

Методология оценки влияния цифровизации на отрасль хмелеводства в России

Винокурова Е.В., ФГБОУ Чувашский ГАУ Центр компетенций
«Чувашия центр производства Хмеля», Республика Чувашия, Российская
Федерация

Винокуров К.Р., ФГБОУ ВО «РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева»,
Института экономики и управления АПК, Москва, Российская Федерация

В условиях критической зависимости пивоваренной отрасли от импорта хмеля (более 85%) цифровая трансформация хмелеводства становится ключевым фактором продовольственной безопасности. В статье проведен критический анализ традиционных и современных подходов к оценке цифровизации в агропромышленном секторе. Основным результатом исследования заключается в предложенной автором методологии расчета интегрального индекса цифровой зрелости отрасли хмелеводства. Вклад авторов в новизну заключается в синтезе агротехнических коэффициентов и ИТ-индикаторов, апробированных на данных Чувашской Республики. Предложенный автором метод позволяет количественно обосновать разрыв между уровнем автоматизации полевых работ и послеуборочной обработки.

1. Введение

Хмелеводство является одной из самых капиталоемких и технологически сложных отраслей растениеводства. Санкционное давление и разрыв логистических цепочек с традиционными поставщиками, таких как Германия, Чехия и США обострили необходимость возрождения российского хмеля. Однако отрасль сталкивается с дефицитом агрономических компетенций и неразвитостью, и износом инфраструктуры. Единственным

способом экстенсивного наращивания объемов производства хмеля и его урожайности является внедрение цифровых инструментов, таких как интернет вещей, компьютерное зрение, нейросети управления температурным режимом и климатом в хмелесушилках, хранилищах и т.д.. Проблема заключается в отсутствии научно обоснованной методологии, позволяющей оценить, как внедрение конкретных цифровых решений влияет на экономическую и агротехнологическую эффективность хмелеводства в современных условиях России. В связи с чем целью исследования является разработка и теоретико-методологическое обоснование методики интегральной оценки влияния цифровизации на производственный потенциал отрасли хмелеводства.

2. Основная часть.

2.1. Теоретико-методологическое обоснование методологии оценки влияния цифровизации на отрасль хмелеводства в России

Оценка цифровизации не может базироваться исключительно на IT-метриках, таких как зона покрытия Wi-Fi, количество датчиков, так как в хмелеводстве важна взаимосвязь цифрового сигнала с биологическим объектом шишка хмеля. В этой связи возникает необходимость разработки методов, позволяющих оценить не только взаимосвязь, но и ее эффективность.

Для выявления ограничений существующих методов проведем сравнительный анализ.

1. Традиционные подходы предполагают проведение оценки эффективности инноваций в сельском хозяйстве при использовании методов экономического анализа: метод дисконтированных денежных потоков (DCF); оценка окупаемости инвестиций (ROI), сравнения урожайности хмеля в хозяйствах до и после внедрения технологий, экспертно-балльная оценка агрономами уровня технологичности предприятия.

2. Современные подходы предлагают комплексные индексы: индексы цифровой зрелости в рамках оценки уровня автоматизации процессов, глубину аналитики данных и корпоративную культуру; методы системного анализа и имитационного моделирования, позволяющие строить модели

«цифровой двойник хмельника», оценивая влияние погодных факторов и сценариев орошения на урожай.

Традиционные методы игнорируют синергетический эффект, а «цифровые двойники» избыточны для массового аудита. Требуется промежуточный инструмент - методология расчета индекса цифровизации хмелеводства.

2.2. Методология оценки влияния цифровизации на отрасль хмелеводства в России

Предлагается метод расчета «Индекса цифрового хмелеводства», который выступает синтетическим показателем, агрегирующий техническую оснащенность, цифровую зрелость процессов и результативность.

Алгоритм применения метода предполагает выполнение 5 этапов:

- на первом этапе происходит декомпозиция технологической карты: выделение 4 ключевых блоков-субфакторов (F1...F4);
- на втором этапе происходит сбор индикаторов, таких как: получение данных из систем точного земледелия, бухгалтерии (РСБУ) и датчиков IoT;
- на третьем этапе происходит нормирование показателей, а именно приведение разнородных единиц к безразмерной шкале от 0 до 1 при использовании метода линейного масштабирования «мини-макс»;
- на четвертом этапе проводится расчет весомости индикаторов при использовании метода экспертной оценки;
- на пятом этапе проводится расчет интегрального показателя путем суммирования произведений нормированных показателей на веса.

Таблица 1. Концептуальные основы методологии расчета «Индекса цифрового хмелеводства»

Блок оценки (Субфактор Fi)	Вес (Wi)	Ключевые показатели (Xij)	Формула и способ измерения
F1. Цифровизация поля	0,30	NDVI-индексация, контроль влажности почвы на глубине 40 см, автоматические метеостанции	$X_{IoT} = \frac{N_{датчиков}}{N_{норматив}}$
F2. Автоматизация	0,35	Стабилизация температуры в сушилке ($\pm^{\circ}\text{C}$),	$X_{Dry} = 1 - \frac{\Delta T_{факт}}{\Delta T_{крит}}$

уборки и сушки		автоматическая сортировка шишки (оптические сепараторы)	
F3. Цифровой контур управления	0,20	Внедрение ERP-систем (1С:Агрохолдинг), учет движения партий хмеля (QR-кодирование)	$X_{ERP} = \frac{\text{Модуле ПО внедрено}}{\text{Модулей ПО по плану}}$
F4. Качество хмеля (результат)	0,15	Содержание альфа-кислоты (%), индекс хранения (HSI)	$X_{Qual} = \frac{\text{Альфа}_{\text{факт}}}{\text{Альфа}_{\text{норматив сорт потенц}}}$

Итоговая формула расчета Индекса цифрового хмелеводства (IDH)

$$IDH = \sum_{i=1}^4 W_i \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij_{norm}} \right)$$

Где, W_i - вес i -го блока (сумма весов =1);

$X_{ij_{norm}}$ - нормированное значение j -го показателя в i -м блоке (от 0 до 1).

Нормирование показателей, имеющих прямую положительную связь с эффективностью, производится по формуле:

$$X_{norm} = \frac{X_{\text{факт}} - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}$$

2.3. Ожидаемые результаты и научная новизна исследования

Для верификации предложенного Индекса цифрового хмелеводства (IDH) проведено имитационное моделирование на базе типичного хмелеводческого хозяйства Чувашской Республики площадью 50 га промышленных хмельников. В качестве модельного сорта выбран горько-ароматический сорт «Подвязный» (селекции Чувашского НИИСХ), потенциал содержания альфа-кислоты которого в оптимальных агроклиматических условиях достигает 12,5 %.

Сбор первичных данных осуществлён на основе анализа технологических карт, данных бухгалтерской отчётности, отчётов агрохимической службы и технического задания на проект цифровизации. Исходные значения показателей по каждому блоку, а также нормативные (минимальные и максимальные) границы для линейного масштабирования сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Исходные данные и нормированные значения показателей

IDH

Блок (Fi, Wi)	Показатель (Xij)	Значение Базовое	Значение Целевое	Xmin	Xmax	(Xnorm, баз)	(Xnorm, цел)
F1. Цифровизация поля (W1=0,30)	1.1 Плотность датчиков влажности почвы (Nдатч / Nнорматив на 50 га), доля	0 (0 / 10)	0,8 (8 / 10)	0	1,0	0,00	0,80
	1.2 Наличие автоматической метеостанции (AMS)	0	1	0	1	0,00	1,00
	1.3 Применение NDVI-съёмки (есть/нет)	0	1	0	1	0,00	1,00
F2. Автоматизация уборки и сушки (W2=0,35)	2.1 Стабильность температуры сушки ($\pm\Delta T$ от уставки 60 °C)	$\pm 8,0$	$\pm 1,5$	$\pm 10,0$ (крит.)	$\pm 0,5$ (идеал)	0,20	0,85
	2.2 Доля шишек, прошедших оптическую сортировку, %	0	95	0	100	0,00	0,95
	2.3 Автоматический контроль влажности конуса на выходе (0/1)	0	1	0	1	0,00	1,00
F3. Цифровой контур управления (W3=0,20)	3.1 Доля внедрённых модулей ERP (1С:Агрохолдинг),%	10 (только бухгалтерия)	90 (учёт, склад, поле)	0	100	0,10	0,90
	3.2 QR-прослеживаемость партий хмеля (0/1)	0	1	0	1	0,00	1,00
F4. Качество хмеля – результат (W4=0,15)	4.1 Содержание альфа-кислоты (% к сортовому потенциалу)	7,2	11,0	5,0 (мин.)	12,5 (потенц)	0,29	0,8
	4.2 Индекс хранения HSI (чем ниже, тем лучше)	0,32	0,23	0,40 (плохо)	0,20 (отлично)	0,40	0,85

Расчёты демонстрируют, что внедрение полного контура цифровизации поднимает индекс с 0,09 до 0,92, то есть более чем в 10 раз. Декомпозиция индекса позволяет увидеть, что в базовом варианте даже блок качества (F4) далёк от потенциала (средняя альфа 7,2% вместо возможных 12,5%), что напрямую связано с неконтролируемой сушкой и отсутствием сортировки. Целевой сценарий достигает почти 92 % от теоретически достижимого максимума, причём наибольший вклад вносит блок автоматизации сушки (F2) – 0,3267, что подтверждает специфику хмелеводства: именно послеуборочная обработка лимитирует качество и доходность.

На основе полученных значений IDH органы управления АПК Чувашской Республики могут применять дифференцированные меры поддержки. Например, для хозяйств с $IDH < 0,20$ – субсидирование только базовой инфраструктуры; при $0,20 \leq IDH < 0,70$ – софинансирование внедрения датчиков и ERP; при $IDH \geq 0,70$ – повышенный коэффициент субсидии на автоматизацию сушильно-сортировальных комплексов. В пилотном случае целевой сценарий полностью оправдывает инвестиции, а предложенная методология становится объективным инструментом распределения ограниченных бюджетных средств на цифровую трансформацию отрасли.

3. Итог

Значимость проведенного исследования для развития хмелеводства в России заключается в переходе от интуитивных решений о внедрении «умных технологий» к строгой количественной оценке. Предложенный метод оценки влияния цифровизации позволяет увидеть реальные проблемные зоны. В Чувашии это не столько выращивание, сколько комплекс мероприятий, который проводится после сбора урожая с целью сохранения качества продукции, что требует корректировки региональных программ субсидирования; создать объективную систему отбора инвестиционных проектов: Индекс IDH работает как ДНК-паспорт предприятия. Стандартизировать отчетность, так как применимость метода не ограничивается Чувашией, он легко адаптируется под любой регион-производитель хмеля путем изменения нормативных коэффициентов сортов.

Таким образом, тиражирование методологии IDH закладывает научный фундамент для создания в России суверенной системы промышленного хмелеводства.

Литература.

1. Алтухов А.И., Дудин М.Н., Анищенко А.Н. (2019). Глобальная цифровизация как организационно-экономическая основа инновационного развития агропромышленного комплекса РФ. - «Проблемы рыночной экономики», № 2, 2019, с. 17–27. DOI: 10.33051/2500-2325-2019-2-17-27.

2. Каратаева О.Г., Яппарова И.В., Балахонова Е.В., Бахтеев Ю.Д. (2022). Форсайт и инновационные тренды развития сельских территорий. -«Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе», 2022, № 4, с. 46–57. doi:10.21685/2227-8486-2022-4-3

3. Петухова М.С., Агафонова О.В. (2023). Теоретико-методологический фундамент цифровой трансформации сельского хозяйства России: базовые понятия и этапы // Аграрный вестник Урала. - 2023. - № 04 (233). - С. 79–89. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-79-89

4. Распоряжение Правительства РФ от 29 декабря 2021 г. № 3971-р Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г.- [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403236609/?ysclid=mq4tm4yfyj2243807582> (дата обращения 06.06.2026).

5. Смирнов П.А., Терентьев А.Г., Пушкаренко Н.Н., Смирнов М.П., Валиев А.Р., Калимуллин М.Н. (2022). Энергосберегающая подготовка почвы под посадку хмеля // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2022. - №. 4. - С. 68-74. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-68-74>

6. Толстова М.Л., Корнилова А.Е. (2024). Состояние и перспективы развития хмелеводства в Чувашской республике // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2024. - №. 4. - С. 128-134. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-128-134>

7. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: монография / Т.И. Ашмарина, Т.В. Бирюкова, В.Т. Водяников, Т.Б. Лемешко, О.А. Моторин, М.С. Никаноров, М.Н. Степанцевич, А.К. Субаева, Е.В. Худякова, Ю.В. Чутчева, А.В. Эдер, С.И. Афанасьева, А.В. Греченева, О.С. Ермолаева, А.М. Зейлигер, А.Д. Солошенко, К.В. Чернышева, А.В. Бабкина, И.Е. Быстренина, А.Н. Лосев, О.С. Пучкова, А.О. Щирый / Под ред. д.э.н., профессора Е.В. Худяковой (2022). / ФГБОУ ВО «Российский

государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева». – М.: ООО «Мегаполис», 2022. – 160 с.

8. Винокурова Е.В. (2024) Инновационные подходы к разработке модели хмелеводческого кластера // Вестник Академии знаний. - 2024. - № 6 (65). - С. 200-203.

9. Винокурова Е.В. (2024). Методические подходы к оценке эффективности развития отрасли хмелеводства в России // Вестник Академии знаний. - 2024. - № 6 (65). - С. 203-207.

10. Винокурова Е.В., Чутчева Ю.В. (2024). Финансовая кооперация пивоваров в развитии отрасли хмелеводства в России // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. - 2024. - № 2. С. 45-53.

11. Винокурова Е.В. (2024). Анализ опыта и методик зарубежных стран по выращиванию и переработке хмеля. Винокурова Е.В. Russian Journal of Management. 2024. Т. 12. № 4. С. 172-187.

12. Винокурова Е.В. (2024). Инновационные подходы к разработке модели хмелеводческого кластера // Вестник Академии знаний. – 2024. – № 6(65). – С. 200-203. – EDN GMRPSC.

13. Винокурова Е.В., Винокуров К.Р. (2026). Цифровизация и искусственный интеллект в развитии отрасли хмелеводства в России// Вестник аграрной науки. - 2026. - №2 (119). С.83-92.

References in Cyrillics

1. Altukhov A.I., Dudin M.N., Anishchenko A.N. (2019). Global digitalization as an organizational and economic basis for the innovative development of the agro-industrial complex of the Russian Federation // Problems of market economy. 2019. No. 2. pp. 17-27. DOI: 10.33051/2500-2325-2019-2-17-27.

2. Karataeva O.G., Yapparova I.V., Balakhonova E.V., Bakhteev Yu.D. (2022). Foresight and innovative trends in rural development // Models, systems,

networks in economics, technology, nature and society. - 2022. - No. 4. - pp. 46-57.
doi:10.21685/2227-8486-2022-4-3

3. Petukhova M.S., Agafonova O.V. (2023). Theoretical and methodological foundation of the digital transformation of agriculture in Russia: basic concepts and stages // Agrarian Bulletin of the Urals. - 2023. - № 04 (233). - Pp. 79-89. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-79-89

4. Decree of the Government of the Russian Federation dated December 29, 2021 No. 3971-r On Approval of the Strategic Direction in the field of Digital transformation of the Agro-industrial and Fisheries Sectors of the Russian Federation for the period up to 2030 - [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403236609/?ysclid=mq4tm4yfyj2243807582> (accessed 06.06.2026).

5. Smirnov P.A., Terentyev A.G., Pushkarenko N.N., Smirnov M.P., Valiev A.R., Kalimullin M.N. (2022). Energy-saving soil preparation for planting hops // Bulletin of Kazan State Agrarian University. - 2022. - No. 4. - pp. 68-74. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-68-74>

6. Tolstova M.L., Kornilova A.E. (2024). The state and prospects of hop growing in the Chuvash Republic // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. - 2024. - No. 4. - pp. 128-134. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-128-134>

7. Digital transformation of the agro-industrial complex: a monograph / T. I. Ashmarina, T.V. Biryukova, V.T. Vodyannikov, T.B. Lemeshko, O.A. Motorin, M. S. Nikanorov, M.N. Stepantsevich, A.K. Subaeva, E.V. Khudyakova, Yu.V. Chutcheva, A.V. Eder, S.I. Afanasyeva, A.V. Grecheneva, O.S. Ermolaeva, A.M. Zeiliger, A.D. Soloshenkov, K.V. Chernysheva, A.V. Babkina, I.E. Bystrenina, A.N. Losev, O.S. Puchkova, A.O. Shchiry (2022) / Edited by Doctor of Economics, Professor E. V. Khudyakova / Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazeva". Moscow : Megapolis LLC, 2022. 160 p.

8. Vinokurova E.V. (2024). Innovative approaches to the development of a model for a hop-growing cluster // Bulletin of the Academy of Knowledge. - 2024. - No. 6 (65). - Pp. 200-203.

9. Vinokurova E.V. (2024). Methodological approaches to assessing the effectiveness of the development of the hop-growing industry in Russia // Bulletin of the Academy of Knowledge. - 2024. - No. 6 (65). - Pp. 203-207.

10. Vinokurova E.V., Chutcheva Yu.V. (2024). Financial Cooperation of Brewers in the Development of the Hop Growing Industry in Russia // Fundamental and Applied Research of the Cooperative Sector of the Economy. - 2024. - No. 2. Pp. 45-53.

11. Vinokurova E.V. (2024). Analysis of the Experience and Methods of Foreign Countries in the Growing and Processing of Hops. Vinokurova E.V. Russian Journal of Management. 2024. Vol. 12. No. 4. Pp. 172-187.

12. Vinokurova E.V. (2024). Innovative Approaches to Developing a Model of a Hop-Growing Cluster // Bulletin of the Academy of Knowledge. – 2024. – No. 6(65). – Pp. 200-203. – EDN GMRPSC.

13. Vinokurova E.V., Vinokurov K.R.(2026). Digitalization and Artificial Intelligence in the Development of the Hop Growing Industry in Russia// Bulletin of Agrarian Science. - 2026. - No. 2 (119). Pp. 83-92.

Ключевые слова

хмель, цифровизация, продовольственная безопасность, отрасль хмелеводства, цифровизация отрасли хмелеводства, интернет вещей, цифровизация АПК

Винокурова Екатерина Владимировна - младший научный сотрудник
ФГБОУ Чувашский ГАУ Центр компетенций «Чувашия центр производства
Хмеля», <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, SPIN- код: 9235-3059,

unionbeer@yandex.ru

Винокуров Кирилл Романович - студент 1-го курса, ФГБОУ ВО «РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева», Института экономики и управления АПК, специальность 09.03.02 «Информационные системы и технологии», направленность (профиль) «Компьютерные науки и технологии искусственного интеллекта», https://www.elibrary.ru/author_info.asp?isold=1 , kir2006vin@gmail.com

Vinokurova Ekaterina - Junior Researcher of the Federal State Budgetary Institution Chuvash State Agrarian University Center of Competencies "Chuvashia Center for Hops Production",

Vinokurov Kirill - 1st year student, FSBEI HE "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", Institute of Economics and Management of the Agrarian Sector, specialty 09.03.02 "Information Systems and Technologies", focus (profile) "Computer Science and Artificial Intelligence Technologies".

Keywords

hops, digitalization, food security, hop-growing industry, digitalization of the hop-growing industry, Internet of Things, digitalization of the agro-industrial complex, digitalization, assessment methodology, integral index, precision farming.

Methodology for assessing the impact of digitalization on the hop industry in Russia

Abstract. With the brewing industry critically dependent on hop imports (over 85%), the digital transformation of hop production is becoming a key factor in food security. The article provides a critical analysis of traditional and modern approaches to assessing digitalization in the agro-industrial sector. The main result of the research is the methodology proposed by the author for calculating the integral index of digital maturity of the hop industry. The author's contribution to the novelty lies in the synthesis of agrotechnical coefficients and IT indicators tested on the data of the Chuvash Republic. The method proposed by the author makes it possible to quantify the gap between the level of automation of field work and post-harvest processing.