

УДК 631.559

РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ УРОЖАЙНОСТИ В ХМЕЛЕВОДСТВЕ

О. Г. Васильева, П. А. Смирнов, Е. А. Деревянных
Чувашский государственный аграрный университет
428003, г. Чебоксары, Российская Федерация

***Аннотация.** Сегодня Чувашия является основным поставщиком товарного хмеля на российский рынок. После резкого обвала объемов производства в годы рыночных реформ рынок хмеля был практически полностью захвачен импортной продукцией. Тотальная зависимость пивоваренных компаний России от импортного сырья противоречит принципам продовольственной безопасности. Вместе с тем чувашский хмель, уступающий импортному по уровню содержания альфа-кислот, обладает особой ароматностью и находит своего потребителя, что определяет потенциал роста производства. В последние годы в Чувашии предпринимаются значительные усилия по восстановлению хмелеводства на основе государственно-частного инвестиционного партнерства.*

Для обеспечения рентабельности отрасли необходимо изучать вопросы повышения качественных характеристик и урожайности хмеля. Резервы повышения урожайности заключаются в разработке комплекса мер, способных воздействовать на управляемые факторы урожайности в нужном направлении для достижения наилучшего результата. Зависимость урожайности от главных факторов хорошо моделируется с помощью эконометрических методов. Но первоначальный отбор наиболее существенных факторов из большого их количества может быть проведен на основании экспертных оценок с использованием математических методов. В настоящей работе ранжирование факторов по степени влияния проведено на основании их весов, найденных с помощью матрицы парных сравнений Саати.

Исследование проведено на основании мнений пяти экспертов. На первом этапе экспертами из большого количества факторов совместно были отобраны 9, наиболее существенно влияющих на урожайность хмеля. Далее каждый эксперт оценивал важность данных факторов путем попарных сравнений по методу Саати. После достижения порога согласованности для матриц был найден нормализованный вектор важности факторов, затем – среднее значение веса каждого фактора по оценкам всех экспертов. Наиболее значимыми факторами оказались «Соблюдение агросроков и технологий» и «Сорт», «Обеспеченность продуктивной влагой» и «Количество внесенных удобрений».

***Ключевые слова:** хмелеводство, факторы урожайности, матрица Саати, весовые коэффициенты, экспертные оценки.*

Введение. Чувашия традиционно является основным хмелепроизводящим регионом страны, на ее территории находится основная часть плодоносящих хмельников России, производится не менее 90% всего отечественного сырья [4]. Основы товарного хмелеводства в регионе были заложены в 30-е годы XX века, в 80-е годы отрасль достигла своего расцвета, под хмелем было занято 4,8 тыс. га земли [10]. В постсоветские годы производство резко сократилось, хмельники пришли в запустение, отрасль долгое время не получала инвестиций. Но при этом была сохранена и приумножена «золотая коллекция» сортов, адаптированных под агроклиматические условия региона [4].

На данный момент хмелеводство в Чувашии испытывает серьезные трудности из-за агрессивного захвата рынка импортной продукцией с высоким содержанием альфа-кислот (более 15%) [9]. Чувашскому хмелю с гораздо более низким уровнем данного показателя трудно конкурировать с импортной продукцией, однако имеется и конкурентное преимущество: в силу природно-климатических условий произрастания хмель здесь отличается особой ароматностью, что особо ценится в пивоварении и открывает перспективы роста доли на современном российском рынке. Хмелеводство даже при среднем урожае является рентабельным производством, а при хорошем урожае (15-20 ц/га) – высокорентабельным, поэтому хмель называют «зеленым золотом Чувашии». Отрасль в последние годы получает существенную государственную поддержку [12]. В Чувашской Республике реализуется Концепция развития хмелеводства [1], поставлены амбициозные задачи, на отрасль возлагаются большие надежды в плане решения задачи преодоления сельской бедности. Актуальной проблемой остается повышение урожайности и качества хмеля, так как Чувашия – самый северный в мире регион по возделыванию товарного хмеля, находится в зоне рискованного земледелия. Имеются серьезные проблемы в уровне механизации отрасли [5], [7], необходимо глубокое переоснащение производства [6], [8].

Государственная поддержка отрасли оправдана с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности страны, реализации стратегии импортозамещения. Ситуация, когда большинство пивоваренных компаний почти полностью работают на импортном сырье и импортном оборудовании, создает угрозу продовольственной безопасности. Согласно Концепции, развитие хмелеводства обеспечит государственно-частное партнерство. Крупные частные инвесторы заинтересованы в экономической эффективности проекта. Важную роль при оценке рентабельности проекта играет прогнозируемая урожайность хмеля и возможность ее повышения. Возникает задача выявления наиболее значимых факторов, определяющих урожайность хмеля, и выявления среди них случайных и поддающихся управлению. На основе формирования комплекса

управляющих воздействий на регулируемые факторы становится возможным достижение программируемого уровня урожайности.

Материалы и методы исследования. Факторов, существенно влияющих на урожайность хмеля, как и на любую другую сельскохозяйственную культуру, имеется огромное количество. Их исследованию посвящены научные работы [2], [6], [9]. Факторы можно разделить на управляемые (количество удобрений, технологии ухода, сортовой состав, своевременность выполнения работ, трудовые затраты и др.) и неуправляемые (почвенно-климатические условия, количество влаги, количество ФАР и др.).

Для моделирования урожайности хмеля оптимально построение эконометрической модели в виде уравнения регрессии [11]. При построении таких моделей необходимо учесть самые существенные факторы, абстрагируясь от менее значимых. Выполнить подобный отбор методами эконометрического анализа достаточно сложно, поскольку необходимо иметь статистические данные по большому количеству факторов, из которых осуществляется отбор. Поэтому в настоящем исследовании решена задача отбора ключевых факторов методом экспертных оценок с помощью экономико-математических методов (путем построения матрицы Саати методом анализа иерархий) [3]. Матрица Саати является общепризнанной математической моделью сравнения факторов, поскольку экспертные оценки трансформируются в весовые коэффициенты на основании строгого математического аппарата, а не на основе «интуиции» эксперта. Для получения экспертных оценок была привлечена команда экспертов из пяти преподавателей Чувашского государственного аграрного университета, выполняющих многолетние исследования по хмелеводству и опубликовавших результаты в научных работах [2], [6], [7], [9].

На первом этапе из большого разнообразия факторов, определяющих урожайность хмеля, экспертами совместно были отобраны 9: x_1 – «Тип почвы», x_2 – «Количество внесенных удобрений», x_3 – «Изреженность хмельников», x_4 – «Соблюдение агросроков и технологий», x_5 – «Обеспеченность продуктивной влагой», x_6 – «Количество ФАР за вегетационный период», x_7 – «Суммарная температура», x_8 – «Сорт», x_9 – «Способы закладки».

На втором этапе требовалось выбрать из них 3-4 ключевых факторов для построения эконометрической модели, поскольку число факторов модели не должно быть большим и превышать одной трети от объема выборки. Их отбор осуществлялся с помощью матрицы Саати. Для составления матрицы рекомендуется специальная шкала от 1 до 9, в которой компонент равной важности ставится в соответствие 1, при умеренном превосходстве – 3, при существенном превосходстве – 5, значительном превосходстве – 7 и очень сильном превосходстве – 9. Элементы матрицы со симметричными индексами заполняются обратными числами: 1, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9. Каждым экспертом на основании шкалы была синтезирована матрица сравнений, в которой отражаются результаты попарного сравнения всех 9 факторов.

Для каждой матрицы рассчитывался индекс согласованности, который проверяет «логику» составления таблицы экспертом. Если он превышает допустимое значение, матрица возвращается эксперту на доработку. Итоговая согласованная матрица для первого эксперта представлена в таблице 1. Аналогично были составлены другие 4 матрицы.

Таблица 1 ИСогласованная матрица Саати для первого эксперта

$$S = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 & 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 5 \\ 1 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1/7 & 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \\ 3 & 5 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 3 \\ 5 & 5 & 7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 7 \\ 3 & 1 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & 5 \\ 3 & 3 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 7 & 7 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/5 & 1/7 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Далее рассчитывался нормализованный вектор важностей факторов для каждой матрицы. Итоговые веса факторов определялись как средние значения по совокупности пяти нормализованных векторов, тем самым отражая совокупное мнение команды экспертов.

Результаты исследований и их обсуждение. Каждым из пяти экспертов группы была синтезирована матрица Саати, являющаяся математической моделью сравнения факторов и вычисления нормализованного вектора важностей факторов через трансформацию экспертных оценок. Далее в табличном процессоре Excel для каждой матрицы была выполнена нормировка матрицы, вычислен вектор важностей, осуществлена проверка матрицы на согласованность. Произведенные расчеты для одного из экспертов представлены в таблице 2. Расчеты для остальных матриц производились аналогично. Первоначальная проверка матриц на согласованность выявила превышение допустимого порога индекса согласованности (0,1-0,15) у всех экспертов. Поэтому матрицы корректировались ими до тех пор, пока не был достигнут допустимый минимальный уровень согласованности.

Таблица 2 Результаты обработки согласованной матрицы Саати первого эксперта в программном процессоре Excel

Матрица Саати												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	1,00	1,00	3,00	0,33	0,20	0,33	0,33	0,33	5,00			
2	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	1,00	0,33	1,00	1,00			
3	0,33	0,33	1,00	0,14	0,14	0,20	0,20	0,33	1,00			
4	3,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	3,00			
5	5,00	5,00	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	7,00			
6	3,00	1,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	5,00			
7	3,00	3,00	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00	7,00			
8	3,00	1,00	3,00	0,20	0,20	0,20	0,14	1,00	1,00			
9	0,20	1,00	1,00	0,33	0,14	0,20	0,14	1,00	1,00			
Суммы	19,53	18,33	32,20	5,21	4,89	5,93	5,15	25,67	31,00			
Нормировка матрицы										Вектор важностей	Проверка согласованности	
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00			
1	0,051	0,055	0,093	0,064	0,041	0,056	0,065	0,013	0,161	0,07	0,624036	9,376471
2	0,051	0,055	0,006	0,038	0,041	0,169	0,065	0,039	0,032	0,06	0,528609	9,596894
3	0,017	0,018	0,031	0,027	0,029	0,034	0,039	0,013	0,032	0,03	0,250831	9,377446
4	0,154	0,273	0,217	0,192	0,205	0,169	0,194	0,195	0,097	0,19	1,813538	9,632016
5	0,256	0,273	0,217	0,192	0,205	0,169	0,194	0,195	0,226	0,21	2,089631	9,764824
6	0,154	0,055	0,155	0,192	0,205	0,169	0,194	0,195	0,161	0,16	1,611209	9,806091
7	0,154	0,164	0,155	0,192	0,205	0,169	0,194	0,273	0,226	0,19	1,906926	9,918752
8	0,154	0,055	0,093	0,038	0,041	0,034	0,028	0,039	0,032	0,06	0,568546	9,969102
9	0,010	0,055	0,031	0,064	0,029	0,034	0,028	0,039	0,032	0,04	0,341576	9,555486
										1,00	ИС	0,083293
											ИР	1,45
												0,057443

Для каждой матрицы был рассчитан нормализованный вектор важностей, и для пяти векторов был найден вектор средних значений по каждой позиции, тем самым найдены итоговые веса факторов (таблица 3).

Таблица 3 Нормализованные векторы и итоговые значения весовых коэффициентов факторов урожайности хмеля

	Нормализованный вектор матрицы Саати
Эксперт 1	$w_1 = (0,02; 0,19; 0,04; 0,19; 0,29; 0,07; 0,04; 0,13; 0,03)$
Эксперт 2	$w_2 = (0,02; 0,08; 0,18; 0,29; 0,14; 0,07; 0,06; 0,07; 0,08)$
Эксперт 3	$w_3 = (0,07; 0,06; 0,03; 0,19; 0,21; 0,16; 0,19; 0,06; 0,04)$
Эксперт 4	$w_4 = (0,05; 0,08; 0,04; 0,25; 0,12; 0,02; 0,02; 0,35; 0,07)$
Эксперт 5	$w_5 = (0,06; 0,16; 0,11; 0,14; 0,05; 0,04; 0,04; 0,39; 0,02)$
Среднее значение	$w = (0,04; 0,12; 0,08; 0,21; 0,16; 0,07; 0,07; 0,20; 0,05)$

В категорию наибольшей значимости вошли факторы «Соблюдение агросроков и технологий» (весовой коэффициент 0,21) и «Сорт» (0,20), «Обеспеченность продуктивной влагой» (0,16) и «Количество внесенных удобрений» (0,12). Важно отметить, что фактор «Обеспеченность продуктивной влагой» является управляемым лишь в определенной степени, но остальные три фактора являются хорошо регулируемые. Весовые коэффициенты остальных факторов не превышают 0,1: «Изреженность хмельников» (0,08), «Количество ФАР за вегетационный период» и «Суммарная температура» (0,07), «Способы заводки» – 0,05. Наименьшую важность у экспертов получил фактор «Тип почвы» – 0,04.

Для прогнозирования урожайности необходимо собрать достаточное количество пространственных и временных данных, что позволит получить уравнение регрессии, описывающее зависимость урожайности от перечисленных факторов. Построенная эконометрическая модель позволит прогнозировать урожайность в зависимости от значений основных факторов и управлять ими для достижения программируемого уровня урожайности.

Выводы. В данной работе на основании экспертных оценок в совокупности с методом анализа иерархий произведено ранжирование факторов, определяющих урожайность хмеля, по степени их значимости. Выделены 4 основных фактора, которые необходимо использовать для моделирования урожайности с помощью уравнения регрессии. К ним относятся (в порядке убывания значимости): «Соблюдение агросроков и технологий», «Сорт», «Обеспеченность продуктивной влагой» и «Количество внесенных удобрений».

Литература

1. Распоряжение кабинета министров Чувашской Республики № 738-Р от 20.08.2020 «Об утверждении Концепции развития хмелеводства в Чувашской Республике на 2020–2025 годы. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/hotlaw/chuvashia/1410313>.

2. Александров, Н. А. Агробиологические основы возделывания и производства хмеля и хмелепродуктов в Российской Федерации / Н. А. Александров, А. Р. Рупошев. – М.: Новое время, 2018. – 648 с.
3. Зайцева, И.А. Возможности использования и перспективы развития метода анализа иерархий в научных исследованиях / И.А. Зайцева, Ю.Е. Острякова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 1-2 (40). – С. 77-80.
4. Иванова, А.О. Состояние хмелеводства в Чувашской республике / А.О. Иванова, Д.А. Дементьева // Международный научный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 2. – С. 20-25.
5. Иванщиков, Ю.В. Первичная послеуборочная обработка хмеля / Ю.В. Иванщиков, А.Е. Макушев, Ю.Н. Доброхотов, Н.Н. Пушкаренко, Р.В. Андреев // Биологизация земледелия – основа воспроизводства плодородия почвы: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, академика РАН Леонида Геннадьевича Шашкарова. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия. – 2018. – С. 282-294.
6. Инженерно-технологические резервы интенсификации возделывания хмеля в Чувашской Республике / Пушкаренко Н.Н., Смирнов П.А., Коротков А.В., Корнилова Л.М., Васильев А.О., Андреев Р.В. – Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2018. – 356 с.
7. Медведев, В.И. Современный уровень механизации возделывания хмеля в Чувашской Республике: проблемы и направления развития / В.И. Медведев, Ю.Ф. Казаков, Н.Н. Пушкаренко, П.А. Смирнов, О.А. Васильев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 37. – С. 27-31.
8. Пушкаренко, Н.Н. Обоснование некоторых параметров хмелепосадочной машины / Н.Н. Пушкаренко, П.А. Смирнов, А.Х. Александров // Биологизация земледелия – основа воспроизводства плодородия почвы: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, академика РАН Леонида Геннадьевича Шашкарова. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия. – 2018. – С. 310-318.
9. Пушкаренко, Н.Н. Что делать или не делать с хмелем? / Пушкаренко Н.Н., Коротков А.В., Корнилова Л.М. // Современные достижения аграрной науки / Научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, – 2020. – С. 423-432.
10. Рынок хмеля в России-2020. Показатели и прогнозы. – Режим доступа: <https://marketing.rbc.ru/research/43981>.
11. Цвиль М.М. Эконометрический анализ и моделирование в сельском хозяйстве / М.М. Цвиль, В.Е. Шумилина // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2014. – № 4.
12. Чувашская Республика увеличивает плантации хмеля. - Режим доступа: <http://www.cap.ru/news/2020/12/03/chuvashskaya-respublika-uvlechivaet-plantacii-hmel>.

Сведения об авторах

1. **Васильева Ольга Геннадьевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры математики, физики и информационных технологий, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; email: olech.vasiljeva@yandex.ru, тел. 8-919-670-43-97.
2. **Смирнов Петр Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; email: smirnov_p_a@mail.ru.
3. **Деревянных Евгения Анатольевна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математики, физики и информационных технологий, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; email: jane-evgeniya@yandex.ru, тел. 89053450435.

RANKING OF YIELD FACTORS IN HOP GROWING

O.G.Vasileva, P.A. Smirnov, E.A. Derevyannykh
Chuvash State Agrarian University
 428003, Cheboksary, Russian Federation

Brief abstract. Today Chuvashia is the main supplier of commercial hops to the Russian market. After a sharp drop in production volumes during the years of market reforms, the hop market was almost completely captured by imported products. The total dependence of Russian brewing companies on imported raw materials contradicts the principles of food safety. At the same time, the Chuvash hops, which are inferior to imported ones in terms of alpha-acid content, have a special aroma and find their consumer, which determines the potential for production growth. In recent years, significant efforts have been made in Chuvashia to restore hop-growing on the basis of public-private investment partnerships.

To ensure the profitability of the industry, it is necessary to study the issues of improving the quality characteristics and yield of hops. The reserves for increasing yields are in the development of a set of measures capable of influencing the controllable factors of yields in the right direction to achieve the best result. The dependence of yield on the main factors is well modeled using econometric methods. But the initial selection of the most significant factors from a large number of them can be carried out on the basis of expert assessments using mathematical methods. In the present work, the ranking of factors according to the degree of influence is carried out on the basis of their weights found using the Saaty pairwise comparison matrix.

The research was carried out on the basis of the opinions of five experts. At the first stage, experts from a large number of factors jointly selected 9 factors that most significantly affect the yield of hops. Further, each expert assessed the importance of these factors by pairwise comparisons using the Saaty method. After reaching the consistency threshold for the matrices, a normalized vector of the importance of factors was found, then the average value of the weight of each factor according to the estimates of all experts. The most significant factors were "Compliance with agricultural terms and technologies" and "Grade", "Provision of productive moisture" and "Amount of applied fertilizers".

Keywords: hop growing, yield factors, Saaty matrix, weighting factors, expert assessments.

References

1. Rasporyazhenie kabineta ministrov CHuvashskoj Respubliki № 738-R ot 20.08.2020 «Ob utverzhdenii Konceptcii razvitiya hmelevodstva v CHuvashskoj Respublike na 2020–2025 gody. – Rezhim dostupa: <https://www.garant.ru/hotlaw/chuvashia/1410313>.
2. Aleksandrov, N. A. Agrobiologicheskie osnovy vozdeleyvaniya i proizvodstva hmelya i hmeleproduktov v Rossijskoj Federacii / N. A. Aleksandrov, A. R. Ruposhev. – M.: Novoe vremya, 2018. – 648 s.
3. Zajceva, I.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya i perspektivy razvitiya metoda analiza ierarhij v nauchnyh issledovaniyah / I.A. Zajceva, YU.E. Ostryakova // Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk. – 2020. – № 1-2 (40). – S. 77-80.
4. Ivanova, A.O. Sostoyanie hmelevodstva v CHuvashskoj respublike / A.O. Ivanova, D.A. Dement'eva // Mezhdunarodnyj nauchnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal. – 2019. – № 2. – S. 20-25.
5. Ivanshchikov, YU.V. Pervichnaya posleuborochnaya obrabotka hmelya / YU.V. Ivanshchikov, A.E. Makushev, YU.N. Dobrohotov, N.N. Pushkarenko, R.V. Andreev // Biologizaciya zemledeliya – osnova vosproizvodstva plodorodiya pochvy: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 60-letiyu so dnya rozhdeniya doktora sel'skohozyajstvennyh nauk, professora, akademika RAE Leonida Gennad'evicha SHashkarova. –CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. – 2018. – S. 282-294.
6. Inzhenerno-tekhnologicheskie rezervy intensivizatsii vozdeleyvaniya hmelya v CHuvashskoj Respublike / Pushkarenko N.N., Smirnov P.A., Korotkov A.V., Kornilova L.M., Vasil'ev A.O., Andreev R.V. – CHEboksary: CHuvashskaya GSKHA, 2018. – 356 s.
7. Medvedev, V.I. Sovremennyy uroven' mekhanizatsii vozdeleyvaniya hmelya v CHuvashskoj Respublike: problemy i napravleniya razvitiya / V.I. Medvedev, YU.F. Kazakov, N.N. Pushkarenko, P.A. Smirnov, O.A. Vasil'ev // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya. – 2017. – № 37. – S. 27-31.
8. Pushkarenko, N.N. Obosnovanie nekotoryh parametrov hmeleposadochnoy mashiny / N.N. Pushkarenko, P.A. Smirnov, A.H. Aleksandrov // Biologizaciya zemledeliya – osnova vosproizvodstva plodorodiya pochvy: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 60-letiyu so dnya rozhdeniya doktora sel'skohozyajstvennyh nauk, professora, akademika RAE Leonida Gennad'evicha SHashkarova. –CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. – 2018. – S. 310-318.
9. Pushkarenko, N.N. CHto delat' ili ne delat' s hmelem? / Pushkarenko N.N., Korotkov A.V., Kornilova L.M. // Sovremennye dostizheniya agrarnoy nauki / Nauchnye trudy vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii. Nauchnoe izdanie. – Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo GAU, – 2020. – S. 423-432.
10. Rynok hmelya v Rossii-2020. Pokazateli i prognozy. – Rezhim dostupa: <https://marketing.rbc.ru/research/43981>.
11. Cvil' M.M. Ekonometricheskij analiz i modelirovanie v sel'skom hozyajstve / M.M. Cvil', V.E. SHumilina // Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Inzhenernyy vestnik Dona». – 2014. – № 4.
12. CHuvashskaya Respublika uvelichivaet plantacii hmelya. – Rezhim dostupa: <http://www.cap.ru/news/2020/12/03/chuvashskaya-respublika-uvelichivaet-plantacii-hmel>.

Informations about authors

1. **Vasileva Olga Gennadevna**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; mail: olech.vasiljeva@yandex.ru, tel. 89196704397;

2. *Smirnov Petr Alekseevich*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Russian Federation, Cheboksary, st. K. Marx, 29; email: smirnov_p_a@mail.ru;

3. *Derevyannykh Evgenia Anatolevna*, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Russian Federation, Cheboksary, st. K. Marx, 29; email: jane-evgeniya@yandex.ru, tel. 89053450435.

УДК 631.332.7

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВЫСАЖИВАЮЩЕГО АППАРАТА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ

В. Н. Гаврилов, В. А. Иванов, А. М. Новиков

*Чувашский государственный аграрный университет
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы повышения качества выполнения технологического процесса механизированной посадки пророщенного картофеля путем применения модернизированного высаживающего аппарата элеваторного типа. Конструктивное совершенствование аппарата за счет реверсивного механизма, позволяющего изменить направление движения ложечек и вручную уложить в них клубни, и специального удлинителя клубнепровода позволяют обеспечить коэффициент равномерности раскладки клубней в пределах, допустимых агротехническими требованиями. С целью снижения вероятности количественной доли пропусков при посадке смоделирован процесс укладки клубней в высаживающий аппарат. Результаты исследования показали, что по мере увеличения скорости движения сажалки возрастает требуемая величина частоты укладки клубней в ложечки аппарата. Было установлено, что в целях недопущения появления пропусков при посадке клубней сажальщик сможет уложить в высаживающий аппарат не более двух клубней в секунду. Исходя из этого условия предельная скорость движения тракторного агрегата должна быть не более 2,5 км/ч.

Ключевые слова: полуавтоматическая сажалка, пророщенные клубни, модернизированный высаживающий аппарат, качественные показатели.

Введение. Для получения ранней продукции при возделывании картофеля используются различные агротехнические приемы [3], [6], [13], [15], среди которых немаловажную роль играет предпосадочное проращивание. В арсенале картофелеводов имеются различные приемы проращивания, среди которых выделяется комбинированный способ с использованием торфоминеральной оболочки [7], позволяющий более интенсивно развиваться росткам клубней. Немаловажным также является тот факт, что клубни при этом формируют ростки с зачатками корневой системы [9], [11]. Все это способствует улучшению почвы в зоне роста растений картофеля и формированию высокого урожая [10], [11].

Для механизации процесса посадки пророщенных клубней в основном применяются полуавтоматические машины с элеваторными высаживающими аппаратами [5], [14]. При этом определение показателей качества выполнения технологического процесса посадки осуществляется согласно ГОСТу 28306-2018, где основополагающим параметром является равномерность распределения клубней. Процесс формирования равномерности посадки полуавтоматической сажалкой с модернизированным высаживающим аппаратом подробно рассмотрен в научных работах [2], [4]. Конструктивные изменения за счет реверсивного механизма, позволяющего изменить направление движения ложечек и вручную уложить в них клубни, и специального удлинителя клубнепровода обеспечивают коэффициент равномерности раскладки клубней в пределах, соответствующих агротехническим требованиям. В результате проведенных исследований была установлена аналитическая зависимость, характеризующая раскладку клубней Y в борозде:

$$\hat{Y} = 255,42 - 1,17 \cdot V_p + 67,08 \cdot d_{кл} + 7,06 \cdot V_p^2 + 5,19 \cdot V_p \cdot d_{кл} + 11,35 \cdot d_{кл}^2, \quad (1)$$

где V_p – скорость движения сажалки, м/с; $d_{кл}$ – диаметр клубней, мм.

Главным технологическим параметром в математической зависимости является скорость движения машины. От численного значения данной величины в полуавтоматических высаживающих аппаратах с ручной раскладкой клубней в ложечки во многом зависит качество выполнения технологического процесса.

Кроме равномерности раскладки клубней, к показателям качества посадки также относятся количественная доля пропусков P и двойников D , выраженных в процентах. Вышеупомянутое значение скорости движения сажалки также будет несомненно влиять на качество процесса по причине изменения сопутствующего параметра – частоты посадки.