о том, каково ее фактическое влияние на эффективность предприятий, остается темой, требующей углубленного изучения. С одной стороны, для цифровой трансформации нужны значительные капитальные вложения и организационные изменения, что в краткосрочной перспективе может увеличить нагрузку на предприятия; с другой – возникает вопрос, могут ли цифровые технологии эффективно интегрироваться с существующими бизнес-процессами предприятий и может ли их потенциальная ценность быть полностью реализована.

Поэтому цели данного исследования заключаются в следующем: во-первых, построение комплексной оценочной системы для измерения влияния цифровых технологий на деятельность субъектов хозяйствования; во-вторых, эмпирическая проверка взаимосвязи между этими двумя составляющими на базе эконометрических методов; в-третьих, выявление ключевых факторов, влияющих на результативность предприятий. Для этого в данной статье будет использован двухэтапный метод исследования. На первом этапе – метод анализа среды функционирования (DEA), на втором – регрессионная модель Tobit, где в качестве зависимой переменной используется значение эффективности, рассчитанное на первом этапе, а в качестве основной незави-

симой переменной – уровень применения цифровых технологий для углубленного анализа их влияния на эффективность предприятий.

Взаимосвязь цифровых технологий и эффективности предприятий

Изучение влияния цифровой трансформации на результаты деятельности компаний стало актуальной темой в академических кругах [4, 5]. В области пищевой отрасли обзорное исследование Kamilaris и Prenafeta-Boldú (2018) систематически обобщило применение глубокого обучения и других технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве и пищевой отрасли, обнаружив, что эти технологии демонстрируют огромный потенциал в идентификации болезней и вредителей сельскохозяйственных культур, прогнозировании урожайности, контроле качества и других областях [6, 7]. Однако некоторые работы указывают на обратное.

Методы измерения эффективности предприятий в основном делятся на непараметрические и параметрические. Первые представлены анализом среды функционирования (DEA), который не требует предварительного определения формы функции и может эффективно обрабатывать ситуации с множественными входами и выходами, поэтому широко применяется в области оценки эффективности [8, 9]. В последние годы этот метод получил дальнейшее развитие, появились такие его расширенные модели, как суперэффективный DEA, сетевой DEA, динамический DEA, которые могут более детально характеризовать различные измерения.

Постулаты данной статьи в основном базируются на теории производства и теории технологических инноваций [10, 11] и определяют следующие механизмы роста эффективности предприятий пищевой отрасли: экономию затрат, повышение качества, содействие инновациям и соответствие запросам рынка.

Дизайн исследования и методы

На первом этапе используется модель DEA-БСС (ориентированная на входы), с помощью которой можно разложить общую техническую эффективность (ТЭ) на производство чистой технической эффективности (ЧТЭ) и масштабной эффективности (МЭ), то есть $ТЭ = ЧТЭ \times МЭ$. При этом ЧТЭ

отражает уровень управления и технологий компании, а МЭ – находится ли она в оптимальном масштабе производства.

Математическое выражение модели следующее:

$$\begin{aligned}\sum_j \lambda_j X_{ij} &\leq \theta X_{i0}, \\ \sum_j \lambda_j Y_{rj} &\geq Y_{r0}, \\ \sum_j \lambda_j &= 1, \\ \lambda_j &\geq 0,\end{aligned}$$

где θ – значение эффективности ($0 < \theta \leq 1$), $\theta = 1$ означает, что единица принятия решений находится на границе эффективности, $\theta < 1$ – наличие потерь эффективности; X_{ij} – i -й вход j -го предприятия; Y_{rj} – r -й выход j -го предприятия; λ_j – весовой коэффициент, представляющий комбинированный вес каждой единицы принятия решений в эталонном множестве. Ограничение $\sum_j \lambda_j = 1$ показывает изменение отдачи от масштаба.

Поскольку значения эффективности, рассчитанные методом DEA, находятся между 0 и 1 и являются ограниченной зависимой переменной, использование обычного метода наименьших квадратов (OLS) для регрессии приведет к смещенным и несостоятельным оценкам.

На втором этапе строится регрессионная модель Tobit:

$$\begin{aligned}T\Theta_i^* &= \alpha + \beta_1 \text{Цифровизация}_i + \sum_k \beta_k \text{Контроль}_{ik} + \varepsilon_i, \\ T\Theta_i &= T\Theta_i^* \text{ если } 0 < T\Theta_i^* \leq 1, \\ T\Theta_i &= 0 \text{ если } T\Theta_i^* \leq 0, \\ T\Theta_i &= 1 \text{ если } T\Theta_i^* > 1,\end{aligned}$$

где $T\Theta_i^*$ и $T\Theta_i$ – скрытое и наблюдаемое значения эффективности, Цифровизация_i – основная объясняющая переменная (уровень внедрения цифровизации), Контроль_{ik} – ряд контрольных переменных, ε_i – случайное возмущение, предполагается, что оно подчиняется нормальному распределению $N(0, \sigma^2)$.

Определение переменных и источники данных

В качестве объектов исследования были взяты предприятия пищевой отрасли Китая, котирующиеся на фондовой бирже А-акций за период с 2018 по 2024 г.

Выбор входных переменных соответствует теории производственной функции и включает 3 основных фактора – капитал, труд и технологии:

- **общие активы** – совокупные ресурсы предприятия на конец года, отражают масштаб капитальных вложений;
- **численность сотрудников** – общее число работников компании на конец года, масштаб трудовых вложений;
- **инвестиции в НИОКР** – годовые расходы на НИОКР, технологические инновации.

Выходная переменная учитывает общую операционную выручку (измеряется годовым показателем предприятия, свидетельствует о масштабе рынка и операционных результатах организации).

Зависимая переменная отражает техническую эффективность, рассчитанную на первом этапе, диапазон значений (0, 1).

Основная объясняющая переменная показывает уровень внедрения цифровизации, определяемый по методу исследования [6].

Контрольные переменные включают:

- **размер организации** – исчисляется натуральным логарифмом общих активов, контролирует эффект масштаба;
- **возраст предприятия** – измеряется числом лет компании с момента ее листинга, показывает влияние зрелости субъекта;
- **структура собственности** – фиктивная переменная: если предприятие находится под государственным контролем, то она равна 1, в противном случае – 0, определяет влияние формы собственности;
- **финансовый рычаг**: устанавливается коэффициентом задолженности, контролирует финансовые риски;
- **интенсивность НИОКР** – доля расходов на научно-исследовательскую деятельность в операционной выручке, характеризует инновационный потенциал;
- **рыночная конкуренция** – измеряется индексом Херфиндаля – Хишмана, отражает концентрацию рынка, чем больше показатель, тем она выше, а конкуренция – слабее.

Эмпирические результаты и анализ

Результаты описательной статистики основных переменных представлены в табл. 1. Согласно ее данным, среднее значение технической эффективности выборочных предприятий составляет 0,751 со стандартным отклонением 0,182, что указывает

на значительные различия в их эффективности. По внедрению цифровизации эти показатели 2,134 и 1,256 соответственно, что свидетельствует о неравномерном прогрессе в цифровой трансформации. Среднее значение размера предприятия – 22,456, что соответствует общим активам около 5,6 млрд юаней, интенсивности НИОКР – 0,032, или 3,2% от операционной выручки, что ниже, чем в высокотехнологичных отраслях и отражает характеристики пищевой отрасли как традиционной.

В табл. 2 представлена динамика технической эффективности выборочных предприятий за период 2018–2024 гг., согласно которой общая техническая эффективность постепенно повысилась с 0,723 в 2018 г. до 0,782 в 2024 г. со среднегодовым темпом роста около 1,3%, что свидетельствует о стабильном повышении общего уровня эффективности пищевой отрасли Китая. Среднее значение чистой технической эффективности составляет 0,856, что выше среднего показателя масштабной эффективности – 0,878 и указывает на то, что потери эффективности в основном происходят из-за недостаточного уровня управления и технологий, а не из-за масштаба производства.

Переменная	Наблюдения	Среднее	Стандартные отклонения	Минимум	Максимум
Техническая эффективность	420	0,751	0,182	0,312	1,000
Уровень цифровизации	420	2,134	1,256	0,000	5,892
Размер предприятия	420	22,456	1,234	19,876	25,678
Возраст предприятия	420	12,345	6,789	1,000	28,000
Государственная собственность	420	0,286	0,452	0,000	1,000
Финансовый рычаг	420	0,456	0,189	0,123	0,892
Интенсивность НИОКР	420	0,032	0,024	0,001	0,145
Индекс Херфиндала-Хиршмана	420	0,123	0,056	0,045	0,287

Таблица 1. Описательная статистика основных переменных

Год	Общая техническая эффективность	Чистая техническая эффективность	Масштабная эффективность
2018	0,723	0,841	0,860
2019	0,735	0,849	0,866
2020	0,748	0,855	0,875
2021	0,756	0,860	0,879
2022	0,764	0,865	0,883
2023	0,773	0,869	0,890
2024	0,782	0,873	0,896
Среднее	0,751	0,856	0,878

Таблица 2. Динамика технической эффективности за 2018–2024 гг.

В целом он довольно большой, но в области детального управления, технологических инноваций, контроля качества и других аспектах все еще нуждается в улучшении.

С точки зрения временного лага общая техническая, чистая техническая и масштабная эффективности демонстрируют стабильную тенденцию роста, что может быть связано со следующими факторами.

Во-первых, принят ряд документов, поддерживающих трансформацию и модернизацию этого сегмента экономики, таких как План развития пищевой отрасли на Тринадцатую пятилетку, Руководящие мнения о содействии здоровому развитию пищевой отрасли и др., что обеспечило благоприятную среду для предприятий.

Во-вторых, требования потребителей к качеству и безопасности продуктов питания постоянно повышаются, что вынуждает компании совершенствовать управление качеством и технологические инновации.

В-третьих, активное внедрение цифровизации предоставило субъектам новые инструменты и средства для роста эффективности.

В табл. 3 представлены результаты регрессии модели Tobit. Значение логарифмической функции правдоподобия составляет 218,456, статистика отношения правдоподобия χ^2 – 125,678 с Р-значением 0,000, что указывает на ее хорошее соответствие данным и статистическую значимость.

Коэффициент цифровых технологий составляет 0,125 и значим на уровне 1%. При внедрении цифровизации на 1 единицу (логарифмическое значение)

Переменная	Коэффициент	Стандартная ошибка	z-статистика	P-значение	95% доверительный интервал
Уровень цифровизации	0,125***	0,031	4,03	0,000	[0,064; 0,186]
Размер предприятия	0,042**	0,019	2,21	0,027	[0,005; 0,079]
Возраст предприятия	-0,003	0,002	-1,50	0,134	[-0,007; 0,001]
Государственная собственность	-0,058*	0,030	-1,93	0,053	[-0,117; 0,001]
Финансовый рычаг	-0,081**	0,035	-2,31	0,021	[-0,150; -0,012]
Интенсивность НИОКР	0,067***	0,022	3,05	0,002	[0,024; 0,110]
Индекс Херфиндала-Хиршмана	-0,095**	0,041	-2,32	0,020	[-0,175; -0,015]
Константа	0,451***	0,082	5,50	0,000	[0,290; 0,612]

Таблица 3. Результаты регрессии Tobit. Примечание: ***, **, * – статистическая значимость на уровне 1%, 5% и 10% соответственно

техническая эффективность предприятия в среднем повысится на 0,125. С увеличением количества упоминаний ключевых слов, связанных с цифровыми технологиями, с 10 до 20 раз (логарифмическое значение вырастет с 2,398 до 3,044, прирост около 0,646), ожидается, что ТО компании станет больше примерно на 8,1% ($0,125 \times 0,646 \approx 0,081$).

Остальные коэффициенты составляют следующие значения:

- размер предприятия – 0,042, значим на уровне 5%;
- государственная собственность – -0,058 и 10%;
- финансовый рычаг – -0,081 и 5%;
- интенсивность НИОКР – 0,067 и 1%.
- индекс Херфиндала – Хиршмана – -0,095 и 5%;
- возраст компании – -0,003 (незначим).

Для обеспечения правильности выводов в статье проведены следующие проверки робастности: замена способа измерения основной объясняющей переменной, использование доли инвестиций предприятия в информатизацию в операционной выручке в качестве прокси-переменной уровня внедрения цифровизации (результаты регрессии остаются значимыми); применение модели суперэффективности DEA для повторного расчета ТО с целью различения компаний со значением эффективности 1 (результаты регрессии остаются робастными); взятый за основу средний отраслевой уровень внедрения цифровизации в качестве инструментальной переменной и результаты двухшагового метода наименьших квадратов (2SLS) согласуются с моделью Tobit. Результаты этих проверок робастности подтверждают основные выводы данной статьи.

Выводы и рекомендации

Посредством построения двухэтапной модели DEA-Tobit проведено эмпирическое исследование влияния цифровых технологий на эффективность деятельности компаний пищевой отрасли. На основе его выводов предлагаются следующие рекомендации.

Во-первых, предприятиям следует ускорить темпы цифровой трансформации, обозначив ее внедрение основной задачей. Для этого необходимо разработать четкую стратегию и дорожную карту цифровизации.

Во-вторых, компаниям целесообразно сделать упор на инновации, создать собственный инновационный потенциал. Инвестиции в НИОКР – важнейшая движущая сила повышения технической эффективности.

В-третьих, нужно оптимизировать внутреннее управление, поскольку это ключевой фактор роста предприятий.

В-четвертых, на государственном уровне предстоит совершенствовать цифровую инфраструктуру, формировать благоприятную среду для дигитализации предприятий, увеличить инвестиции в сети 5G, промышленный Интернет, центры обработки больших данных, платформы облачных вычислений, снизить затраты и пороги внедрения цифровизации.

В-пятых, требуются специальные стимулирующие меры, направляющие и поощряющие субъекты хозяйствования к применению цифровых технологий, специальные фонды для предоставления финансовых субсидий или льготных кредитов под такие проекты; различные льготы, например ускоренная

амортизация или налоговые вычеты для закупки цифрового оборудования и программного обеспечения; демонстрационные проекты и образцовые предприятия.

В-шестых, следует поддерживать конкурентную среду, через рыночные механизмы вынуждать организации повышать эффективность.

В-седьмых, необходимо усилить подготовку персонала в этой области, обеспечивая ее кадровую поддержку, поддерживать высшие учебные заведения и профессиональные училища, открывать специальности, связанные с цифровыми технологиями, готовить работников, компетентных в 2 направлениях – пищевой отрасли и цифровых технологиях.

Данное исследование требует доработки и дальнейшего совершенствования по причине ограничения доступности данных, поскольку в качестве объекта изучения выбраны только публичные компании, в то время как большое количество малых и средних предприятий пищевой отрасли не включено в анализ. В будущем они должны стать предметом исследования для повышения внешней валидности публикации.

■ **Summary.** This paper aims to explore the mechanism of digital technology's impact on the efficiency of food industry enterprises and to construct an evaluation model for empirical testing. The study first uses the Data Envelopment Analysis (DEA) method to measure the technical efficiency of China's A-share listed food industry companies from 2018 to 2024. Subsequently, the Tobit regression model is employed to analyze the impact of the level of digital technology application on enterprise efficiency. The findings indicate that the level of digital technology application has a significant positive effect on the technical efficiency of food industry enterprises, with a coefficient of 0.125, significant at the 1% level. Furthermore, firm size, R&D investment, and the degree of market competition also have important impacts on enterprise efficiency. The results of this study provide a theoretical basis and practical guidance for food industry enterprises to implement digital transformation and improve production efficiency, and also offer a decision-making reference for government industrial policy formulation. The research shows that Chinese food industry enterprises generally experience approximately 25% efficiency loss, mainly due to insufficient management and technical capabilities rather than inappropriate production scale. Therefore, enterprises should accelerate digital transformation, strengthen R&D innovation, and optimize internal management; governments should improve digital infrastructure, introduce special incentive policies, and maintain a fair competitive environment.

■ **Keywords:** digital technology, food industry, enterprise efficiency, data envelopment analysis (DEA), tobit model, digital transformation, technological innovation.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2026-07-44-49>

К тому же целесообразно рассмотреть гетерогенные характеристики влияния цифровых технологий и предоставить более целенаправленные рекомендации для различных типов компаний.

Несмотря на указанные ограничения, данное исследование все же предоставляет важные эмпирические доказательства для понимания взаимосвязи между цифровизацией и эффективностью предприятий пищевой отрасли, ценную справочную информацию для подготовки стратегий цифровой трансформации и разработки правительствами промышленной политики. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. G20 Digital Economy Development and Cooperation Initiative / G20. Hangzhou Summit, 2016 // <https://g20.utoronto.ca/2016/160905-digital.html>.
2. Kamilaris A. Deep learning in agriculture: A survey / A. Kamilaris, F. X. Prenafeta-Boldú // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 147. P. 70–90.
3. Li L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of «Made-in-China 2025» and Industry 4.0 // *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. Vol. 135. P. 66–74.
4. Brynjolfsson E. Computing productivity: Firm-level evidence / E. Brynjolfsson, L.M. Hitt // *Review of Economics and Statistics*. 2003. Vol. 85, №4. P. 793–808.
5. Acemoglu D. Return of the Solow paradox? IT, productivity, and employment in US manufacturing / D. Acemoglu, D. Autor, D. Dorn, G. H. Hanson, B. Price // *American Economic Review*. 2014. Vol. 104, №5. P. 394–399.
6. Ци Юйдун. Как цифровая трансформация влияет на результаты деятельности предприятий – анализ на основе двойного эффекта «затрат» и «инноваций» / Ци Юйдун, Сяо Сюй // *Мир управления*. 2020. Т. 36, №6. С. 114–133.
7. Чжао Чэньюй. Как цифровая трансформация влияет на общую факторную производительность предприятий / Чжао Чэньюй, Ван Вэньчунь, Ли Сюэсун // *Финансы и торговая экономика*. 2021. Т. 42, №7. С. 114–129.
8. Liu J.S. A survey of DEA applications / J.S. Liu, L.Y. Lu, W.M. Lu // *Omega*. 2013. Vol. 41, №5. P. 893–902.
9. Charnes A. Measuring the efficiency of decision making units / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // *European Journal of Operational Research*. 1978. Vol. 2, №6. P. 429–444.
10. Banker R.D. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis / R.D. Banker, A. Charnes, W.W. Cooper // *Management Science*. 1984. Vol. 30, №9. P. 1078–1092.
11. Schumpeter J.A. *Capitalism, Socialism and Democracy* / J.A. Schumpeter. – New York, 1942.

Статья поступила в редакцию
12.03.2026 г.