

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный аграрный университет»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АПК

МОНОГРАФИЯ

Екатеринбург
Издательство Уральского ГАУ
2023

УДК 631
ББК 40.7
С56

*Утверждено Ученым советом
факультета инженерных технологий
ФГБОУ ВО Уральский ГАУ
(протокол № 88 от 29.11.2022)*

Рецензенты:

Баженов Евгений Евгеньевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств (в УНК ПиПАСР), Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

Романов Сергей Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность», Государственный аграрный университет Северного Зауралья

С56 **Современные** технологии в АПК: монография / Г. А. Иовлев, М. Л. Юсупов, М. Н. Салихова [и др.]. – Екатеринбург: Издательство Уральского ГАУ, 2023. – 132 с.

ISBN 978-5-87203-531-2

В монографии представлены исследования по управлению работой уборочно-транспортного комплекса, разработке оборудования для выращивания растений на гидропонике, проблемам стандартизации при переходе к цифровой экономике.

Монография может быть полезна для технических работников предприятий АПК и машиностроения, научных работников, преподавателей и студентов технических направлений вузов.

**УДК 631
ББК 40.7**

© Авторы, 2023
© Уральский государственный
аграрный университет, 2023

ISBN 978-5-87203-531-2

Оглавление

.....

ВВЕДЕНИЕ	5
-----------------------	----------

Глава 1. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА	7
---	----------

1.1. Теория вероятностей и формирование оптимального состава уборочного комплекса	7
1.2. Оптимизация работы уборочного комплекса	18
1.3. Управление работой уборочно-транспортного комплекса	43
1.4. Оперативное управление составом уборочно-транспортного комплекса в исследованиях ученых	47

Глава 2. СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ГИДРОПОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	53
--	-----------

2.1. Методы, применяемые для выращивания растений на искусственных средах	53
2.2. Исследование параметров гидропонных установок	61
2.3. Исследование свойств материалов для изготовления	66
2.4. Разработка экспериментальных образцов контролирующих элементов и элементарной цепи	71
2.5. Лабораторные исследования влияния особенностей конструкции на рост растений	75
2.6. Проведение экспериментов по определению оптимальных режимов работы образца установки для распространенных культур	78
2.7. Разработка итогового экспериментального образца ротационно-гидропонной установки	81

Глава 3. ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА И ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ	85
---	-----------

3.1. Основные компоненты и признаки цифровой экономики	85
3.2. Роль стандартизации при переходе к цифровой экономике	93
3.3. Необходимость изменения стандартизации при переходе к цифровой экономике	98

3.4. Особенности цифровизации корпоративной системы стандартов	103
3.5. Формирование сведений нормативных документов для обеспечения работы информационной системы в процессе производства	109
3.6. Варианты процесса цифровизации конкретного технологического процесса	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
БИБЛИОГРАФИЯ	121
АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ	131

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство не остается в стороне от новых технологий, которые сегодня активно заполняют все сферы жизнедеятельности человека. Разработки ученых направлены на облегчение труда фермеров, увеличение урожаев и качества выращиваемых продуктов. Одним из таких подходов является использование математического моделирования, цифровых решений, автоматизации и роботизации.

В монографии рассмотрены новые подходы к управлению работой уборочно-транспортного комплекса, проектированию роторных гидропонных машин и вопросам стандартизации при переходе к цифровой экономике.

В первой главе «Управление работой уборочно-транспортного комплекса» рассмотрены теоретические обоснования и экспериментальные исследования, проведенные в сельскохозяйственных организациях Свердловской области, по оперативной оптимизации работы УТК.

В второй главе «Современные виды гидропонного оборудования» рассмотрена сущность гидропонного метода выращивания растений, описаны основные типы гидропонного оборудования и акцентировано внимание на исследовании пригодности запатентованной роторной гидропонной системы с периодическим затоплением при выращивании салата.

В третьей главе «Цифровая экономика и проблемы стандартизации» рассмотрены основные компоненты и признаки цифровой экономики, а также роль стандартизации при переходе к цифровой экономике. Авторами представлены варианты процесса цифровизации конкретного технологического процесса, сформирован и проанализирован комплект требований к продукции, процессам, персоналу и документации для производства продукции в цеховых условиях.

Глава 1

УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

.....

1.1. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА УБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Теория вероятностей как наука появилась в 1929 году, у ее истоков стояли К. Пирсон, А. Н. Колмогоров. Впервые она нашла применение в физике, далее – в медицине, биологии, социологии, сельском хозяйстве, промышленности и других сферах. В технических науках и производстве теория вероятностей стала применяться для контроля качества промышленной продукции, в частности, в оценке и оптимизации параметров (например, вероятного времени безотказной работы), т. е. в теории надежности, для исследования технических проблем.

Теория вероятностей выявляет определенные закономерности появления какого-либо результата при испытании или исследовании. В наши дни она занимает одно из ведущих мест в прикладных науках по широте своего применения. Мы в своей работе также попытаемся использовать теорию вероятностей для формирования оптимального состава уборочного комплекса.

Одним из важнейших понятий теории вероятностей является случайная величина.

Случайной величиной называется переменная величина, которая в зависимости от исхода испытания случайно принимает одно значение из множества возможных значений.

Случайная величина обычно обозначается прописной латинской буквой (X, Y, Z), ее конкретные значения – строчными буквами (x, y, z).

Случайные величины делятся на дискретные и непрерывные.

Величина называется *дискретной*, если она может принимать определенные, фиксированные значения. Случайная величина называется *непрерывной*, если она может принимать значения, сколь угодно мало отличающиеся друг от друга.

Пусть дискретная случайная величина X может принимать n значений: $x_1, x_2, \dots, x_n$. Для полной характеристики этой случайной величины должны быть заданы еще и вероятности появления указанных значений $p_1, p_2, \dots, p_n$.

Соответствие между всеми возможными значениями дискретной случайной величины и их вероятностями называется *законом распределения* данной случайной величины.

Законом распределения случайной дискретной величины называется совокупность пар чисел (x_i, p_i) , где x_i – возможные значения случайной величины, а p_i – вероятности, с которыми она принимает эти значения, причем $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

Закон распределения дискретной случай величины может быть задан графически: по оси *абсцисс* откладываются значения случайной величины, а по оси *ординат* – соответствующие им вероятности. Соединяют полученные точки отрезками.

При этом вероятности следует относить не к отдельным значениям случайной величины, а к интервалам. Это значит, что весь диапазон возможных значений случайной величины X надо разбить на интервалы. Проводя серии испытаний, дающих эмпирические значения величины X , надо фиксировать числа nx попаданий результатов в каждый интервал. При большом числе испытаний n отношение nx/n (частоты попадания в интервалы) должны быть близки к вероятностям попадания в эти интервалы. Зависимость частот nx/n от интервалов определяет *эмпирическое распределение* вероятностей случайной величины X , графическое представление которой называется *гистограммой*.

Закон распределения полностью описывает дискретную случайную величину. Однако во многих случаях он неизвестен или не всегда удобен для анализа.

Поэтому вводят числовые характеристики случайной величины: математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение.

Математическим ожиданием дискретной случайной величины X называется сумма произведений всех ее значений на соответствующие им вероятности.

$$M(X) = x_1 \times p_1 + x_2 \times p_2 + x_3 \times p_3 + \dots + x_n \times p_n.$$

Дисперсия, или вариация, – средний квадрат отклонения случайной величины X от ее математического ожидания. Дисперсия $D(X)$ имеет размерность квадрата случайной величины, что не всегда удобно. Поэтому в качестве показателя рассеяния используют среднее квадратическое отклонение.

$$D(X) = M[X - M(X)]^2 = M(X^2) - [M(X)]^2.$$

Средним квадратическим отклонением (стандартным отклонением) σ случайной величины X называется корень квадратный из ее дисперсии.

$$\sigma = \sqrt{D(X)}.$$

Как уже говорилось выше, случайные величины делятся на дискретные и непрерывные.

В нашем случае дискретная величина – например, число набранных бункеров зерноуборочным комбайном за определенный промежуток времени. Непрерывная величина (значения заполняют некий случайный промежуток времени) – например, время наполнения одного бункера, время ожидания транспортного средства для разгрузки бункера.

Для формирования оптимального состава был проведен анализ работы уборочного комплекса, состоящего из шести зерноуборочных комбайнов и трех автомобилей КамАЗ с прицепами. Зерноуборочные комбайны марки ACROS-580 – 5 ед., ACROS-585 – 1 ед.

Для расчета интенсивности поступления требований на разгрузку заполненных бункеров необходимы следующие данные:

1. Время заполнения бункера, мин.
2. Время ожидания транспортного средства для выгрузки бункера, мин.
3. Время выгрузки бункера, мин.
4. Время движения зерноуборочного комбайна до загона (при уборке «напрямую»), мин. Зависит прямо пропорционально от времени ожидания транспортного средства под выгрузку.

Для расчета интенсивности транспортного обслуживания необходимы следующие данные:

1. Время ожидания загрузки первого бункера, мин.
2. Время движения до первого зерноуборочного комбайна после приезда на поле после разгрузки на зерноскладе, мин.
3. Время выгрузки первого зерноуборочного комбайна, мин.
4. Время на прием второго бункера. Складывается из времени ожидания заполнения второго бункера и времени движения до второго зерноуборочного комбайна.

5. Время выгрузки второго зерноуборочного комбайна, мин.
6. Время на прием n-го бункера.
7. Время выгрузки n-го зерноуборочного комбайна, мин.

Время транспортного цикла (складывается из времени движения транспортного средства до зерносклада, времени выгрузки транспортного средства, времени движения транспортного средства от зерносклада до поля).

Для расчета интенсивности поступления требований на разгрузку заполненных бункеров и транспортного обслуживания составлены таблицы, в которых отражены поступления требований на разгрузку заполненных бункеров и транспортного обслуживания.

Результаты исследования сведены в таблицы 1, 2.

Два показателя – время выгрузки бункера в транспортное средство и время движения зерноуборочного комбайна до загона – не будем рассматривать как случайные величины. Среднее время выгрузки бункера составляет 2,7 мин, что соответствует техническим данным зерноуборочного комбайна, а движение до загона составляет практически 1 мин.

Таблица 1

Интенсивность поступления требований
на разгрузку заполненных бункеров зерноуборочных комбайнов

Порядковый № ЗАМЕРА	Показатели, мин			
	ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА	ВРЕМЯ ОЖИДАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	ВРЕМЯ ВЫГРУЗКИ БУНКЕРА В ТРАНС- ПОРТНОЕ СРЕДСТВО	ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ З/УБ. КОМБАЙНА ДО ЗАГОНА
1	45	3	4	1
2	48	4	3	1
3	44	2	3	1
4	46	3	3	1
5	40	2	3	1
6	42	4	3	1
7	44	1	3	1
8	54	5	2	1
9	43	—	3	1
10	44	16	2	1
11	32	7	2	1
12	43	6	3	1
13	40	2	3	1
14	47	—	2	1

Порядковый № ЗАМЕРА	Показатели, мин			
	ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА	ВРЕМЯ ОЖИДАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	ВРЕМЯ ВЫГРУЗКИ БУНКЕРА В ТРАНС- ПОРТНОЕ СРЕДСТВО	ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ З/УБ. КОМБАЙНА ДО ЗАГОНА
15	47	2	3	1
16	47	—	4	1
17	46	—	3	1
18	50	1	2	1
19	52	1	2	2
20	42	6	4	1
21	41	—	3	1
22	46	4	2	1
23	47	3	2	1
24	45	2	2	1
25	46	1	3	—
26	47	4	2	1
27	49	3	2	1
28	42	—	3	2
29	39	2	2	1
30	46	—	3	1
31	51	4	2	1
32	49	2	2	1
33	45	1	3	1
34	46	4	3	1
35	45	2	3	1
36	45	10	2	2
37	40	1	2	2
38	47	8	3	1
39	50	5	3	1
40	45	2	3	×
41	46	—	3	1
42	45	4	2	2
43	47	1	3	1
44	44	10	2	2
45	40	5	3	1
46	47	10	2	1
47	53	5	2	1
48	47	2	3	×

С точки зрения анализа случайных величин рассмотрим «Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна» и «Время ожидания транспортного средства», которые существенно влияют на результативность работы уборочного комплекса.

Результаты обрабатываем, строим графики и предварительно определяем закон распределения случайных величин (рис. 1–3).

Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна (рис. 1) подчиняется закону нормального распределения с отрицательной асимметрией. Время ожидания транспортного средства (рис. 2) – закону экспоненциального распределения. Суммарное время выполнения 1 цикла зерноуборочным комбайном (рис. 3) подчиняется закону нормального распределения.

Для уточнения законов распределения вводим числовые характеристики случайной величины.

I. Время заполнения бункера

Математическое ожидание:

$$M(X) = x_1 \times p_1 + x_2 \times p_2 + x_3 \times p_3 + \dots + x_n \times p_n = 32 \times 0,02 + 34 \times 0,03 + 36 \times 0,05 + 38 \times 0,07 + 40 \times 0,1 + 42 \times 0,08 + 44 \times 0,1 + 46 \times 0,18 + 48 \times 0,2 + 50 \times 0,08 + 52 \times 0,04 + 54 \times 0,04 = 0,64 + 1,02 + 1,8 + 2,66 + 4 + 3,36 + 4,4 + 8,28 + 9,6 + 4 + 2,08 + 2,16 = 44 \text{ мин.}$$

Дисперсия:

$$D(X) = (x_1 - m)^2 \times p_1 + (x_2 - m)^2 \times p_2 + (x_3 - m)^2 \times p_3 + \dots + (x_n - m)^2 \times p_n.$$

$$m = M(X).$$

$$D(X) = (32 - 44)^2 \times 0,02 + (34 - 44)^2 \times 0,03 + (36 - 44)^2 \times 0,05 + (38 - 44)^2 \times 0,07 + (40 - 44)^2 \times 0,1 + (42 - 44)^2 \times 0,08 + (44 - 44)^2 \times 0,1 + (46 - 44)^2 \times 0,18 + (48 - 44)^2 \times 0,2 + (50 - 44)^2 \times 0,08 + (52 - 44)^2 \times 0,04 + (54 - 44)^2 \times 0,04 = 2,88 + 3 + 3,2 + 2,52 + 1,6 + 0,32 + 0 + 0,72 + 3,2 + 2,88 + 2,56 + 4 = 26,88 \text{ мин}^2.$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{26,88} = 5,2 \text{ мин.}$$

Характерной особенностью нормального распределения: вероятность значений x , заключенных в пределах от $X - 3\sigma$ до $X + 3\sigma$, составляет 0,9973, т.е. близка к единице.

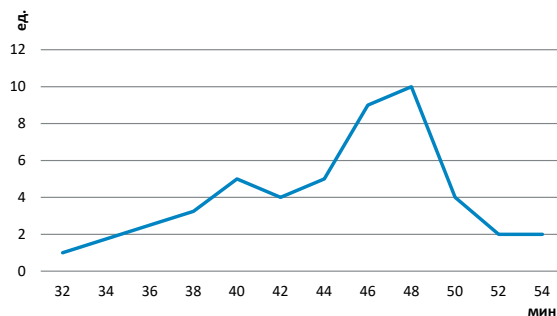


Рис. 1. Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна

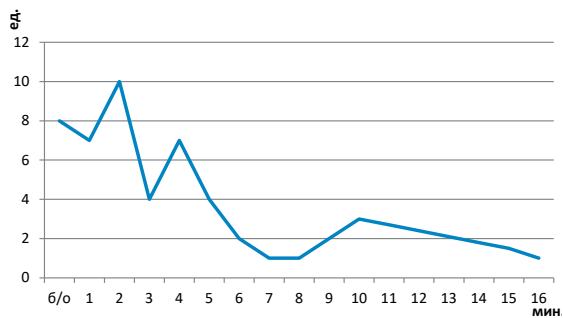


Рис. 2. Время ожидания транспортного средства

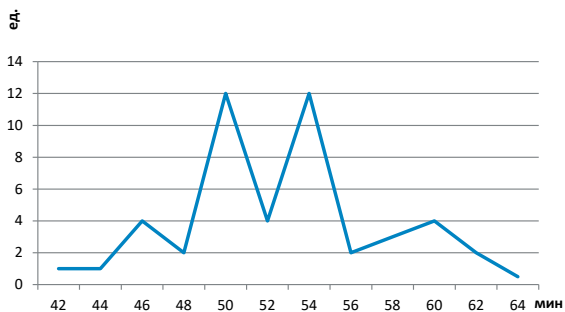


Рис. 3. Суммарное время выполнения 1 цикла зерноуборочным комбайном (время заполнения бункера, время ожидания транспортного средства, время выгрузки бункера в транспортное средство, время движения зерноуборочного комбайна до загона)

II. Суммарное время выполнения 1 цикла зерноуборочным комбайном
Математическое ожидание:

$$M(X) = 42 \times 0,02 + 44 \times 0,02 + 46 \times 0,08 + 48 \times 0,04 + 50 \times 0,26 + 52 \times 0,08 + \\ + 54 \times 0,26 + 56 \times 0,04 + 58 \times 0,06 + 60 \times 0,08 + 62 \times 0,04 + 64 \times 0,01 = 0,84 + \\ + 0,88 + 3,68 + 1,92 + 13 + 4,16 + 14 + 2,24 + 3,48 + 4,8 + 2,48 + 0,64 = 52 \text{ мин.}$$

Дисперсия:

$$D(X) = (42-52)^2 \times 0,02 + (44-52)^2 \times 0,02 + (46-52)^2 \times 0,08 + (48-52)^2 \times 0,04 + \\ + (50-52)^2 \times 0,26 + (52-52)^2 \times 0,08 + (54-52)^2 \times 0,26 + (56-52)^2 \times 0,04 + \\ + (58-52)^2 \times 0,06 + (60-52)^2 \times 0,08 + (62-52)^2 \times 0,04 + (64-52)^2 \times 0,01 = 2 + \\ + 1,28 + 2,88 + 0,64 + 1,04 + 0 + 1,04 + 0,64 + 2,16 + 5,12 + 4 + 1,44 = 22,24 \text{ мин}^2.$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{22,24} = 4,7 \text{ мин.}$$

Произведя расчеты числовых характеристик случайных величин, мы убеждаемся, что действительно время заполнения бункера зерноуборочного комбайна и суммарное время выполнения 1 цикла зерноуборочным комбайном подчиняются закону нормального распределения.

Это подтверждают математическое ожидание. $M(X) = 44$ мин, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 5,2$ мин, график эмпирической кривой, представленный на рис. 1, то же можно сказать и про суммарное время выполнения 1 цикла зерноуборочным комбайном: $M(X) = 52$ мин, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 4,7$ мин.

Рассмотрим показатели «время ожидания загрузки», «время транспортно-портного цикла». Под *временем транспортного цикла* подразумеваем время движения автомобиля после загрузки до зерносклада, время разгрузки, время движения до поля или сразу до первого зерноуборочного комбайна.

Результаты представляем в виде графиков, представленных на рис. 4, 5.

Как видно из рис. 4, 5, время ожидания загрузки транспортным средством (рис. 4) подчиняется закону экспоненциального распределения, закон распределения времени транспортно-портного цикла по эмпирической кривой определить трудно. Для этого необходимо подобрать критерии согласования. Но, предположительно, это будет закон нормального распределения с положительной асимметрией или закон Вейбулла – Гнеденко.

Таблица 2

**Интенсивность поступления требований
на транспортное обслуживание**

Порядковый № замера	Время ожидания загрузки после возвращения со склада	1-й з/у комб.			2-й з/у комб.			3-й з/у комб.			4-й з/у комб.		Время транспортного цикла, мин
		Время движения до 1-го зерноуборочного комбайна, мин	Время выгрузки 1-го зерноуборочного комбайна, мин	Время ожидания 2-го бункера, мин	Время движения до 2-го зерноуборочного комбайна, мин	Время выгрузки 2-го зерноуборочного комбайна, мин	Время ожидания 3-го бункера, мин	Время движения до 3-го зерноуборочного комбайна, мин	Время выгрузки 3-го зерноуборочного комбайна, мин	Время ожидания 4-го бункера, мин	Время движения до 4-го зерноуборочного комбайна, мин	Время выгрузки 4-го зерноуборочного комбайна, мин	
1		4	3	—	5	3							109
2	39	—	3	1	4	2	—	2	2	—	—	2	65
3	11	2	2	3	2	3	12	1	3	—	2	3	63
4	14	3	3	—	2	3	18	4	3	—	6	2	
5	—	—	2	—	2	3	6	2	3	—	2	3	91
6	—	—	2	—	—	2	23	3	3	—	2	2	74
7	—	—	3	—	—	3	15	—	3	4	1	2	72
8	3	—	3	—	3	2	5	1	3	2	1	2	58
9	25	3	2	5	2	3							
10	27	5	3	—	2	2	—	6	2	—	—	2	63
11	30	3	3	—	2	3	—	2	3	—	—	2	67
12	11	5	3	—	—	3	1	3	2	—	—	2	64
13	28	3	3	—	1	3	—	—	2	6	2	2	

Из приведенных значений в таблицах 1, 2 и рис. 1–5 можно сделать следующее заключение: время ожидания транспортного средства для выгрузки бункера и время ожидания загрузки транспортным средством имеют противоположные свойства. Если взять время ожидания транспортного средства, то показатель «б/о» (без ожидания) имеет положительный смысл, т. к. зерноуборочный комбайн не теряет время на ожидание и сразу включается в работу. Время же ожидания загрузки транспортным средством с показателем «б/о» имеет отрицательный смысл, т. к. в это время простаивал зерноуборочный комбайн в ожидании транспортного средства.

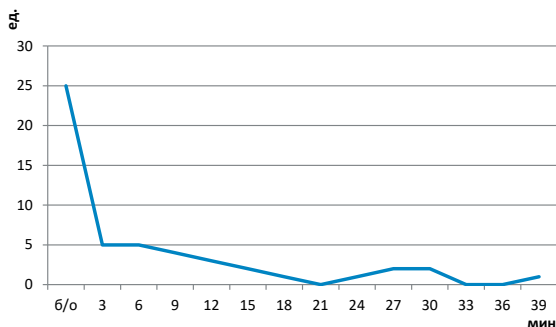


Рис. 4. Время ожидания загрузки транспортным средством

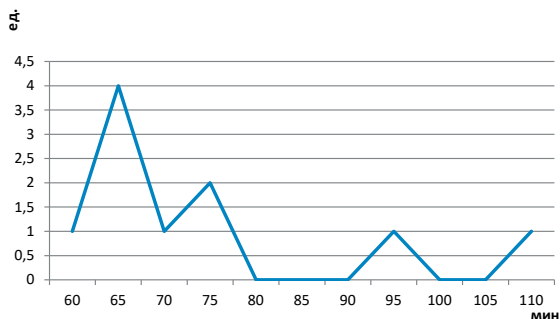


Рис. 5. Время транспортного цикла

В соответствии с произведенными исследованиями и теорией вероятностей вероятность наступления события в интервале «б/о» – 5 мин составляет 0,66, в интервале 6–10 мин – 0,15, в интервале 11–16 мин – 0,19.

Математическое ожидание для случайной величины по времени ожидания транспортного средства для выгрузки бункера составляет 5,8 мин, т. е. в зоне математического ожидания вероятность наступления события составляет 0,69. Практически на 70 % время ожидания транспортного средства для выгрузки бункера нас устраивает, 30 % приходится на интервал времени от 7 до 16 мин. При увеличении количества транспортных средств можно увеличить вероятность наступления события в интервале «б/о» – 6 мин и уменьшить в интервале 7–16 мин. Но рекомендации по увеличению количества транспортных средств мы сделаем после анализа времени ожидания загрузки транспортным средством.

В соответствии с произведенными исследованиями по интенсивности поступления требований на транспортное обслуживание рассматриваем показатель «время ожидания загрузки транспортным средством». Вероятность наступления события в интервале «б/о» – 6 мин составляет 0,69; но вероятность наступления события при случайной величине «б/о» составляет 0,49, т. е. практически 50 %. Как уже говорилось выше, это отрицательный момент с точки зрения оптимизации уборочного комплекса, т. е. зерноуборочные комбайны будут простаивать в ожидании транспортного средства.

В интервале от 7 до 20 мин вероятность наступления события будет 0,2; в интервале 21–39 мин – 0,11. Математическое ожидание для случайной величины по времени ожидания загрузки транспортным средством составляет 1,2 мин. В интервале времени от «б/о» до 2 мин вероятность наступления события будет 0,53. Для оптимальной работы уборочного комплекса необходимо иметь вероятность наступления события не менее 0,69. Увеличив количество транспортных средств на одну единицу, сможем вероятность наступления события в интервале «б/о» – 6 мин увеличить до 0,72.

На основании проведенных исследований для оптимизации работы уборочного комплекса необходимо добавить одну единицу транспорта, что увеличит производительность комплекса на 30 % за счет снижения простоев зерноуборочных комбайнов в ожидании транспортных средств, уменьшения времени движения зерноуборочного комбайна до загонки для продолжения работы.

Кроме того, по экспериментальным данным, на основании показателя «время заполнения бункера» можно рассчитывать и мониторить текущую урожайность убираемой культуры, что также дает возможность оперативной оптимизации уборочного комплекса.

1.2. ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА

1.2.1. ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ УБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ УБОРКЕ ПШЕНИЦЫ

В работах видных ученых-математиков, ученых-экономистов, занимающихся исследованиями в области теории случайных чисел, математического моделирования, в работах авторов [1] теория вероятностей рассматривается как определенные закономерности появления какого-либо результата при испытании или исследовании.

В работах, связанных с формированием, использованием и поддержанием в работоспособном состоянии объектов технического потенциала теория вероятностей используется чаще для оценки и оптимизации параметров (например, вероятного времени безотказной работы), т. е. в теории надежности, для исследования технических проблем.

Авторы же в § 1.1 «Теория вероятностей и формирование оптимального состава уборочного комплекса», проведя исследования и наблюдения в ПАО «Каменское» (Каменский район Свердловской области), сделали вывод о возможности применения теории вероятностей для формирования оптимального состава уборочного комплекса.

Для исследований была выбрана группа следующих показателей:

- 1) для зерноуборочных комбайнов:
 - время заполнения бункера;
 - время ожидания транспортного средства для выгрузки бункера;
 - время выгрузки бункера;
 - время движения зерноуборочного комбайна до загона.
- 2) для автомобилей:
 - время ожидания загрузки бункера после возвращения со склада;
 - время движения до зерноуборочного комбайна;
 - время выгрузки зерноуборочного комбайна;
 - время ожидания следующей загрузки бункера;
 - время движения загруженного автомобиля с поля на склад, выгрузка, движение со склада до поля.

Снятые показатели были сгруппированы, отнесены к определенным интервалам. По этим интервалам были определены количество событий и периодичность наступления события. По этим данным построены эмпирические кривые, определены законы распределения. Кроме того,

были установлены математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение по искомым показателям.

На основании построения графиков, математических расчетов выявили, что оптимальное время заполнения бункера зерноуборочного комбайна составило 46–48 мин. Математическое ожидание этой величины составило 44 мин, среднее квадратическое отклонение (σ) времени заполнения бункера составило 5,2 мин. В диапазоне 2σ от 40 до 50 мин находится 75 % количества событий, т.е. времени заполнения бункера. Оптимальное время ожидания транспортного средства для выгрузки – до 4 мин. Это составило 59,5 % количества наступивших событий. Остальные события (а их 40,5 %) составили от 5 до 16 мин ожидания. Это касалось работы зерноуборочных комбайнов.

Из всего количества событий, связанных с ожиданием загрузки бункера, 49 % приходится на периодичность наступления события под показателем «без ожидания». Это говорит о том, что в это время простаивал зерноуборочный комбайн в ожидании выгрузки бункера, это как раз время от 5 до 16 мин ожидания, т.е. время непроизводительного использования комбайна.

На длительность транспортного цикла (время движения загруженного автомобиля с поля на склад, выгрузка, движение со склада до поля) с конкретного поля при условии хорошей организации повлиять невозможно. Поэтому для оптимизации работы уборочного комплекса необходимо добавить транспортные средства. Добавив один автомобиль с прицепом, мы получили следующее: время ожидания транспортного средства для выгрузки в пределах 4 мин составило 77,7 % количества наступивших событий. Остальные 22,3 % событий произойдут в интервале 5 до 12 мин, а не 5–16 мин при 40,5 % наступивших событий при трех транспортных средствах.

На рис. 6 и 7 представлены графики количества событий (выгрузки) и времени ожидания выгрузки зерноуборочными комбайнами с тремя и четырьмя транспортными средствами.

Дальше попытаемся обосновать возможность оперативной оптимизации работы уборочного комплекса, т.е. оперативно управлять его работой. Для этого будем использовать показатель «время заполнения бункера», по которому можно рассчитать текущую урожайность убираемой культуры.

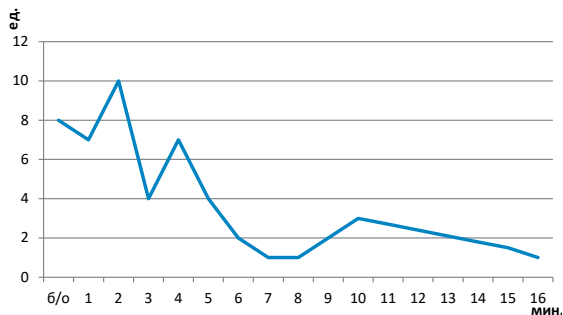


Рис. 6. Количество событий (выгрузки) и время ожидания выгрузки зерноуборочными комбайнами с тремя транспортными средствами

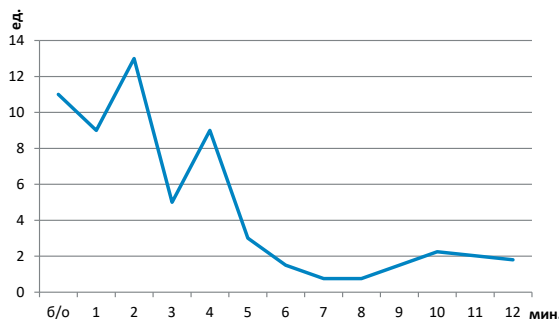


Рис. 7. Количество событий (выгрузки) и время ожидания выгрузки зерноуборочными комбайнами с четырьмя транспортными средствами

Для расчета урожайности возьмем следующие формулы:

$$l_p = 10^{-4} \frac{Q_B \rho_3 \lambda_B}{B \beta u}, \quad (1.1)$$

где l_p – длина рабочего пути заполнения бункера комбайна, м;

Q_B – вместимость бункера, m^3 ;

ρ_3 – объемная масса бункерного зерна, t/m^3 . Для пшеницы и ржи ρ_3 равна соответственно 0,78 и 0,72 t/m^3 ;

λ_B – коэффициент заполнения бункера;

B – ширина захвата жатки, м;

u – урожайность, $t/га$;

β – коэффициент использования ширины захвата жатки, $\beta = 0,96$.

Кроме того, длину рабочего пути заполнения бункера комбайна можно вычислить по следующей формуле:

$$L_p = V \times t_{\text{зб}}, \quad (1.2)$$

где V – рабочая скорость зерноуборочного комбайна при уборке зерновых, км/ч, $V = 7 \dots 13$ км/ч (из инструкции по эксплуатации зерноуборочного комбайна ACROS-580);

$t_{\text{зб}}$ – время заполнения бункера, ч.

Приравняв формулы (1.1) и (1.2), находим урожайность сельскохозяйственной культуры:

$$u = 10^{-4} \frac{Q_{\text{б}} \rho_{\text{з}} \lambda_{\text{б}}}{l_p B \bar{B}}. \quad (1.3)$$

Для расчета возьмем следующие исходные данные:

$Q_{\text{б}}$ – вместимость бункера – 9 м³ (из инструкции по эксплуатации зерноуборочного комбайна ACROS-580);

$\rho_{\text{з}}$ – объемная масса пшеницы – 0,785 т/м³;

$\lambda_{\text{б}}$ – коэффициент заполнения бункера – 1,1 (с трансформирующейся крышей);

V – рабочая скорость зерноуборочного комбайна – 7 км/ч;

$t_{\text{зб}}$ – время заполнения бункера. Для примера расчета возьмем 0,73 ч (44 мин) – математическое ожидание времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна;

B – ширина захвата жатки – 7 м.

В результате произведенных расчетов на основании вышеприведенных исходных данных получаем искомую урожайность в 22,9 ц/га.

Произведем аналогичные расчеты для следующих интервалов времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна: 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 46; 48; 50; 52 мин. Данные представим в виде таблицы 3 и графика, представленного на рис. 8.

Анализируя соотношение урожайности и времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна, мы видим, что на оптимальную работу уборочного комплекса имеют влияние три составляющие: урожайность, количество зерноуборочных комбайнов, количество транспортных средств. Из графика на рис. 3 видно, что оптимальная производительность уборочно-транспортного комплекса (УТК) будет при урожайности около 31 ц/га. Под эту урожайность при неизменном количестве зерноуборочных комбайнов можно, исходя из теории вероятностей, математических расчетов и практического опыта, подобрать количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы УТК.

Таблица 3

Соотношение времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна и урожайности сельскохозяйственной культуры (пшеница)

ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА, МИН	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
Урожайность, ц/га	38,4	35,1	33	31,2	29	27,5	26,2	24,7	23,6	22,9	21,5	20,6	19,9	19

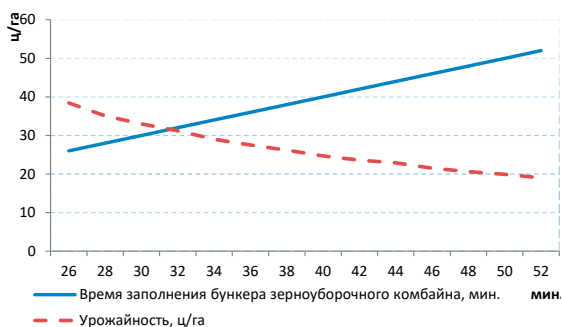


Рис. 8. График соотношения урожайности и времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна

Применяя же формулы (1.1–1.3) и график, представленный на рис. 8, можно оперативно управлять работой уборочного комплекса, т. е. вносить определенные корректирующие воздействия по количеству как зерноуборочных комбайнов, так и транспортных средств.

1.2.2. ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ УБОРОЧНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ УБОРКЕ ЯЧМЕНЯ

Для формирования оптимального состава был проведен анализ работы УТК, состоящего из четырех зерноуборочных комбайнов (ACROS-580 – 3 ед., ACROS-585 – 1 ед.) и трех автомобилей КамАЗ с прицепами на уборке ячменя.

При расчете интенсивности поступления требований на разгрузку заполненных бункеров были использованы следующие данные: время

заполнения бункера; время ожидания транспортного средства для выгрузки бункера; время выгрузки бункера; время движения зерноуборочного комбайна до загона (при уборке «напрямую»).

Для расчета интенсивности транспортного обслуживания были использованы следующие данные: время ожидания загрузки первого бункера после возвращения автомобиля со склада; время движения до первого зерноуборочного комбайна; время выгрузки первого зерноуборочного комбайна; время на прием второго бункера (складывается из времени ожидания заполнения 2-го бункера и времени движения до второго зерноуборочного комбайна); время выгрузки второго зерноуборочного комбайна; время на прием n -го бункера; время выгрузки n -го зерноуборочного комбайна; время транспортного цикла (складывается из времени движения транспортного средства до зерносклада, времени выгрузки транспортного средства, времени движения транспортного средства от зерносклада до поля).

На основании статистических данных (всего был произведено 319 замеров) были рассчитаны:

1. Для времени заполнения бункера математическое ожидание = 38 мин; дисперсия – 29,3 мин²; среднее квадратическое отклонение – 5,4 мин.
2. Для времени ожидания выгрузки в транспортное средство математическое ожидание составляет 1,7 мин.

С точки зрения анализа случайных величин по интенсивности поступления требований на разгрузку заполненных бункеров рассмотрим показатели «время заполнения бункера зерноуборочного комбайна» и «время ожидания транспортного средства», которые существенно влияют на результативность работы УТК.

По обработанным статистическим данным построим графики и предварительно определим закон распределения случайных величин [2] (рис. 9–11).

Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна (рис. 9) подчиняется закону нормального распределения с отрицательной асимметрией. Время ожидания транспортного средства (рис. 10) – закону экспоненциального распределения.

По интенсивности поступления требований на транспортное обслуживание мы рассмотрим показатели «время ожидания загрузки», «время транспортного цикла». Результаты анализа представим в виде графиков, представленных на рис. 11, 12.



Рис. 9. Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна

Как видно из рис. 11, 12, время ожидания загрузки транспортным средством (рис. 11) подчиняется закону экспоненциального распределения, а закон распределения времени транспортного цикла (рис. 12) по эмпирической кривой определить трудно. Для этого необходимо подобрать критерии согласования. Но, предположительно, это будет закон нормального распределения с положительной асимметрией или закон Вейбулла – Гнеденко.

Из графиков, приведенных на рис. 9–12, можно сделать следующее заключение: время ожидания транспортного средства для выгрузки бункера и время ожидания загрузки транспортным средством имеют противоположные свойства. Если взять время ожидания транспортного средства, то показатель «б/о» (без ожидания) имеет положительный смысл, т. к. зерноуборочный комбайн не теряет время на ожидание и сразу включается в работу. Время же ожидания загрузки транспортным средством с показателем «б/о» имеет отрицательный смысл, т. к. в это время простаивал зерноуборочный комбайн в ожидании транспортного средства.

Результаты работы первого дня следующие (рис. 11, 13, 14):

1. Затраты времени на ожидание загрузки составили 660 мин (рис. 11). Из них 376 минут – это ожидание первой загрузки при начале работы и после возвращения со склада. 158 минут – при ожидании 4-го бункера. Если убрать время транспортного цикла (движение с поля до склада, разгрузка, движение от склада до поля) из общего фонда рабочего времени автомобилей, то простой в ожидании загрузки составляют 54,3 % от общего фонда рабочего времени.



Рис. 10. Время ожидания транспортного средства



Рис. 11. Время ожидания загрузки транспортным средством



Рис. 12. Время транспортного цикла

2. Для оптимизации производительности УТК, увеличения эффективности работы УТК с применением элементов теории вероят-

ностей было предложено уменьшить количество автомобилей до двух. В результате время ожидания выгрузки зерноуборочным комбайном увеличилось в 1,65 раза и составило 2,9 мин против 1,75 мин при трех автомобилях (рис. 13). Время ожидания загрузки автомобилями составило 500 мин, т. е. снизилось на 24,2 % (рис. 14).

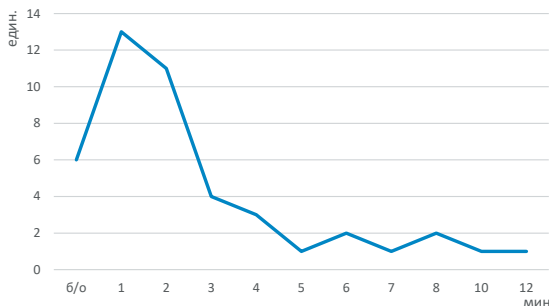


Рис. 13. Время ожидания транспортного средства при двух автомобилях

Кроме того, по экспериментальным данным, на основании показателя «время заполнения бункера» можно рассчитать и мониторить текущую урожайность убираемой культуры, что также дает возможность оперативной оптимизации (оперативного управления работой) уборочного комплекса.

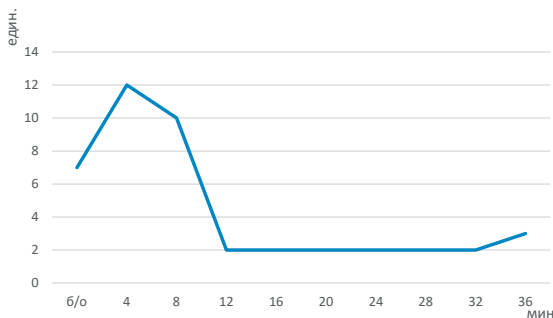


Рис. 14. Ожидание загрузки автомобилями при двух автомобилях

Для расчета урожайности возьмем формулы (1.1–1.3) с учетом того, что объемная масса ячменя $\rho_3 = 0,67 \text{ т/м}^3$. Время заполнения бункера $t_{3б} = 0,63 \text{ ч}$

(38 мин) – математическое ожидание времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна.

В результате произведенных расчетов на основании вышеприведенных исходных данных получаем искомую урожайность в 22,4 ц/га.

Произведем аналогичные расчеты для следующих интервалов времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна: 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 46; 48; 50; 52. Данные представим в виде таблицы 4 и графика, представленного на рис. 15.

Анализируя соотношение урожайности и времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна, мы видим, что на оптимальную работу УТК имеют влияние три составляющие: урожайность, количество зерноуборочных комбайнов, количество транспортных средств. Под эту урожайность при неизменном количестве зерноуборочных комбайнов можно, исходя из теории вероятностей, математических расчетов и практического опыта, подобрать количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы УТК.

Таблица 4

Соотношение времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна и урожайности сельскохозяйственной культуры

ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА, МИН	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
Урожайность, ц/га	32,4	30,1	28,3	26,7	24,8	23,6	22,4	21,1	20,2	19,4	18,4	17,7	17	16,3

Применяя формулы (1–3) и график, представленный на рис. 15, можно оперативно управлять работой уборочного комплекса, т.е. вносить определенные корректирующие воздействия по количеству как зерноуборочных комбайнов, так и транспортных средств.

Для определения количества транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной (без простоев) работы УТК, используем следующую формулу [3]:

$$n_{\text{тр}}^{\text{1зук}} = \frac{C_1 \times T_{\text{р}}}{q_1 \times T_{\text{б}}}. \quad (4)$$

$$n_{\text{тр}}^{\text{1зук}} = 0,36 \text{ ед.}$$

$$C_1 = V \times x = 9 \times 0,672 = 6,05 \text{ т.}$$

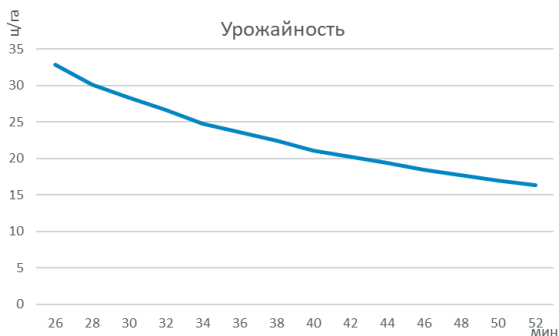


Рис. 15. Соотношение урожайности и времени заполнения бункера зерноуборочного комбайна

Грузоподъемность автомобиля КамАЗ-5510 с прицепом составляет 24,2 т.

Для обеспечения работы УТК (4 комбайна) необходимо 1,44 единицы, т. е. два автомобиля. Для увеличения эффективности работы УТК с применением элементов теории вероятностей было предложено снизить число автомобилей до двух. В результате было уменьшено время простоев автомобилей в ожидании выгрузки зерноуборочными комбайнами.

Для выведения зависимости количества транспортных средств от урожайности (времени заполнения бункера) используем данные из графика на рис. 15 и формулу 4. Данные расчетов сведем в таблицу 5.

Таблица 5

Количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от урожайности

Показатели	Урожайность, ц/га									
	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
Количество транспортных средств, ед.	1,3	1,6	1,8	2,1	3,0	3,4	3,6	4,0	4,3	4,5

Для наглядности данные из таблицы 5 представим в виде графика, представленного на рис. 16.

Расчеты по количеству транспортных средств произведены при расстоянии от поля до склада в 10 км. При формировании транспортного

обслуживания УТК при других расстояниях необходимо применять поправочные коэффициенты, приведенные в таблице 6.

Таблица 6

Поправочные коэффициенты для определения количества транспортных средств во время обслуживании уборочного комплекса при различных расстояниях от поля до склада

Расстояние, км	До 5	10	15	20	25	30
Поправочный коэффициент	0,77	1,0	1,3	1,59	1,85	2,0

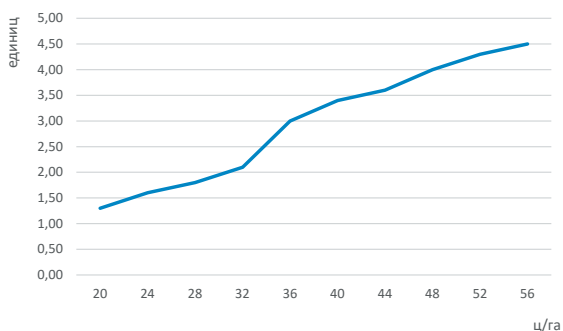


Рис. 16. Количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от различной урожайности

Правильное комплектование и управление работой УТК влияют на экономические показатели использования как зерноуборочных комбайнов, так и автомобилей на вывозке.

Исследования и анализ показали, что на себестоимость перевозок при постоянном расстоянии от поля до склада влияет время загрузки транспортного средства зерном из бункера комбайна (время выгрузки одного бункера практически одинаково). В нашем исследовании время загрузки одного автомобиля (4 бункера) варьировало от 15 до 58 мин. Приняв себестоимость перевозок при времени загрузки транспортного средства в течение 15 мин (0,25 ч) за единицу, мы вывели следующую зависимость себестоимости перевозок от времени загрузки транспортного средства (таблица 7).

Для наглядности увеличение себестоимости перевозок в зависимости от времени загрузки транспортного средства представим в виде графика (рис. 17).

Таблица 7

Поправочные коэффициенты увеличения себестоимости перевозок в зависимости от времени загрузки транспортного средства

ВРЕМЯ ЗАГРУЗКИ, ч	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Поправочный коэффициент	1,0	1,03	1,04	1,06	1,08	1,11	1,12	1,15	1,18

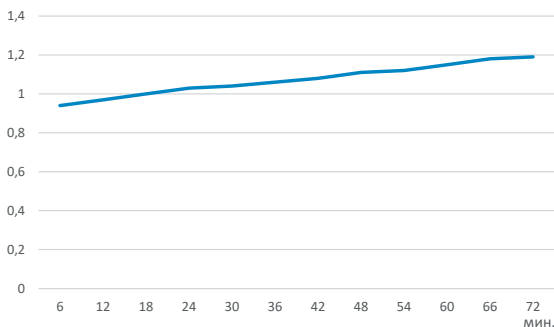


Рис. 17. Коэффициенты увеличения себестоимости перевозок в зависимости от времени загрузки транспортных средств. Поправочные коэффициенты на 0,1; 0,2; 1,2 ч (6, 12 и 72 мин) получены расчетным путем

Эффективность использования зерноуборочных комбайнов определяется таким комплектованием и управлением работой всего УТК, при котором предусматриваются минимальные простои комбайнов в ожидании транспортных средств для выгрузки бункеров с зерном. В то же время зерноуборочные комбайны должны отвечать при эксплуатации требованиям интенсивности, производительности и экономичности.

Проблема эффективного использования сельскохозяйственной техники стояла всегда, особенно актуальна она в последние 10–15 лет в результате снижения парка сельскохозяйственной техники в сельскохозяйственных организациях России, снижения производства, снижения объемов продаж сельскохозяйственной техники. Другой причиной необходимости более эффективного использования техники, в частности

зерноуборочных комбайнов, являются жесткие агротехнические сроки уборки зерновых культур. При затягивании сроков, особенно в зонах рискованного земледелия, происходит осыпание, прорастание колоса, т. е. потери урожая.

Сельскохозяйственная техника (тракторы, зерно- кормоуборочные и другие комбайны) стала более энергонасыщенной, высокопроизводительной, высокотехнологичной и дорогостоящей.

Организация уборочных работ пошла по направлению создания УТК, в составе которых 4–6 зерноуборочных комбайнов, 3–4 единицы транспортных средств, 1–2 единицы пресс-подборщиков, мобильные средства технического обслуживания.

Поэтому вопросы оптимизации состава УТК, вопросы организации работы УТК находятся в кругу интересов отечественных и зарубежных ученых.

Коллективом авторов были проведены многолетние исследования по вопросам оптимизации состава УТК (исследования продолжаются) в сельскохозяйственных организациях Среднего Урала. В ходе исследований выполнено следующее:

- разработаны табличные формы для сбора следующей информации: время заполнения бункера; время ожидания транспортного средства; время выгрузки бункера в транспортное средство; время движения зерноуборочного комбайна до загона; время ожидания загрузки автомобилем после возвращения со склада; время движения автомобиля до 1-го зерноуборочного комбайна; время выгрузки 1-го зерноуборочного комбайна; время ожидания загрузки n -го бункера; время движения до n -го зерноуборочного комбайна; время выгрузки n -го зерноуборочного комбайна; время транспортного цикла;
- рассчитаны математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение показателей. На основе этих показателей был произведен расчет и обоснована необходимость увеличения транспортных средств для отвозки зерна;
- рассчитана урожайность убираемой культуры. Для этого использовалась формула: $u = 10^{-4} \frac{Q_{БРЗ} \lambda_{Б}}{I_{РВБ}}$. Расчетная урожайность – 22,4 ц/га, фактическая – 22,7 ц/га;
- рассчитано количество транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной работы уборочного отряда. Использована следующая формула: $n_{тр}^{13ук} = \frac{C_1 \times T_{Р}}{q_1 \times T_{Б}}$;

- разработаны рекомендации по определению оптимального количества автотранспортных средств для перевозки зерна от комбайнов.

1.2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ИЗ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Главное условие оценки УТК – снижение издержек при уборке и транспортировке урожая зерновых. Исследования были проведены одновременно в двух структурных подразделениях сельскохозяйственной организации, находящихся друг от друга на расстоянии 19–20 км. Получили 89 значений по показателю «время заполнения бункера зерноуборочного комбайна», 45 – по критерию «время ожидания загрузки транспортным средством». Рассчитали математическое ожидание первого показателя: в первом уборочном отряде для Тисано 450–22,68 мин; Мега 370–20,74 мин; для Тисано 450 из второго уборочного отряда – 19,24 мин. В результате выявили особенности формирования УТК, состоящих из зарубежных зерноуборочных комбайнов и транспортных средств. Определили производительность, качественные показатели технологического процесса обмолота зерновых культур и урожайность, при которых использование зарубежных зерноуборочных комбайнов становится экономически целесообразным.

Оптимизация работы уборочных и уборочно-транспортных комплексов (УТК) остается актуальной темой исследований. Снижение издержек на этом этапе производства зерновых должно стать главным условием оценки УТК независимо от того, какая техника в них задействована – отечественная или импортная.

Для сравнения эксплуатационных свойств зарубежных зерноуборочных комбайнов рассмотрим основные технические характеристики (таблица 8) [4; 5].

Зерноуборочные комбайны примерно одного класса, но показатели Тисано 450 немного лучше, чем Мега 370: по площади системы сепарации – на 0,9 %, по объему зернового бункера – на 9,8 %, по мощности двигателя – на 7,2 %. Модель Тисано 450 – это улучшенный, более современный вариант Мега 370. Техничко-экономические показатели зарубежных

комбайнов позволяют более качественно проводить технологический процесс уборки зерновых культур [6].

Таблица 8

Технические характеристики зерноуборочных комбайнов

Показатели	TUSANO 450	MEGA 370
Ширина барабана, мм	1580	1580
Диаметр барабана, мм	450	450
Угол охвата подбарабана, град.	151	151
Длина соломотряса, м	4,4	4,4
Площадь соломотряса, м ²	7,0	7,0
Площадь системы сепарации, м ²	8,75	8,67
Объем зернового бункера, л	9000	8200
Мощность двигателя, кВт/л.с.	220/299	205/279
Масса, кг	12 750	11 800

Для расчетов по оптимизации работы УТК следует учитывать показатели:

- время заполнения бункера;
- время ожидания транспортного средства для разгрузки зерноуборочных комбайнов;
- время ожидания загрузки;
- время движения транспортного средства до следующего комбайна;
- время разгрузки бункера.

Для получения данных показателей провели исследования в сентябре 2020 г. в одной из сельхозорганизаций Свердловской области. Предприятие поддерживает высокую культуру земледелия, имеет мощную материально-техническую базу, развитое животноводство, производительность труда выше средней по области. Для снятия показателей разработали формы, при хронометрировании учитывали начало и окончание технологической операции. Результат заносили в бумажный носитель. Всего провели 178 замеров и получили 89 показателей для исследования работы 6 зерноуборочных комбайнов (первый уборочный отряд – два Тусано 450, один Мега 370, второй уборочный отряд – три Тусано 450).

Время заполнения бункера – случайная величина при большом числе замеров. Поэтому для инженерных расчетов используют неслучайную величину, то есть математическое ожидание:

$$M(X) = x_1p_1 + x_2p_2 + x_3p_3 + \dots + x_np_n, \quad (5)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – возможные значения времени заполнения бункера, мин;

$p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ – вероятность появления случайной величины при большом количестве замеров.

Математическое ожидание для отряда № 1 в варианте с зерноуборочными комбайнами Тисано 450 равно:

$$M(X) = 18 \times 0,20 + 20 \times 0,25 + 22 \times 0,17 + 24 \times 0,05 + 26 \times 0,14 + 28 \times 0,05 + 30 \times 0,08 + 34 \times 0,05 = 3,6 + 5 + 3,74 + 1,2 + 3,64 + 1,4 + 2,4 + 1,7 = 22,68 \text{ мин},$$

а для зерноуборочного комбайна Мега 370 составляет:

$$M(X) = 18 \times 0,41 + 20 \times 0,35 + 22 \times 0,06 + 24 \times 0,06 + 28 \times 0,06 + 32 \times 0,06 = 7,38 + 7 + 1,32 + 1,44 + 1,68 + 1,92 = 20,74 \text{ мин}.$$

Вычислим этот показатель для отряда № 2, где работали только Тисано 450:

$$M(X) = 12 \times 0,05 + 14 \times 0,12 + 16 \times 0,12 + 18 \times 0,17 + 20 \times 0,24 + 22 \times 0,21 + 26 \times 0,02 + 28 \times 0,05 + 32 \times 0,02 = 0,6 + 1,68 + 1,92 + 3,06 + 4,8 + 4,62 + 0,52 + 1,4 + 0,64 = 19,24 \text{ мин}.$$

Полученные данные примем для дальнейших расчетов по оптимизации работы УТК.

Для наглядности расчеты математического ожидания по показателю «время заполнения бункера» представим в виде графиков (рис. 18). По оси абсцисс отложим возможные значения времени заполнения бункера, по оси ординат – появление случайной величины в общем количестве замеров.

На примере работы зерноуборочных комбайнов Тисано 450 из первого уборочного отряда рассчитаем дисперсию:

$$D(X) = (x_1 - m)^2p_1 + (x_2 - m)^2p_2 + (x_3 - m)^2p_3 + \dots + (x_n - m)^2p_n, \quad (6)$$

где $m = M(X)$ – математическое ожидание, мин.

То есть:

$$D(X) = (18 - 22,68)^2 \times 0,2 + (20 - 22,68)^2 \times 0,25 + (22 - 22,68)^2 \times 0,17 + (24 - 22,68)^2 \times 0,05 + (26 - 22,68)^2 \times 0,14 + (28 - 22,68)^2 \times 0,05 + (30 - 22,68)^2 \times 0,08 + (34 - 22,68)^2 \times 0,05 = 4,38 + 1,8 + 0,08 + 0,09 + 1,54 + 1,41 + 4,29 + 6,41 = 20 \text{ мин}^2.$$

Среднее квадратическое отклонение рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{D(X)} = \sqrt{20} = 4,47 \text{ мин}.$$

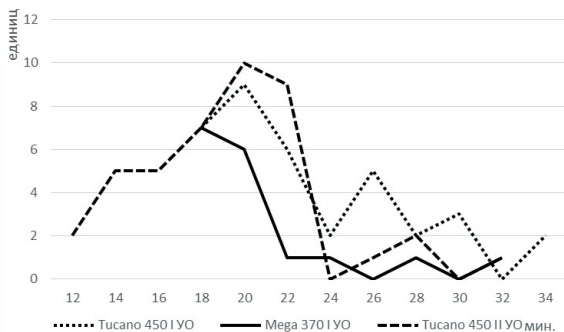


Рис. 18. Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна и количество значений случайной величины

Для Mega 370 $D(X) = 14,77 \text{ мин}^2$; $\sigma = \sqrt{14,77} = 3,84 \text{ мин}$.

Для Tucano 450 из второго уборочного отряда $D(X) = 17,18 \text{ мин}^2$; $\sigma = \sqrt{17,18} = 4,14 \text{ мин}$.

В диапазоне $M(X) \pm \sigma$ находится у зерноуборочного комбайна Тусано 450 из первого уборочного отряда – 80 % всего количества событий; у Mega 370 – 88 %; у Tucano 450 из второго уборочного отряда – 86 %. Наполнение бункеров во всех случаях на 80–88 % происходит в течение диапазона времени математического ожидания с учетом среднего квадратического отклонения. Это говорит о стабильности данного показателя и о возможности вести дальнейшие расчеты по оптимизации работы УТК.

С точки зрения обеспечения зерноуборочных комбайнов транспортом на основании статистических данных по показателю «время ожидания транспортного средства» можно сделать вывод о том, что уборочные отряды работали практически без остановок, кроме технологических. Так, время ожидания транспортного средства в первом уборочном отряде составило 3,2 % от дневного фонда рабочего времени, у второго уборочного отряда – 3,7 %.

Следующий этап исследований – обоснование возможности оперативной оптимизации работы УТК [7–14].

Ранее была отмечена актуальность снижения энергетических затрат при уборке и транспортировании к местам хранения сельскохозяйственной продукции [7]. Авторы рассматривают развитие транспортной системы АПК как основу технологической модернизации аграрного

производства. Они перечисляют условия для сокращения энергозатрат в растениеводстве:

- эффективное использование сельхозтехники;
- внедрение новых технологий и энергосберегающей техники;
- рациональное комплектование машинно-тракторных агрегатов;
- использование уборочных машин с высокой производительностью;
- организация проведения полевых работ в соответствии с агротехническими требованиями.

Некоторые ученые указывают на отсутствие четких методических разработок и рекомендаций, сравнительного анализа по расчету оптимального количества комбайнов в основном технологическом звене УТК [8].

Использование информационных технологий, основанных на математическом моделировании, способствует эффективному применению сложной сельхозтехники [9]. Аналогичные задачи были поставлены при изучении функционирования технологических комплексов и систем в производственных процессах АПК, изменения дневной производительности уборочной технологической системы, в ходе математического моделирования по выбору оптимальных транспортных средств и схем взаимодействия уборочно-транспортных машин.

По показателю «время заполнения бункера» рассчитали текущую урожайность убираемой культуры (данные для расчетов взяли из инструкции по эксплуатации зерноуборочных комбайнов), используя формулы (1–4):

Подставив соответствующие значения, получили значения текущей урожайности пшеницы при расчете по показателям работы комбайнов:

- Тисано 450 первого уборочного отряда – 4,06 т/га;
- Мега 370 первого уборочного отряда – 4,01 т/га;
- Тисано 450 второго уборочного отряда – 4,82 т/га.

Рассчитаем урожайность в диапазоне времени заполнения бункера от 12 до 34 мин (таблица 9).

Для анализа работы транспортного отряда разработали форму, куда заносили следующие статистические данные, характеризующие работу отряда:

- время ожидания загрузки после возвращения со склада (ожидание загрузки 1-го бункера);
- время ожидания 2-го бункера;
- время ожидания 3-го бункера;

- время транспортного цикла (движение после загрузки до склада и после выгрузки на складе до поля).

Таблица 9

Время заполнения бункера и урожайность

ВРЕМЯ ЗАПОЛНЕНИЯ БУНКЕРА КОМБАЙНА, МИН	УРОЖАЙНОСТЬ, Т/ГА
12	7,71
14	6,62
16	5,77
18	5,14
20	4,63
22	4,20
24	3,85
26	3,56
28	3,30
30	3,08
32	2,89
34	2,70

Транспортный отряд первого уборочного отряда состоит из тракторов Беларус 892, Deutz-Fahr Agrotac 150, Deutz-Fahr Agrotron 720, Laser 150 с прицепами PRONAR T663/1, LMR-14, Zugdeichsel. Три трактора с прицепами вместимостью два бункера, один трактор с прицепом вместимостью три бункера. В течение рабочего дня работы первого уборочного отряда выполнили 54 замера.

Математическое ожидание по показателю «время ожидания загрузки транспортного средством» составило 13,26 мин. Данный показатель представим в виде графика (рис. 19). По оси абсцисс отложим возможные значения времени ожидания загрузки, по оси ординат – появления случайной величины в общем количестве замеров.

За рабочий день время ожидания загрузки транспортными средствами составило 519 мин (8,65 ч), или 25,4 % от дневного фонда рабочего времени транспортного отряда. Практически это время простоя одного транспортного средства в течение дня. Предложения по оптимизации работы транспортных средств представим после теоретического расчета требуемого количества транспортных единиц для организации работы УТК.

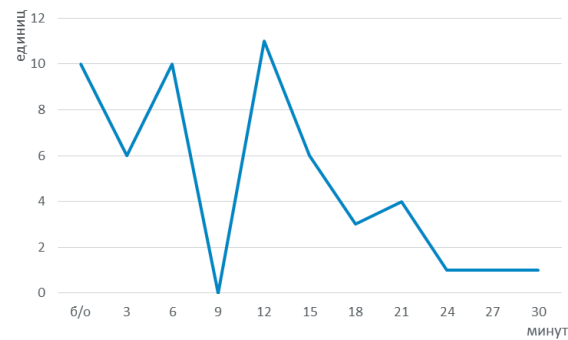


Рис. 19. Время ожидания загрузки четырьмя транспортными средствами

После оперативного определения урожайности следует установить количество транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной (без простоев) работы уборочного комплекса, используя формулу (4).

В соответствии с инструкцией по эксплуатации зерноуборочных комбайнов Тисано 450 и Мега 370 вместимость бункера при коэффициенте заполнения 1,1 (с трансформирующейся крышей) составляет 9,0 и 8,2 м³ соответственно. Для расчетов примем значение 8,73 м³.

Тогда

$$n_{\text{тр}}^{\text{1зук}} = \frac{6,86 \cdot 0,91}{15,9 \cdot 0,37} = 1,06 \text{ ед.}$$

Расчетная грузоподъемность одного транспортного средства составляет 15,9 т, математическое ожидание времени транспортного цикла – 54,85 мин (0,91 ч). Под временем транспортного цикла мы подразумеваем время:

- движения транспортного средства после загрузки до зерносклада;
- выгрузки;
- движения до поля или сразу до первого зерноуборочного комбайна.

Для организации работы уборочного комплекса (3 комбайна) необходимо 3,18 ед. транспортных средств. Математическое ожидание показателя «время ожидания загрузки транспортным средством» в этом случае составит 11,41 мин (рис. 20).

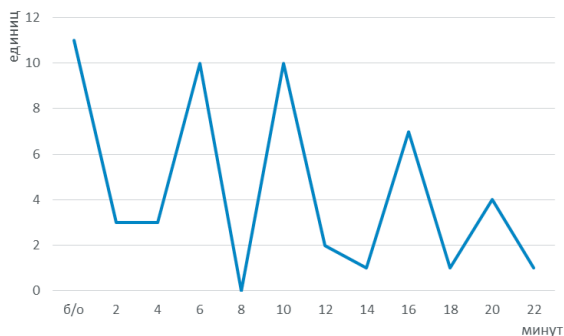


Рис. 20. Время ожидания загрузки тремя транспортными средствами

В ходе расчетов определили потребность в транспортных средствах для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от урожайности (таблица 10).

Таблица 10

Количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от урожайности

Урожайность, т/га	Количество транспортных средств, ед.
3,0	2,3
3,5	2,7
4,0	3,1
4,5	3,5
5,0	3,8
5,5	4,2
6,0	4,5
6,5	4,9
7,0	5,3
7,5	5,6
8,0	6,2

В зависимости от расстояния до склада при расчетах используют поправочные коэффициенты: до 5 км – 0,77; 10 км – 1,00; 15 км – 1,30; 20 км – 1,59; 25 км – 1,85; 30 км – 2,00.

От организации работы транспорта на отвозке зерна зависит эффективность работы зерноуборочных комбайнов и всего УТК. Приведем пример расчета по определению транспортных затрат для транспортного агрегата в составе Deutz-Fahr Agrottron 720 с прицепом Zugdeichsel.

Исходные данные:

- вместимость прицепа – 32 м³;
- собственная масса – 5530 кг;
- грузоподъемность – 20 т.

Часовая производительность транспортного агрегата определяется по формуле [4; 15; 16]:

$$W_{\text{ч}} = \frac{Q_{\text{н}} \lambda_{\Gamma}}{t_{\text{ОБ}}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{н}}$ – номинальная грузоподъемность, т;

λ_{Γ} – коэффициент использования грузоподъемности;

$t_{\text{ОБ}}$ – время транспортного цикла, ч.

Время транспортного цикла равно:

$$t_{\text{ОБ}} = \frac{l_{\Gamma\Gamma}}{V_{\Gamma\Gamma}} + \frac{l_{\text{XX}}}{V_{\text{XX}}} + t_{\text{ПР}} \quad (8)$$

где $l_{\Gamma\Gamma}$, l_{XX} – пробег с грузом, пробег без груза (холостой или порожний), км;

$V_{\Gamma\Gamma}$, V_{XX} – скорость транспортного средства с грузом, без груза, км;

$t_{\text{ПР}}$ – время в ожидании загрузки, ч.

Математическое ожидание показателя «время ожидания загрузки транспортным средством» составило 13,26 мин, или 0,22 ч.

Для определения скорости транспортного средства необходимо найти тяговое сопротивление прицепа с грузом и без него:

$$R_{\text{ПР}} = f_{\text{ПП}} G_{\text{ПР}}, \quad (9)$$

где $f_{\text{ПП}}$ – коэффициент сопротивления качению прицепа;

$G_{\text{ПР}}$ – вес прицепа, кН.

Для груженого прицепа $R_{\text{ПР}} = 0,04 \times 255,8 = 10,2$ кН.

Для порожнего прицепа $R_{\text{ПР}} = 0,04 \times 54,2 = 2,2$ кН.

Для трактора Deutz-Fahr Agrottron 720 с груженым прицепом Zugdeichsel подбираем передачу III6, скорость движения 23,5 км/ч; с порожним прицепом – передача III9, скорость движения 39,5 км/ч:

$$t_{\text{ОБ}} = \frac{12}{23,5} + \frac{12}{39,5} + 0,22 = 0,51 + 0,3 + 0,22 = 1,03 \text{ ч},$$

$$W_{\text{ч}} = \frac{20,55}{1,03} = 19,95 \text{ т/ч}.$$

Сменная производительность определяется по формуле:

$$W_{\text{см}} = Q_{\text{н}} \lambda_{\text{г}} n_{\text{р}},$$

где $n_{\text{р}}$ – количество рейсов за смену.

$$W_{\text{см}} = 20,55 \times 8 = 164,4 \text{ т.}$$

Расход топлива на одну перевезенную тонну зерна равен:

$$g_{\text{т}} = \frac{G_{\text{т.р}} + G_{\text{т.п}} + G_{\text{т.пер}} + G_{\text{т.хд}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (10)$$

где $G_{\text{т.р}}$, $G_{\text{т.п}}$, $G_{\text{т.пер}}$, $G_{\text{т.хд}}$ – средние часовые расходы топлива в течение смены, кг/ч, при выполнении основной (чистой) работы, холостых ходов и во время холостой работы двигателя (во время остановок агрегата с работающим двигателем). Средние часовые расходы топлива принимаются по справочным данным или расчетным путем через удельный расход топлива на 1 эффективную л. с. и степень загрузки двигателя. Коэффициент использования времени смены принимаем равным 0,75.

$$g_{\text{т}} = \frac{15,45 \times 0,75 + 8,5 \times 0,25}{19,75} = \frac{11,6 + 2,1}{19,75} = 0,69 \text{ кг/т.}$$

Для расчета примерной себестоимости 1 т перевезенного зерна используем амортизационные отчисления, приходящиеся на единицу выполненной работы, и стоимость топлива, расходуемого на перевозку 1 т зерна.

При расчете амортизационных отчислений учитываем:

- стоимость трактора Deutz-Fahr Agrottron 720 – 14 686 000 руб.;
- стоимость прицепа – 3 444 000 руб.;
- норма амортизации – 9,1 % (для обеих машин).
- число рабочих дней в году – 248.

Амортизационные отчисления на единицу обрабатываемой площади определим по следующей формуле:

$$A_{\text{га}} = \frac{(C_{\text{тр}} + C_{\text{к}}) N_{\text{ам}}}{D_{\text{р}} W_{\text{см}}}, \quad (11)$$

где $C_{\text{тр}}$, $C_{\text{к}}$ – стоимость тракторов и борон соответственно, руб.;

$N_{\text{ам}}$ – норма амортизации, %;

$D_{\text{р}}$ – число рабочих дней в году.

$$A_{\text{га}} = \frac{(14686000 + 3444000) \times 9,1\%}{248 \times 164,4} = 40,47 \text{ руб/т.}$$

Стоимость топлива, расходуемого на транспортировку 1 т зерна, определяем по формуле:

$$З_{\text{т}} = g_{\text{т}} C_{\text{т}} = 0,69 \times 46,5 = 32,08 \text{ руб/т,}$$

где $C_{\text{т}}$ – стоимость топлива, руб/кг. Для расчетов стоимость топлива взята по состоянию на 01.11.2020 года.

Затраты на оплату труда определяются по формуле:

$$З_{\text{ОТ}} = \tau_{\text{час}} T_{\text{СМ}} = 2007 \times 8 = 16\,056 \text{ руб.},$$

где $\tau_{\text{час}}$ – часовая тарифная ставка, руб.;

$T_{\text{СМ}}$ – продолжительность рабочей смены, ч.

Примерные затраты на перевозку 1 т зерна составляют 170,21 руб. Расходы на дневной объем перевозок одним транспортным средством составляют 27 983,22 руб.

На основании времени заполнения бункера можно рассчитать урожайность сельскохозяйственной культуры (в нашем случае это пшеница). По расчетному значению математического ожидания урожайность на полях первого уборочного отряда составила 4,03 т/га, во втором уборочном отряде – 48,2 т/га, а фактические данные – 4,13 и 4,96 т/га соответственно (погрешность 2,5 и 2,9 %).

По урожайности можно определить необходимое количество транспортных средств для отвозки. При четырех транспортных средствах математическое ожидание по показателю «время ожидания загрузки транспортным средством» составило 13,26 мин, за рабочий день – 519 мин (8,65 ч), или 25,4 % от дневного фонда рабочего времени транспортного отряда. Расчетное количество транспортных средств равно 3 ед. Смоделировав их работу, мы смогли на 21,4 % сократить время на ожидание загрузки. Расчетное значение затрат на работу одного транспортного средства в течение одного дня составило 27 983,22 руб. Эта сумма – ожидаемая примерная экономия от сокращения одного транспортного средства в транспортном отряде. Зная расстояние от поля до склада, можно вносить корректировку по количеству транспортных средств. При площади зерновых в сельхозорганизации около 6000 га и урожайности 4–5 т/га возможное снижение затрат на весь объем уборки составит 1129,8 тыс. руб.

1.3. УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Теоретические обоснования и экспериментальные исследования, проведенные в сельскохозяйственных организациях Свердловской области, по оперативной оптимизации работы УТК выявили, что по показателю «время заполнения бункера» можно определить текущую урожайность сельскохозяйственной культуры. По этому же показателю можно определить количество транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной (без простоев) работы уборочного комплекса. Используя элементы теории вероятностей (математического анализа), можно управлять производительностью УТК [17].

Данную методику можно применять практически на всех видах работ по уборке урожая, заготовке кормов. Допустим, уборка зерновых, картофеля, овощей, заготовка сенажа (зерносенажа), силоса, корнажа из кукурузы и т. д. [18].

По результатам исследований, проведенных в ПАО «Каменское» Каменского района Свердловской области, мы выявили следующее: время заполнения бункера – 44 мин, среднее время транспортного цикла – 72,6 мин, урожайность на данном поле – 23,3 ц/га (расчетная с применением элементов теории вероятностей – 22,9 ц/га).

Исследования были проведены при работе УТК в составе 6 зерноуборочных комбайнов (ACROS-580 – 5 ед., ACROS-585 – 1 ед.), трех автомобилей КамАЗ с прицепами. Убираемая культура – пшеница [19]. Методика приемлема к любым другим маркам зерноуборочных комбайнов, любым другим составам и маркам транспортных средств.

По результатам исследований была выведена зависимость урожайности от времени заполнения бункера и представлена в виде графика на рис. 8.

После оперативного определения урожайности необходимо определить количество транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной (без простоев) работы уборочного комплекса.

Для этого используем следующую формулу (4) [19]:

$$n_{\text{тр}}^{\text{зук}} = \frac{7,06 \times 1,21}{28,3 \times 0,73} = 0,41 \text{ ед.}$$

$$C_1 = V \times \gamma = 9 \times 0,785 = 7,06 \text{ т,}$$

где V – объем бункера зерноуборочного комбайна, м^3 . В соответствии с инструкцией по эксплуатации зерноуборочного комбайна ACROS-580

вместимость бункера при коэффициенте заполнения бункера, равном 1,1 (с трансформирующейся крышей) вместимость бункера составляет 9 м³; γ – объемная масса пшеницы, = 0,785 т/м³.

Грузоподъемность автомобиля КамАЗ-55102 с прицепом составляет 28,3 т.

Для обеспечения работы уборочного комплекса (6 комбайнов) необходимо 2,5 единицы, т.е. три автомобиля. Для увеличения производительности УТК с применением элементов теории вероятностей было предложено увеличить число автомобилей до четырех. В результате было снижено время ожидания зерноуборочным комбайном выгрузки в транспортное средство, снижено время движения комбайна до «загонки».

Для выведения зависимости количества транспортных средств от урожайности (времени заполнения бункера) используем данные из графика на рис. 8 и формулу 4. Данные расчетов сведем в таблицу 11.

Таблица 11

Количество транспортных средств
для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса
в зависимости от урожайности

Показатели	Урожайность, ц/га									
	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
Количество транспортных средств, ед.	1,5	2,66	3,12	3,48	4,02	4,31	4,77	5,17	5,66	6,04

Для наглядности данные из таблицы 11 представим в виде графика (рис. 21).

Расчеты по количеству транспортных средств произведены при расстоянии от поля до склада в 10 км. При формировании транспортного обслуживания уборочного комплекса при других расстояниях необходимо применять поправочные коэффициенты, приведенные в таблице 12.

Правильное комплектование и управление работой УТК влияет на экономические показатели использования как зерноуборочных комбайнов, так и автомобилей на вывозке.

Исследования и анализ показали, что на себестоимость перевозок при постоянном расстоянии от поля до склада влияет время загрузки транспортного средства зерном из бункера комбайна (время выгрузки одного бункера практически одинаково). В нашем исследовании время загрузки одного автомобиля (4 бункера) варьировало от 15 до 58 мин.

Приняв себестоимость перевозок при времени загрузки транспортного средства в течение 15 мин (0,25 ч) за единицу, мы вывели следующую зависимость себестоимости перевозок от времени загрузки транспортного средства и представили в виде таблицы (таблица 13).

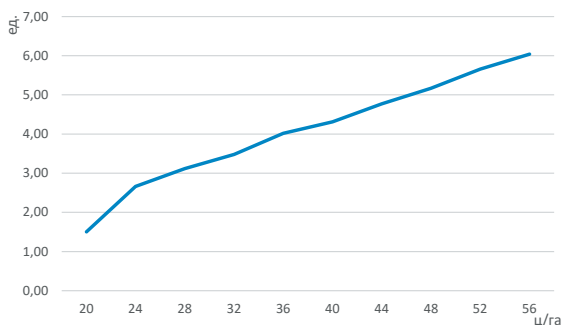


Рис. 21. Количество транспортных средств для обеспечения оптимальной работы уборочного комплекса в зависимости от различной урожайности

Таблица 12

Поправочные коэффициенты при определении количества транспортных средств при обслуживании уборочного комплекса при различных расстояниях от поля до склада

Расстояние, км	До 5	10	15	20	25	30
Поправочный коэффициент	0,77	1,0	1,3	1,59	1,85	2,0

Для наглядности увеличение себестоимости перевозок в зависимости от времени загрузки транспортного средства представим в виде графика (рис. 22).

Таблица 13

Поправочные коэффициенты увеличения себестоимости перевозок в зависимости от времени загрузки транспортного средства

Время загрузки, ч	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Поправочный коэффициент	1,0	1,03	1,04	1,06	1,08	1,11	1,12	1,15	1,18

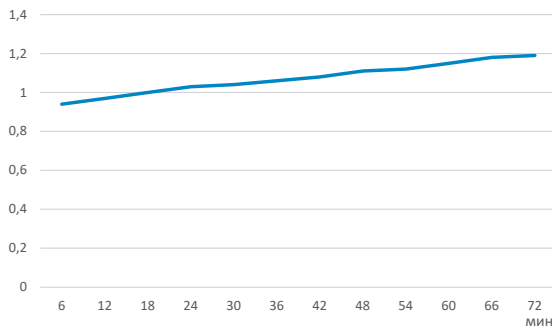


Рис. 22. Коэффициенты увеличения себестоимости перевозок в зависимости от времени загрузки транспортных средств. Поправочные коэффициенты на 0,1; 0,2; 1,2 ч (6, 12 и 72 мин) получены расчетным путем

Эффективность использования зерноуборочных комбайнов определяется таким комплектованием и управлением работой всего УТК, при котором предусматриваются минимальные простои комбайнов в ожидании транспортных средств для выгрузки бункеров с зерном. В то же время зерноуборочные комбайны должны отвечать при эксплуатации требованиям интенсивности, производительности и экономичности.

1.4. ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОСТАВОМ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА В ИССЛЕДОВАНИЯХ УЧЕНЫХ

Проблема определения оптимального состава уборочных отрядов стояла с момента введения механизированной уборки зерновых, овощных культур и картофеля. По мере развития уборочной техники, транспортных средств, складского хозяйства пересматривались подходы к формированию уборочных отрядов, определению количества транспортных средств для отвозки урожая. Особенно актуально это стало при появлении высокопроизводительной, высокоэффективной уборочной техники. Зерноуборочные, картофелеуборочные и другие комбайны стали более дорогими в результате применения в конструкции комбайна средств электроники, гидравлики, информационных технологий. Изменился и организационный подход к работе уборочно-транспортного отряда: он стал рассматриваться как единый УТК. Неэффективное использование УТК (особенно, к примеру, зерноуборочного комбайна) сказывается на эффективности работы всей сельскохозяйственной организации.

Для интенсификации уборочного процесса в последнее время стала использоваться организация производства работ УТК. Их массовое применение в аграрном производстве показало высокую эффективность в результате сокращения сроков уборки, уменьшения числа занятых в уборочном процессе комбайнов и автомобилей (других транспортных средств), повышения качества работ, улучшения использования пашни.

Высокая экономическая эффективность работы сельскохозяйственных машин в составе УТК обусловлена правильным комплектованием, применительно к конкретным производственным условиям. Производственные условия – это возделываемая сельскохозяйственная культура, ее урожайность, спелость (стадия готовности); удаленность поля от склада; состояние дорог; техническое состояние комбайнов и транспортной техники; мощность и техническое состояние зерносушильного и сортировочного хозяйства и т. д. Оптимальная структура определяется рациональным формированием обоснованного состава технических средств производства (комбайнов и транспорта), а также вспомогательных средств (мобильное технологическое оборудование для проведения операций технического обслуживания и устранения неисправностей).

Использование УТК позволяет увеличить эффективность применения высокопроизводительных машин. На один УТК при уборке зерновых приходится 2,5–3,0 тыс. га.

В процессе исследования была систематизирована информация по теме «Оптимизация состава уборочно-транспортного комплекса». Повышение эффективности работы УТК в хозяйствах можно обеспечивать путем реализации комплекса технологических и технических решений на основе использования элементов теории вероятностей, т.е. методов математического анализа и математической статистики.

Тема «Оптимизация состава уборочно-транспортного комплекса» представляет собой определенный научный интерес, в силу того что современная сельскохозяйственная техника (в частности зерноуборочные комбайны) представляет собой энергонасыщенное, дорогостоящее оборудование. Неэффективное ее использование приводит к высоким непроизводительным затратам. Самый распространенный зерноуборочный комбайн российского производства ACROS-580 (585) имеет двигатель мощностью 300 л.с., Claas Tucano 450, John Deere W650, Палессе GS12 – от 306 до 330 л.с. Стоимость ACROS – 8834 тыс. рублей, белорусских комбайнов – 7729 тыс. рублей, Claas Tucano 450 – 15 732 тыс. рублей.

При разработке данной темы отечественные и зарубежные ученые придерживаются основной тенденции: минимум затрат и потерь при уборке зерновых культур с соответствующей урожайностью. Многие из них считают главной проблемой при определении оптимальных параметров УТК – несовершенство транспортного обслуживания. Прямые перевозки (зерноуборочный комбайн – транспортное средство – склад) менее эффективны, чем с применением мобильных компенсаторов (накопителей зерна). В результате неэффективной работы транспорта снижается производительность всего УТК. Другая проблема, которую исследователи считают не менее важной, это сокращение парка зерноуборочных комбайнов, старение парка и, как результат, возрастание доли неисправных машин, увеличение средней нагрузки на комбайн, сроков уборки и потерь зерна от самоосыпания. Все это осложняет вопросы оптимизации состава УТК.

Основные темы, над которыми работают ученые по данному направлению:

- повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов за счет оптимизации энергозатрат;
- стратегические направления уборки зерновых колосовых;

- организация УТК;
- стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур;
- оптимизация уборочно-транспортного процесса уборки зерновых культур с использованием передвижного перегружчика;
- анализ существующих методов и критериев оценки эффективности функционирования производственных процессов.

Тема оптимизации работы УТК представляет интерес на протяжении длительного времени и обусловлена многими причинами. Рассмотрим основные публикации по теме исследования.

А. В. Чулков в своей работе «Повышение эффективности УТК на основе мобильных средств со сменными кузовами при уборке зерновых культур» [2] рассматривает организацию уборочно-транспортного процесса через жесткую согласованность транспортных средств с комбайнами. Если не будет этой согласованности, производительность УТК снижается. Приоритетом в повышении эффективности УТК автор считает организацию транспортного процесса. Одним из направлений решения данной проблемы является использование перевалочных технологий на основе мобильных средств со сменными кузовами.

Д. А. Музылев, А. Г. Кравцов, Н. В. Карнаух, Н. Г. Бережная, О. В. Кутя в своей работе «Разработка методики выбора условий взаимодействия зерноуборочного и транспортного комплексов» [3] рассматривают комбайн как основообразующий элемент всего уборочно-транспортного комплекса, он же определяет размер и структуру всего транспортного комплекса. Зерноуборочный комбайн должен соответствовать урожайности зерновых культур, площадям сельскохозяйственных организаций. Успешность уборочного процесса зависит от технико-эксплуатационных характеристик выбранного зерноуборочного комбайна.

В. Н. Лунякин в своей работе «Оптимизация уборочно-транспортного процесса уборки зерновых культур с использованием передвижного перегружчика» [20] указывает на сложные условия выполнения сборочно-транспортного процесса. Более тяжелые условия выполнения сборочной операции часто вызывают несогласованность транспортных средств с комбайнами. В результате производительность УТК снижается. Главным фактором повышения эффективности УТК автор также считает организацию транспортного процесса через использование передвижного перегружчика. В результате снизятся простои зерноуборочных комбайнов, увеличится производительность транспортных средств.

В. В. Абаев в статье «Повышение эффективности функционирования оптимальной системы технологий уборки зерновых культур» [21] говорит о том, что современная технология комбайновой уборки зерновых культур трудозатратна, энергоемка и не позволяет решить главную задачу – свести к минимуму потери урожая, простой машин всего уборочного комплекса из-за нарушения ритмичности процесса, убрать урожай в оптимальные сроки. Требуется доработка методических основ оптимизации типажа и структуры комбайнового парка и рационального сочетания альтернативных вариантов ресурсосберегающих технологий уборки урожая. Требуются новые концепции создания ресурсосберегающих технологий уборки с учетом экологической безопасности, новые способы уборки урожая на базе многоцелевых уборочно-почвообрабатывающих агрегатов (УПА), а также научно-методические основы эффективного взаимодействия всех звеньев уборочного комплекса.

Научная проблема заключается в разработке методов обоснования и синтеза технологических операций, технических средств, оптимального типоразмерного ряда (типажа) и структуры комбайнового парка, оптимальной системы ресурсосберегающих технологий уборки. Возникает необходимость совершенствовать многоуровневый системный подход на основе моделирования производственных процессов уборочно-транспортных комплексов по единому критерию ресурсосбережения.

Предусматривается также применение бункеров – перегрузчиков зерна.

М. Р. Михайлов в своей работе «Оптимизация использования зерноуборочных комбайнов по параметрам надежности» [22] предлагает методику оптимизации сезонной нагрузки, используя понятие «ресурсных групп зерноуборочных комбайнов технологического комплекса с учетом их технического состояния и условий эксплуатации. Ресурсные группы формируются по эксплуатационным затратам на предсезонную подготовку комбайнов. Для методики распределения зерноуборочных комбайнов по ресурсным группам, по минимуму эксплуатационных затрат на предсезонную подготовку машин используется математическая модель оптимизации распределения сезонной нагрузки для ресурсных групп парка зерноуборочных комбайнов.

В. С. Барнагян в работе «Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники машинно-технологических станций» [23] обосновал пути повышения эффективности использования, границы эффективного применения уборочно-транспортных отрядов и комплек-

сов в составе машинно-технологических станций (МТС). Была составлена модель машиноиспользования в хозяйствах, учитывающая влияние факторов внешней среды на эффективность работы уборочных отрядов в составе МТС. Расчет ожидаемой потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур с учетом сложившегося спроса, цен на зерновые, ГСМ, курса доллара к рублю был произведен на основе SWOT-анализа. Учет этих рыночных показателей и других факторов позволит более обоснованно планировать выработку зерноуборочных комбайнов, распознавать технологические пределы эффективности организационных форм использования комбайнов в составе МТС.

Выполненные исследования позволили определить направления снижения эксплуатационных затрат и предложить адекватную модель формирования уборочных отрядов в рамках МТС. Для комплектации отрядов в составе МТС, определения марочного состава рекомендованы данные системы машинно-испытательных станций (МИС) России.

В. Д. Шепелев в своей работе «Обоснование технико-технологической согласованности процессов уборки и послеуборочной обработки зерна» [24] рассматривает уборочный процесс с точки зрения равенства производительности уборочных, транспортных и зерноочистительных линий, поэтому важным резервом снижения затрат и потерь урожая является обеспечение согласованности взаимодействия всех звеньев технологического процесса уборки. Современная производственная ситуация вызывает необходимость совершенствования методических подходов к проектированию технологической системы на основе единого комплекса уборочных работ, транспортировки и послеуборочной обработки зерна. Стабилизации функционирования уборочной и зерноочистительной линий способствует использование компенсирующих и резервных элементов (бункера-компенсатора, резервных зерноочистительных машин) технологического процесса, параметры которых должны определяться с учетом конкретных природно-производственных условий. Итогом исследования является разработка экономико-математической модели, позволяющей осуществить проектирование уборочного и зерноочистительного процессов, обеспечивающих согласованность и стабилизацию параметров их функционирования.

Глава 2

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ГИДРОПОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

.....

2.1. МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ СРЕДАХ

Сущность гидропонного метода состоит в том, что почва заменяется искусственным субстратом (гравий, песок, керамзит, вермикулит, песчано-гравийная и моховая среда и др.), а овощные культуры выращивают на растворах минеральных солей (рис. 23) [57].



Рис. 23. Выращивание салата гидропонным способом

При гидропонном способе обеспечиваются оптимальное минеральное питание растений, благоприятная концентрация с оптимальным соотношением отдельных элементов в зависимости от освещенности, температуры, содержания углекислого газа, кислорода и других факто-

ров, создаются лучшие условия для фотосинтеза. На гидропонике отпадают трудоемкие работы по внесению удобрений, поливам, подкормкам, подсыпке почв, дезинфекции и др. Открываются возможности более широкого применения автоматики, что сокращает трудовые затраты на выращивание овощей и способствует получению более ранних урожаев.

Сельское хозяйство не остается в стороне от новых технологий, которые сегодня активно заполняют все сферы жизнедеятельности человека. Разработки ученых направлены на облегчение труда фермеров, увеличение урожаев и качества выращиваемых продуктов. Одним из таких инновационных методов выращивания сельскохозяйственных культур является гидропоника.

Гидропонные системы в зависимости от принципа работы подразделяются на несколько основных видов: фитильная система, капельного полива, периодического затопления, питательного слоя, плавающей платформы и аэропоника. По конструктивным особенностям и расположению растений в пространстве разделяются на горизонтальную, вертикальную, роторную, стеллажную, пирамидальную и др. По размерам и количеству выращиваемых растений разделяются на промышленные фермы, микрофермы и индивидуальное выращивание.

Фитильная система считается наиболее простой системой и известна человечеству с древнейших времен. Принцип работы фитильной системы основан на действии капиллярных сил, где корневая система растения расположена в нейтральном субстрате, а питательный раствор доставляется к корням за счет капиллярных сил, относится к нереверсивным системам, то есть питательный раствор используется единожды без циркуляции. Пример схемы работы представлен на рис. 24 [58], где питательный раствор в субстрат доставляется за счет смоченного с одного конца «фитиля», изготовленного из водопроницаемого материала (например, льна или пеньки), помещенного в емкость с питательным раствором.

Фитильная система считается пассивной, и для ее работы не требуется систем автоматизации для подачи питательного раствора. Основным недостатком, ограничивающим ее использование в промышленных объемах, можно считать то, что для доставки питательного раствора к фитилям потребуются создавать дополнительные трубопроводы, что, например, уже реализовано в системах капельного полива с меньшей сложностью конструкции. Такая система больше подходит для индивидуального выращивания растений в домашних условиях или небольших оранжереях.

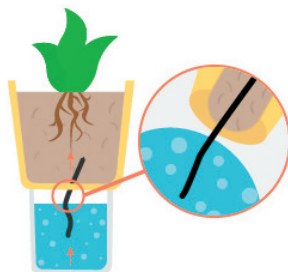


Рис. 24. Фитильная система

Система капельного полива характеризуется высокой надежностью за счет простоты конструкции и низкой ее стоимости. Автоматизация данной системы гидропонии заключается в установке таймера включения насоса, нагнетающего питательный раствор в капельницы. Принцип работы заключается в подаче определенной дозы питательного раствора к растению за счет капельницы с определенным диаметром отверстия за определенный промежуток времени. Данная гидропоника бывает как реверсивного, так и нереверсивного типа. В реверсивной системе часть непитавшегося в субстрат питательного раствора стекает по желобам и используется повторно. Пример схемы работы гидропонии капельного типа представлен на рис. 25 [59].

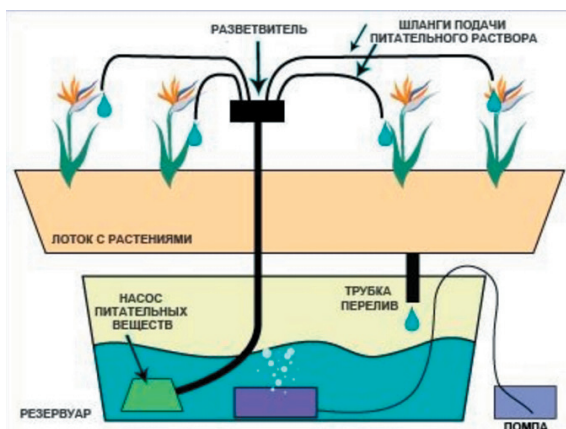


Рис. 25. Принцип работы системы капельного полива

В емкости с питательным раствором расположен насос, запускаемый по установленному таймеру на определенное время начала и завершения подачи. Нагнетаемый раствор насосом подается в распределитель (устройство, которое распределяет поток жидкости по капельницам), после чего к капельницам, в конце которых или по всей длине расположены отверстия определенного диаметра (диаметр отверстия зависит от требуемой производительности капельницы в л/ч). Отверстие капельницы должно находиться в непосредственном контакте с субстратом и корневой системой.

Для систем, где питательный раствор долгое время (более 3 суток) находится в смешанном состоянии, желательно применение устройств для насыщения кислородом.

Основными недостатками данной системы являются постепенное загрязнение капельниц и большая протяженность капельной магистрали от насоса до растения при выращивании промышленным способом.

Такая система хорошо подходит как для искусственных сред, так и при выращивании в почве открытым и закрытым способом. Капельный полив широко распространен как для больших предприятий (рис. 26 [60]), так и в личном подсобном хозяйстве (в теплицах) (рис. 27 [61]).



Рис. 26. Система капельного полива в агрохолдинге



Рис. 27. Система капельного полива в теплице

Система периодического затопления характеризуется реверсивной подачей питательного раствора из емкости, сочетает в себе простоту конструкции и универсальность применения как для влаголюбивых, так и для засухоустойчивых растений. Достоинством системы является прекрасная аэрация корневой системы, так как корневая система находится в воздушном пространстве и смачивается питательным раствором только в определенное время. Принцип работы заключается в следующем: питательный раствор подается насосом в желоб, расположенный под наклоном, либо в емкость (рис. 28) [62], где размещены горшки с выращиваемыми растениями, субстрат затопляется, затем самотеком стекает обратно в бак. Управление данной системой осуществляется за счет того, что в емкости с питательным раствором расположен насос, запускаемый по установленному таймеру на определенное время начала и завершения подачи.

Основными недостатками всех реверсивных систем являются постепенное загрязнение питательного раствора и высокая вероятность заражения всех растений через питательный раствор в случае заболевания даже одного растения.

Система периодического затопления нашла широкое применение в стеллажных гидропониках, особенно при выращивании микрозелени [56].

Система питательного слоя (NFT) кардинально отличается от системы с периодическим затоплением за счет того, что в ней постоянно циркулирует жидкость благодаря насосу. Принцип работы заключается в постоянном перекачивании насосом питательного раствора в верх-

нюю часть расположенного под наклоном (рис. 29) желоба, в котором размещены горшки с выращиваемыми растениями. За счет того, что жидкость постоянно циркулирует в закрытых желобах, достигается высокая влажность в корневой зоне с большим содержанием кислорода без применения дополнительных аэрационных устройств.

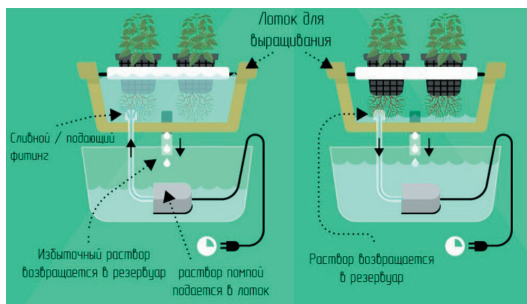


Рис. 28. Схема работы системы периодического затопления



Рис. 29. Схема работы системы питательного слоя (NFT)

Основным недостатком данной системы является постоянное энергопотребление насосом для циркуляции жидкости, так как применяемый субстрат используется в большей степени только для фиксации растения в горшке, а не подвода питательных элементов к корневой системе, что в некоторых случаях является плюсом, поскольку снижается количество используемого субстрата.

Система питательного слоя (NFT) широко применяется при выращивании влаголюбивых растений с развитой корневой системой.

Система глубоководных культур и метод плавающей платформы DWC (Deep Water Culture) (рис. 30) [58].

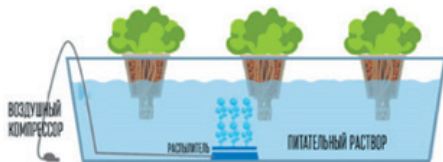


Рис. 30. Схема работы системы глубоководных культур

Данная система пользуется широкой популярностью при выращивании влаголюбивых растений в промышленных масштабах. Принцип работы системы заключается в следующем: в емкость с питательным раствором погружается аэратор, при работе которого осуществляется насыщение кислородом питательного раствора, над емкостью с питательным раствором закрепляются горшки с субстратом и выращиваемым растением. В данной системе субстрат выполняет роль каркаса для крепления растений.

Система плавающей платформы работает по аналогичному принципу. В плавающей платформе горшки закрепляются в композитах пенопласте или пенополистироле с последующим погружением в питательный раствор, за счет низкой плотности данные материалы не тонут, а корневая система погружена в питательный раствор.

Одним из недостатков плавающей платформы считаются большие объемы применяемого питательного раствора. Для промышленного выращивания строятся отдельные лагуны, бассейны под питательный раствор.

Аэропоника выделяется из представленных ранее видов гидропоники, так как смачивание корневой системы растения питательным раствором происходит аэрозолем, то есть из взвешенных частиц питательного раствора в воздухе, за счет использования распылителей (рис. 31) [63], а не контактом непосредственно с потоком жидкости.

В аэропонике растение закрепляется, а непосредственно корневая система растения находится в подвешенном состоянии (рис. 31). Внутри емкости, где расположена корневая система растений, находятся форсунки, которые создают питательный туман (аэрозоль). Благодаря применению аэропоники происходит обильное насыщение корневой системы как кислородом, так и питательными элементами в легкоусво-

яемой форме. Отсутствие субстрата и малые количества питательного раствора позволяют уменьшить шансы заражения растений болезнями.

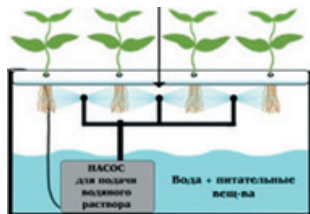


Рис. 31. Схема работы аэропоники

Аквапоника отличается от других систем тем, что объединяет в себе как способ выращивания растений методом гидропоники, так и выращивание аквакультуры. В этой системе изменяется источник микро- и макроэлементов. В аквапонике источником питательных элементов являются продукты жизнедеятельности аквакультуры (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей), при этом растения с субстратом выполняют функцию биофильтра, очищающего протекающую воду через растения от продуктов жизнедеятельности (рис. 32) [64].

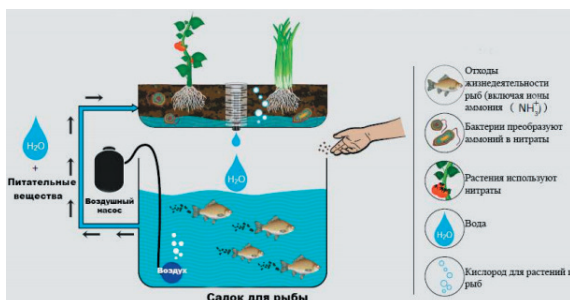


Рис. 32. Схема работы аквапоники

Комбинация выращивания растений и аквакультуры решает сразу две проблемы: очистка воды и насыщение растений питательными элементами.

2.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПОННЫХ УСТАНОВОК

Гидропоника представляет собой выращивание растений без почвы и имеет ряд преимуществ перед обычной агротехникой. Вот некоторые из них:

- 1) растения без почвы меньше подвержены заболеваниям, поскольку именно грунт является накопителем многих микроорганизмов;
- 2) исчезает целый этап в растениеводстве, который предусматривает рыхление почвы и борьбу с сорняками. Нет необходимости в пестицидах;
- 3) поскольку растения всегда находятся в закрытом помещении, на них практически не оказывают влияние вредные насекомые и другие паразиты;
- 4) осуществляется экономия водных ресурсов, используемых при стандартном выращивании растений в почве (при поливе в почве растения потребляют только 5 % используемой воды; в гидропонике же вся вода, не поглощенная растениями, циркулирует в системе);
- 5) экономия минеральных удобрений (вследствие того что 95 % воды не попадает в растения, минеральные вещества почвы и внесенных удобрений вымываются в нижележащие слои почвы);
- 6) использование гидропоники исключает экологическое загрязнение минеральными удобрениями окружающей почвы;
- 7) экономическая эффективность гидропоники в разы больше (вся использованная вода, минеральные вещества, стимуляторы роста остаются в системе, пока не будут использованы растениями);
- 8) за счет оптимальных условий выращивания ускоряются все процессы роста растений, срок выращивания салата из семян до готового к продаже куста составляет 21–22 дня вне зависимости от времени года;
- 9) отсутствуют реакции между химическими элементами, замедляющие рост растений, так как все вещества находятся в легко усвояемой форме для растений.

Наряду с достоинствами гидропонный метод выращивания культур имеет и недостатки:

- 1) более высокая стоимость установок и оборудования;

- 2) сложность большинства существующих механизмов по подаче и приготовлению растворов (это ведет к необходимости содержания квалифицированного технического персонала по управлению производством);
- 3) быстрое распространение вирусных, а иногда и грибных заболеваний;
- 4) потребность в специализированных кадрах (необходима тонкая настройка всего процесса подготовка питательного раствора, подборка освещения);
- 5) большая занимаемая площадь;
- 6) необходимость постоянного контроля над системой;
- 7) негативное отношение населения к гидропонике в целом (многие считают, что выращивание растений на гидропонике неэкологично и даже вредно для здоровья).

Роторная гидропоника помогает решить проблемы стандартной гидропоники, она представляет собой размещение растений на гидропонных субстратах вокруг источника света. Для получения питательного раствора растениями субстрат постоянно находится в движении за счет вращающегося непрерывно ротора и, опускаясь до нижней точки, впитывает питательный раствор [32].

В сравнении с другим популярным методом гидропоники – вертикальным – роторная показывает большую экономичность: она экономит площадь посадки за счет более выгодного ее расположения. Уменьшаются и потери энергии за счет рационально использованного освещения: растения расположены все вокруг и на одинаковом расстоянии от источника света.

Такое улучшение энергоэффективности гидропонной установки увеличивает выгоду от выращивания растений в городских условиях – получение большого количества свежих продуктов питания «прямо с грядки» у себя дома имеет спрос среди городского населения [33].

Приобретение коммерческой выгоды при выращивании растений на гидропонной установке роторного типа наталкивает на использование ее в промышленных масштабах, где большим плюсом системы является потребность в меньшем (чем при вертикальном методе) количестве обслуживающего персонала: как квалифицированных специалистов, так и неквалифицированных рабочих, что вместе с уменьшением занимаемой установкой площади и увеличением площади посадок, а также

высокой энергоэффективностью освещения дает значительную экономию средств [36].

Также автоматизация процесса выращивания растений с помощью применения программно-аппаратных модулей на базе платы Arduino предполагает уменьшить вмешательство человека в рост растений и полностью, насколько это возможно, доверить его компьютерным системам. Микроконтроллер системы Arduino при своем небольшом размере и низком энергопотреблении способен собирать, обрабатывать и выполнять программный код в соответствии с полученными данными с датчиков и сенсоров. При этом она с помощью реле может управлять и сетями с большим электрическим напряжением, как, например, освещение растений.

В точном земледелии применение микроконтроллеров является уже скорее необходимостью времени, чем необоснованной прихотью. Ведь люди могут что-то пропустить или намеренно не заметить, допустить оплошность или ошибку. Программно-аппаратные модули же получают и анализируют данные с различных измерительных приборов и датчиков с прямолинейной точностью и беспристрастностью, выполняют свой программно-аппаратный код в соответствии с заданными установками. Большая вариативность датчиков и сенсоров (едва ли не больше областей для их применения) дает возможность собирать полную информацию обо всех возможных факторах окружающей среды круглосуточно: от температуры питательного раствора до количества углекислого газа в воздухе гидропонной системы.

Построение системы «умной гидропоники» на базе стандартной вертикальной системы достаточно осложнено: большие площади неравномерного искусственного освещения не дают возможности правильно оценить получение каждым растением нужного количества и качества освещения, и связанное с этим различное потребление питательного раствора растениями также может вызывать проблемы: передозировка каким-либо макро- или микроэлементом и, как следствие, потеря урожая и затраты на восстановление прежнего состояния раствора и растений. Система роторной гидропоники также имеет преимущества: упрощение системы питания растений и освещение, одинаковое для всех растений в установке, позволяет полностью автоматизировать процесс сбора информации о показателях освещенности и состава раствора. А ведь именно эти показатели представляют наиболее ценные для роста и развития растений факторы, вместе с тем они и тяжело получаются:

обычному обывателю без специальных знаний легко в них запутаться и сложно разобраться. Поэтому есть необходимость в автоматизации их обработки и получения.

При применении программно-аппаратных модулей на базе платы Arduino становится возможным построение роторной «умной гидропонники» – гидропонной системы, способной с минимальными усилиями человека обеспечивать рост растений и следить за ним, сделать минимальными затраты труда человека за счет применения дистанционной связи установки с человеком. Через специально разработанное приложение/программу установка будет передавать на облачное хранилище все собираемые ею данные и, если они важны (какой-либо форс-мажор: перегорание лампы и т. п.), немедленно сообщать об этом. Также происходит разработка «умного наблюдения» за химическим составом питательного раствора. Датчики будут в определенное время брать замеры по большому числу показателей раствора, программно-аппаратный модуль может проводить сравнение с допустимыми значениями и сообщать о недостатке или избытке того или иного вещества. Конечно, не все люди, получив данные показания, смогут правильно рассчитать необходимую дозу внесения вещества в питательный раствор. Для этого в работе создается специальный программный код, высчитывающий с высокой точностью, сколько конкретно вещества необходимо внести. Все это выполняется в дружественном пользователю интерфейсе с возможностью интерактивного обучения, подсказок и иной помощи.

Принцип работы метода роторной гидропонники основан на вращении растений вокруг источника света. При этом питательный раствор растения получают из резервуара, в который периодически окунается пористая среда для корней растений. Применение технологии роторной гидропонники дает возможность получить экономию посадочного места: растения располагаются не на плоскости, как в вертикальной гидропонике, а вокруг источника света, что позволит экономить на освещении.

Так, в вертикальной гидропонной системе для покрытия площади растительности микрозелени, занимающей 1 м^2 закрытой площади, необходима равная ей площадь, при применении роторной гидропонники посадочная площадь рассчитывается как площадь цилиндра. Так, при использовании площади 1 м в диаметре, 1 м в длину, и площадь увеличивается на значение π , что дает роторной установке примерно в 3,14 раза больше площади посадки на одинаковое количество закрытого грунта.

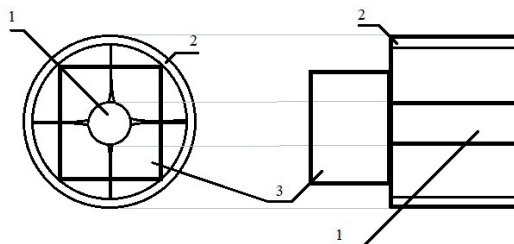


Рис. 33. Принципиальная схема роторной гидропонной установки:
1 – лампа, 2 – влагопористая среда для растений, 3 – электронный блок

Потребление энергии на освещение растений снижается за счет выравнивания расстояния от источника света до посадочной площади всех растений и уменьшения рассеивания света и тепла по площади, где оно не влияет на культуры, так как теперь полезная площадь возделывания находится на 360° вокруг источника света.

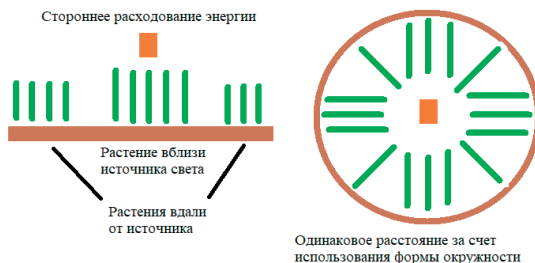


Рис. 34. Графическое сравнение полезного действия освещения в вертикальной и роторной гидропонной системе. Большое влияние на развитие растений оказывает количество падающего на него света, находящегося в прямой зависимости от расстояния до источника света

2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Проведенный анализ внешних факторов, действующих на элементы, показал, что в качестве материалов используются стекло- или углепластики, листовой алюминий, стандартные пластики типа ПВХ, PLA и ABS, и др. (таблицы 14–16).

Таблица 14

Физико-химические показатели ПВХ

Показатель	Значение показателя
Плотность, кг/м ³	1380–1400
Константа Фикентчера	45–75
Теплостойкость по Мартенсу, °C	50–70
Температура разложения, °C	140–170
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	50–60
Относительное удлинение при разрыве, %	10–50

Таблица 15

Физико-химические показатели PLA и ABS

Показатели	ABS	PLA
Плотность, г/см ³	1,05	1,25
Прочность на разрыв, МПа	57,8 МПа	22 МПа
Коэффициент удлинения, %	6	30
Температура размягчения, °C	~ 100	~ 50
Температура плавления, °C	~ 220	~ 180

Представленные материалы, такие как ПВХ, ABS, PLA и алюминий, отвечают следующим требованиям:

- механическая прочность;
- износоустойчивость;
- жесткость;
- небольшая масса;
- устойчивость к коррозии, химическому, погодному и температурному воздействию.

Физико-химические показатели алюминия

ПОКАЗАТЕЛЬ	ЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ
Плотность, кг/м ³	2712
Температура плавления, °С	658–660
Удельная теплота плавления, кДж/кг	390
Температура кипения, °С	2500
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	897
Электропроводность, См/м	37·10 ⁶
Теплопроводность, Вт/(м·К)	203,5

Еще одним важным свойством материалов является нейтральность ко многим химическим веществам, используемым в гидропонных установках.

После анализа отмеченных видов материалов было решено создать конструкцию домашней гидропоники из ПВХ, а промышленную – из алюминиевого профиля. Конструкция гидропоники была макетирована в программном продукте САПР 3D КОМПАС-3D v18 с целью расчета будущих конструкций на жесткость и пригодность к реализации.

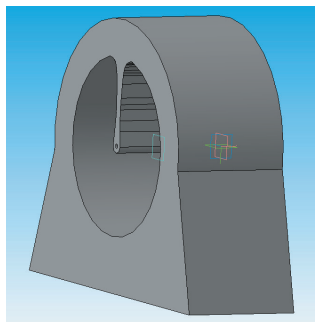


Рис. 35. 3D-макет конструкции роторной гидропоники

В результате проведенной работы была разработана 3D-модель основных узлов конструкции роторной гидропоники. После этого были проведены изыскания по способу соединения деталей с целью придания конструкции высокой прочности и герметичности. В ходе исследований

были изучены ЕСКД и справочная литература (справочник конструктора-машиностроителя, атлас конструкций узлов и деталей машин, технология автоматизированного производства, ГОСТ Р 57400-2017 «Клеи и герметики») и был выбран способ склейки элементов цианоакрилатом с последующей обработкой швов силиконовым герметиком.

После выбора способа соединения элементов были спроектированы стенки, ротор, емкости и механизмы крепления.

Основными этапами разработки являлись:

- 1) разработка конструкции с учетом всех нагрузок, создаваемых механизмами вращения, элементами привода и лампой освещения;
- 2) разработка конструкции ротора с возможностью крепления субстрата к ротору;
- 3) разработка емкости под питательный раствор с возможностью корректировки состава;
- 4) разработка механизмов привода и крепления их к главной платформе.

В первую очередь была произведена проектировка основных стенок (рис. 36), к которым крепятся все остальные элементы, такие как ротор, лампа, электроника и др., необходимые для реализации проектируемой конфигурации.

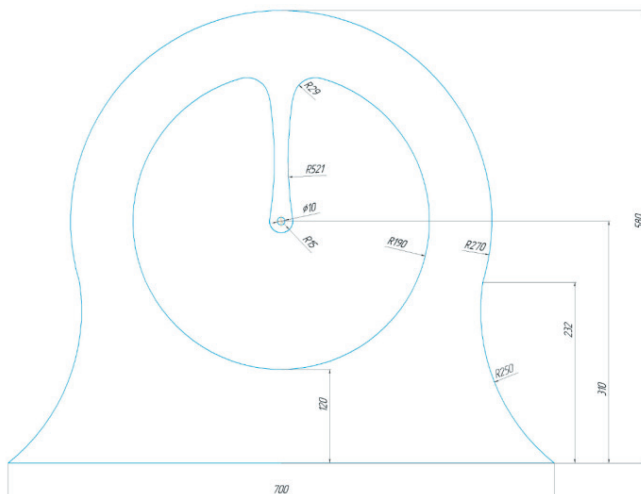


Рис. 36. Чертеж основных стенок корпуса роторной гидропоники

Наиболее нагруженной частью вследствие стремления к эргономичности и улучшению внешнего вида является отвес для крепления лампы.

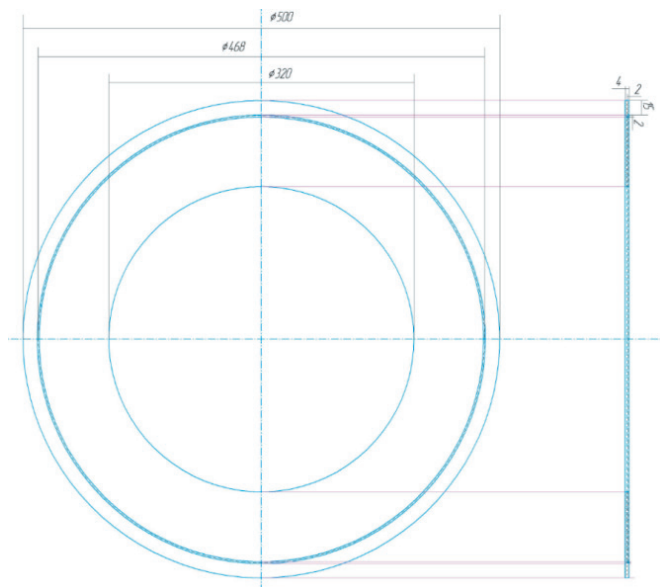


Рис. 37. Чертеж корпуса ротора

Ротор представляет собой цилиндр, состоящий из двух дисков с фрезерованным пазом в 3 мм под установку, соединяющим стенки, загнутые под 360° . Обязательным требованием при сборе конструкции является загибание ПФХ пластика за счет одновременного нагрева, что позволяет повысить пластичность материала и придать устойчивую форму круга. Соединение деталей происходит за счет склеивания цианоакрилатом с последующей обработкой швов силиконовым герметиком. Отверстия в стенке ротора делаются после сбора конструкции во избежание деформации при сборке.

Привод ротора осуществляется за счет установки на кромке диска зубчатого ремня. К ремню предъявляются следующие требования: износостойкость и высокая стойкость к воздействию химических веществ.

Расчеты были проведены в программном комплексе ANSYS, что позволило с высокой точностью провести вычисления прочностного

характера и модуляцию трехмерной модели, которая была выполнена в SolidWorks.

Также ANSYS позволяет смоделировать сопряжение деталей, благодаря чему можно провести расчет детально для каждого сопряжения, в результате чего была повышена прочность деталей с минимальным изменением в конструкции разработанной 3D-модели, а также было доказано, что выбор ПВХ был наилучшим по соотношению прочности, веса и стоимости.

По итогу научных исследований, связанных с определением свойств материалов для изготовления основных частей установки, была выполнена сборка макета (рис. 38).

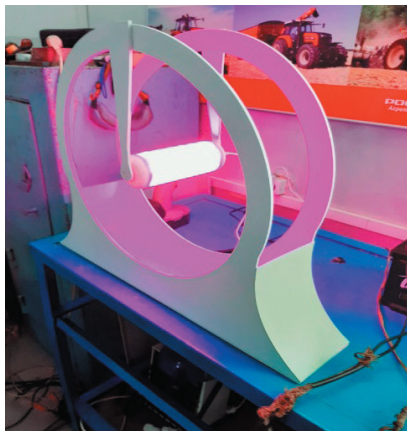


Рис. 38. Макет корпуса роторной гидропоники для исследования пригодности материалов

Испытания показали, что применяемый материал полностью соответствует предъявляемым критериям, за период эксплуатации материал не потерял первичных характеристик.

2.4. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ КОНТРОЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЦЕПИ

Опыт исследований и работы с «умной грядкой» в университете показал, что платформа Arduino может являться основой контролирующих устройств. За счет программирования модулей Arduino возможно решить все проблемы, связанные с питательным раствором, температурой почвы и грунта, влажностью субстрата и воздуха, освещения и всем тем, что сейчас контролирует сложнейшие схемы автоматики. Arduino позволяет управлять всем этим со смартфона с помощью специального приложения.

В результате большого количества применяемых устройств имеет смысл разделить устройства, считывающие информацию об окружающей среде, на группы по типу среды, в которой они выполняют считывание данных. Например, модули могут измерять непосредственно показатели водного раствора за счет применения датчика температуры раствора, датчика для измерения pH раствора, сенсора растворенных твердых веществ (TDS-метр) и датчика уровня воды. В рабочем субстрате будет контролироваться уровень влажности с помощью сенсора, считывающего электрическое напряжение в субстрате. Один из важнейших показателей при выращивании растений – состояние воздуха – будет считываться с помощью датчика влажности и температуры. С фоторезистора будет приходить информация об уровне освещенности в данный момент.

Но только считывания информации будет недостаточно для задуманной автоматизации процесса выращивания. Необходимо также управление различными устройствами, обеспечивающими растениям благоприятный микроклимат: аэратор для создания необходимого уровня влажности; системы вентиляции, отвечающие за движение воздуха в гидропонной установке; управление источником света и самим ротатором. Всем этим управляет микроконтроллер Arduino Mega. Для доступа к данным и состоянию установки пользователя программно-аппаратный модуль будет передавать всю информацию на облачный ресурс с помощью Wi-Fi-модуля.

Принципиальная схема гидропоники разработана на платформе контроллера MEGA328P-AU (P1, имеет разветвленную схему питания, в которую входят следующие основные компоненты: гнезда DC1, микросхемы

Схема работает от 12 В подается через разъем DC1, поступает на шаговый драйвер U1, а также на стабилизатор питания LM7805, где преобразует напряжение в 5 В для питания датчиков, дисплея, шагового драйвера, информационного дисплея и контролера.

[illegible]

72

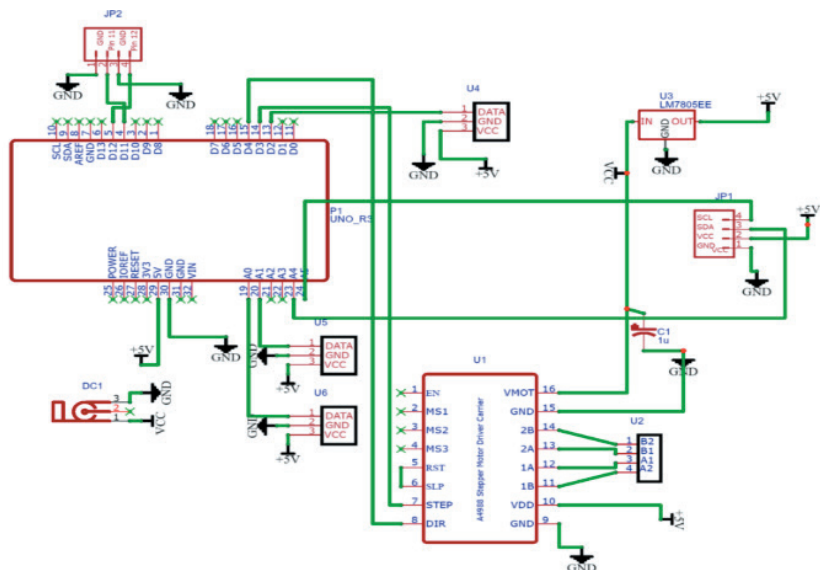


Рис. 40. Схема соединения контролирующих и управляющих элементов

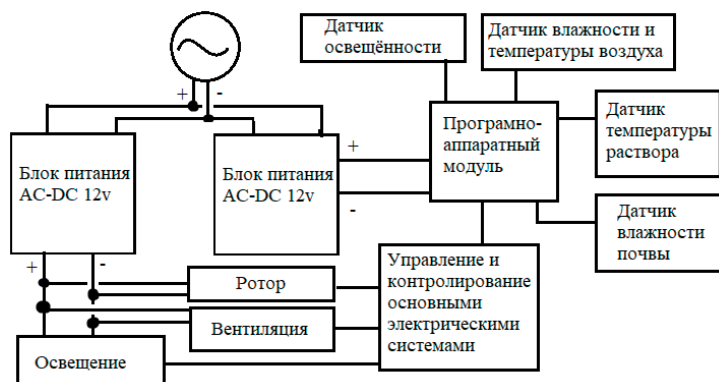


Рис. 41. Принципиальная схема электрической цепи системы роторной гидропоники

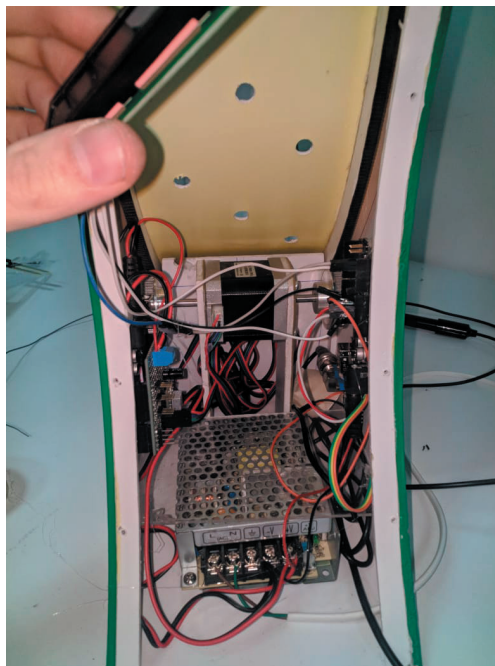


Рис. 42. Расположение элементов управления роторной гидропоникой на макете

Установленные контролирующие устройства (датчики) в роторной гидропонике позволяют гибко регулировать микроклимат и режим выращивания растений.

2.5. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ НА РОСТ РАСТЕНИЙ

В соответствии с поставленными задачами программа исследований была направлена на проверку эффективности выращивания растения методом роторной гидропоники.

Использовался метод сравнительного выращивания при одинаковых условиях в роторе: горизонтальное выращивание при капельном поливе и на плавающей платформе.

В исследованиях применялся способ проведения активного эксперимента, что позволяет провести целенаправленный и организованный эксперимент.

Планирование эксперимента направлено на стремление к минимизации общего количества опытов; одновременное варьирование всех переменных; использование математического аппарата, формализующего многие действия экспериментатора; выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов.

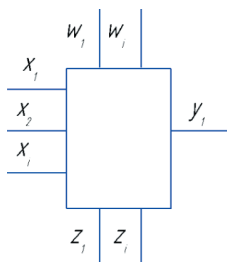


Рис. 43. Структурная схема объекта исследования

Таблица 17

Матрица планирования для двух факторов

НОМЕР ОПЫТА	x_1	x_2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

При проведении исследований учитывались такие виды ошибок измерения, как грубые, систематические и случайные.

Проведение активного эксперимента позволило минимизировать количество опытов и параметров контроля (высота розетки, диаметр розетки, количество листьев, время роста до спелости).

Результаты проведенных лабораторных исследований сгруппированы в таблицу 18 и рис. 44.

Таблица 18

Результаты лабораторных исследований

Тип гидропоники	Сорт	Высота розетки, см	Диаметр розетки, см	Количество листьев, шт.
Капельный полив	Балет	26,1	32,5	21
	Витаминный	30,7	34,4	19
	Меркурий	21,9	33,6	24
Роторная гидропоника	Балет	26,8	33,1	22
	Витаминный	32	34,8	20
	Меркурий	22,6	34	24
Плавающая платформа	Балет	26,4	32,9	21
	Витаминный	31	34,5	20
	Меркурий	22,2	33,5	23

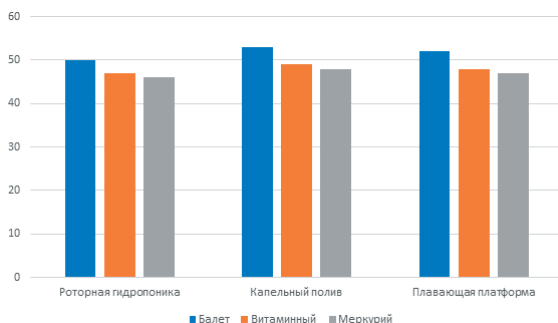


Рис. 44. Изменения длительности выхода растений до спелости в зависимости от сорта и вида применяемой системы

Согласно полученным данным, из исследованных сортов салата (Балет, Витаминный, Меркурий) наиболее продуктивным сортом оказал-

ся Витаминный, который имеет наибольшую высоту, размер розетки и массу.

Наиболее скороспелым во всех типах гидропоники является сорт салата Меркурий.

Из полученных результатов можно заметить, что все исследуемые сорта салата имеют меньший период времени выхода к спелости: он сокращается на 6–10 %, что является значительным преимуществом данного метода перед другими.

Влияние метода выращивания также влияет на увеличение высоты и диаметра розетки, при применении роторного метода происходит увеличение данных параметров на 2–6 %.

Изменение количества листьев имеет положительную тенденцию при применении роторного способа, но требует отдельных длительных экспериментальных исследований с учетом биохимического анализа.

2.6. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБРАЗЦА УСТАНОВКИ ДЛЯ РАСПРОСТРАНЕННЫХ КУЛЬТУР

Технология выращивания растений методом роторной гидропоники представляет собой выращивание растений без почвы и имеет ряд преимуществ перед обычной агротехникой:

- 1) растения меньше подвержены заболеваниям, поскольку используется искусственный инертный одноразовый субстрат;
- 2) не используются химические средства, применяемые для борьбы с вредителями и болезнями растений;
- 3) экономия минеральных удобрений (вследствие того что используется оптимально сгруппированный по химическому составу питательный состав), так как все вещества находятся в легкоусвояемой для растений форме;
- 4) за счет вращения и оптимальных условий выращивания ускоряются все процессы роста растений, срок выращивания салата из семян до готового к продаже куста снижается на 6–10 % вне зависимости от времени года.

Экспериментальные исследования проводились по той же методике, что и в разделе 2.5, но только на роторной гидропонике с вариацией частоты вращения ротора от 1 об/ч до 10 об/ч. Данный диапазон исследуемой частоты вращения определен в результате предварительного активного двухфакторного эксперимента.

$$N = p^k, \quad (2.1)$$

где N – количество опытов;

p – количество уровней факторов;

k – количество факторов.

Таблица 19

Изменение высоты розетки салата
при определенной частоте вращения ротора

СОРТ САЛАТА	ВЫСОТА РОЗЕТКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА									
	1 ч ⁻¹	2 ч ⁻¹	3 ч ⁻¹	4 ч ⁻¹	5 ч ⁻¹	6 ч ⁻¹	7 ч ⁻¹	8 ч ⁻¹	9 ч ⁻¹	10 ч ⁻¹
Балет	21,6	22,8	23,9	24,4	25,6	26,2	26,7	26,8	26,8	26,7
Витаминовый	27,5	28,6	29,2	30	30,8	31,6	32	32	32,1	31,9
Меркурий	18	18,7	19,4	19,8	21,4	22,1	22,5	22,6	22,6	22,4

Таблица 20

Изменение диаметра розетки салата
при определенной частоте вращения ротора

СОРТ САЛАТА	ДИАМЕТР РОЗЕТКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА									
	1 ч ⁻¹	2 ч ⁻¹	3 ч ⁻¹	4 ч ⁻¹	5 ч ⁻¹	6 ч ⁻¹	7 ч ⁻¹	8 ч ⁻¹	9 ч ⁻¹	10 ч ⁻¹
Балет	32,7	32,8	32,8	32,9	32,9	32,9	33,1	33,1	33,2	33,1
Витаминный	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,7	34,8	34,8	34,8	34,7
Меркурий	33,7	33,7	33,8	33,8	33,9	33,8	34	34	34,2	33,9

Уменьшение высоты розетки и диаметра с уменьшением частоты вращения ротора связано с пересушиванием субстрата и недостатком влаги для полноценного роста растения, однако увеличение частоты вращения свыше 9 об/ч также начинает оказывать негативное влияние.

Оптимальным значением частоты вращения с точки зрения размеров растения является 9 оборотов в час.

Таблица 21

Изменение длительности роста растения
до спелости

СОРТ САЛАТА	ДИАМЕТР РОЗЕТКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА									
	1 ч ⁻¹	2 ч ⁻¹	3 ч ⁻¹	4 ч ⁻¹	5 ч ⁻¹	6 ч ⁻¹	7 ч ⁻¹	8 ч ⁻¹	9 ч ⁻¹	10 ч ⁻¹
Балет	56	54	53	52	51	50	50	50	50	50
Витаминный	48	48	47	46	46	45	45	45	45	44
Меркурий	49	49	48	48	46	44	44	44	43	43

На скорость выхода растения к спелости значительное влияние оказывает частота вращения ротора, так как от этого зависят влажность и аэрация субстрата, определен для всех исследуемых сортов оптимальный диапазон применяемых частот вращения от 7 до 10 об/ч. Наиболее оптимальным с точки зрения скорости выращивания является 10 об/ч.

В результате экспериментально полученных данных наиболее эффективным режимом работы роторной гидропоники является режим при частоте вращения ротора 9 об/ч. При данной частоте вращения обеспечивается наиболее оптимальная влажность для салата, необходимый уровень аэрации.



Рис. 45. Пример роста растения внутри ротора

2.7. РАЗРАБОТКА ИТОГОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА РОТАЦИОННО-ГИДРОПОННОЙ УСТАНОВКИ

Итоговая конструкция экспериментального образца изображена на рис. 46. Внутреннее пространство машины является замкнутым, но на схеме представлено открытым для наглядности. Горшки с быстросъемным креплением установлены в ротор (А), вращаемый электроприводом вокруг лампы (Б). Снизу от ротора располагается ванна с питательным раствором (В), в которую при вращении погружается находящийся в горшках субстрат и прорастающие в нем корни растений. Ванна соединяется с раствором узлом (Г), из которого в нее поступает питательный раствор. Растворный узел представляет собой емкость, в которую поступает чистая вода из бака (Д) или из водопровода через фильтр, а также питательные элементы из соответствующих емкостей (Е). После поступления необходимого количества воды и питательных элементов установленные в растворном узле датчики производят замер характеристик полученного раствора и корректируют его при необходимости. Также в узле раствор доводится до оптимальной температуры, после чего начинает циркулировать между раствором узлом и ванной. Отработанный раствор и излишки жидкости сливаются в бак с отходами (Ж) или напрямую в канализацию в зависимости от комплектации. Температура и влажность внутреннего пространства также измеряются и поддерживаются в необходимых рамках за счет вентиляции, систем подогрева и охлаждения воздуха.

Управление машиной осуществляется посредством разработанного графического интерфейса, доступного рядовому пользователю. Гидропонный метод обеспечивает быстрый рост, но также и скорую потерю урожая при нарушении установленного процесса выращивания. Для предохранения от нештатных ситуаций и сбоев в работе программного обеспечения машина снабжена источником бесперебойного питания. При полном обесточивании ИБП сохранит вращение ротора и смачивание корней растений даже в случае прерывания всех остальных функций, что позволит сохранить урожай до восстановления электроснабжения. Уровень питательного раствора в ванне поддерживается на фиксированном уровне за счет конструктивных особенностей и также независим от электро- и водоснабжения.

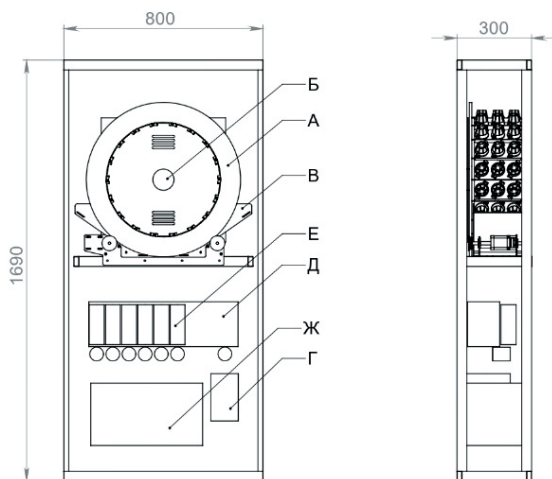


Рис. 46. Схема итоговой конструкции машины
 А – ротор, Б – лампа, В – ванна, Г – растворный узел, Д – бак с чистой водой, Е – емкости с удобрениями, Ж – бак с отходами

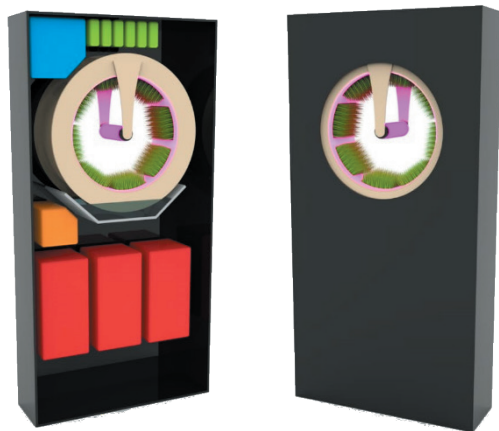


Рис. 47. 3D-модель итоговой конструкции машины



Рис. 48. Представление итоговой конструкции ротационно-гидропонной установки на международном форуме, проходящем в Уральском государственном аграрном университете в рамках научно-практической конференции «От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение АПК»

Глава 3

ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА И ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

.....

3.1. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ПРИЗНАКИ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

В наше время термин «цифровая экономика» стал предметом многочисленных бурных и разноплановых обсуждений в органах государственной власти, сообществе экспертов, в средствах массовой информации и в обществе в целом. Это произошло после того, как создатель и бессменный президент Всемирного экономического форума профессор Клаус Шваб в Давосе в 2016 году провозгласил приход четвертой промышленной революции как синтез технологий физического, цифрового и биологического миров, одним из продуктов которого является цифровая экономика [65; 66].

На сегодняшний день в мире нет единого трактования термина «цифровая экономика», однако существует множество определений, представленных различными авторами и организациями.

Так, в 2001 году американский статистик и экономист Томас Л. Мезенбург определил цифровую экономику как «имеющую три основных компонента» [67]:

- 1) инфраструктура электронного бизнеса – это доля всей экономической инфраструктуры, используемая для поддержки электронных бизнес-процессов и ведения электронной торговли;
- 2) электронный бизнес – это любой процесс, который деловая организация проводит через компьютерные сети;
- 3) электронная коммерция – это стоимость товаров и услуг, продаваемых через компьютерные сети.

В исследовании Карла Далмана, Сэма Мили и Мартина Вермелингера «Использование цифровой экономики для развивающихся стран»,

выполненного под руководством Организации экономического сотрудничества и развития, содержится следующее определение термина «цифровая экономика»:

«Цифровая экономика представляет собой объединение нескольких технологий общего назначения и ряда экономических и социальных мероприятий, осуществляемых людьми через интернет и связанные с ним технологии. Она включает в себя физическую инфраструктуру, на которой основаны цифровые технологии (широкополосные линии, маршрутизаторы), устройства, которые используются для доступа (компьютеры, смартфоны), приложения, которые они обеспечивают, и функциональные возможности, которые они предоставляют (интернет вещей, аналитика данных, облачные вычисления)» [68; 69].

Направления развития цифровой экономики достаточно подробно описаны Клаусом Швабом. По его мысли, «мы стоим у истоков четвертой промышленной революции. Она началась на рубеже нового тысячелетия и опирается на цифровую революцию. Ее основные черты – это вездесущий и мобильный интернет, миниатюрные производственные устройства (которые постоянно дешевеют), искусственный интеллект и обучающиеся машины» [66].

Эксперты Всемирного экономического форума в Давосе в 2015 году выделили 21 признак перехода к цифровой экономике, который ожидается до 2025 года [66]:

- 1) первый имплантируемый мобильный телефон, который поступит в массовую продажу;
- 2) не менее 80 % людей с цифровым присутствием в интернете;
- 3) более 10 % «умных» очков будут иметь подключение к интернету;
- 4) свыше 10 % людей будут носить одежду и аксессуары, которые будут подключены к интернету;
- 5) более 90 % населения планеты будут иметь регулярный доступ в интернет;
- 6) не менее 90 % людей будут использовать смартфоны;
- 7) около 90 % людей будут иметь возможность неограниченного и бесплатного облачного хранения данных;
- 8) более 1 трлн датчиков, которые будут подключены к интернету;
- 9) свыше 50 % поступающего в дом интернет-трафика будет приходиться на приборы и устройства;
- 10) появится первый город с населением более 50 000 человек, который будет обходиться без светофоров;

- 11) первое правительство, которое заменило перепись населения источниками больших данных;
- 12) беспилотные автомобили составят около 10 % от общего количества автомобилей на дорогах;
- 13) появление первого робота с развитым искусственным интеллектом в составе корпоративного совета директоров;
- 14) около 30 % аудитов будут проводиться непосредственно искусственным интеллектом;
- 15) появится первый робот-фармацевт;
- 16) не менее 10 % мирового валового продукта будет находиться на хранении с помощью технологии цепочки блоков (технологии блокчейн);
- 17) преобладание количества поездок (путешествий) на автомобилях совместного пользования над поездками на частных автомобилях;
- 18) правительство впервые начнет собирать налоги при помощи цепочки блоков (технологии блокчейн);
- 19) будет произведен первый автомобиль с помощью технологии 3D-печати;
- 20) будет осуществлена первая пересадка органа, созданного с помощью технологии 3D-печати;
- 21) не менее 5 % потребительских товаров будут созданы с применением технологии 3D-печати.

Признаки, сформулированные на Давосском форуме, носят рекомендательный характер для одних стран, корпораций и политических деятелей, для других же являются прямыми указаниями к действию в области цифровой экономики [74].

В 2011 году на выставке в Ганновере представители бизнеса, политики и науки Хеннинг Кагерманн, Вольф-Дитер Лукас и Вольфганг Вальстер представили новую инициативу, которая направлена на повышение глобальной конкурентоспособности экономики современной Германии. Данная инициатива получила название «Индустрия 4.0» [70].

Развитие индустрии 4.0 связывают с четвертой промышленной революцией, поскольку в современной Германии есть все условия и возможности для успешного перехода к индустрии 4.0.

Основные принципы «Индустрии 4.0» можно сформулировать следующим образом:

- 1) *функциональная совместимость*. Киберфизические системы, люди и «умные» производства должны обладать возможностью для общения посредством интернета вещей и интернет-услуг;

- 2) *виртуализация*. Для «умного» завода должна быть создана виртуальная копия посредством связывания данных, полученных от датчиков в ходе мониторинга физических процессов, с виртуальными имитационными моделями производства;
- 3) *децентрализация*. Киберфизические системы обязаны принимать собственные решения в рамках «умных» производств;
- 4) *функционирование в режиме реального времени*. Сбор и анализ данных происходят в режиме мониторинга, с мгновенной выдачей результатов;
- 5) *ориентация на услуги*. Киберфизические системы, люди и «умные» заводы должны иметь возможность оказывать услуги через Интернет;
- 6) *модульность*. Путем замены или расширения отдельных модулей обеспечивается необходимая гибкая адаптация «умных» заводов к изменяющимся требованиям.

Другим важным проектом является японская программа создания суперинтеллектуального общества «Общество 5.0». По задумке Кэйдан-рэн (Федерация экономических организаций Японии), «Общество 5.0» – это социально-экономическая и культурная система, которая основана на передовых цифровых технологиях, и которая обеспечивает развитие науки и технологий на благо каждого члена общества [71].

Стратегия «Общество 5.0» дополняет концепцию «Индустрии 4.0». Она не ограничивается только производственным сектором, а также позволяет решать социальные проблемы с помощью интеграции физического и киберпространств.

У японских компаний уже есть примеры технологических решений, которые направлены на воплощение в жизнь стратегии «Общество 5.0», относящиеся к совершенно разным отраслям. Так, Mitsubishi Electric продвигает платформу промышленной автоматизации e-F@ctory, которая позволяет создавать «умные» производства [72]. e-F@ctory предоставляет гибкую основу, учитывающую специфические потребности отдельных предприятий и поддерживает их благодаря высокоскоростным коммуникациям, надежным данным и точному управлению, используя адаптированные, надежные и проверенные технологии.

По задумке Fujitsu, организации должны определять различные условия на рабочих местах и различные риски, которым подвергаются ее сотрудники. В рамках совместных проектов Fujitsu была разработана платформа, ориентированная на обеспечение лучшей видимости бла-

гополучия работника в опасных ситуациях и в удаленных местах. Эти сценарии рассматривали перенапряжение на рабочем месте, тепловые удары и падения.

Однако для развития цифровой экономики необходимо преодолеть так называемые пять стен. Изменить уровень мышления можно только тогда, когда концепцию «Общества 5.0» примут все участники общественных и экономических отношений.

Первая из этих стен – стена министерств и ведомств. Для того чтобы двигаться вперед, нужны четкая национальная стратегия и поддержка инициатив государством вплоть до создания новых органов власти.

Вторая стена – законодательная система. На примере многих стран видно, как прогресс буксует, упираясь в устаревшие законодательные нормы.

Третья стена – технологии. Необходимо сформировать базы знаний для того, чтобы каждый мог воспользоваться преимуществами цифровой экономики.

Четвертая стена – человеческие ресурсы. Существует необходимость объяснять людям, как работает цифровая экономика, и проводить обучение, чтобы они были готовы творить.

И, наконец, пятая стена – это принятие обществом. Общество должно принять цифровую экономику, для того чтобы она смогла дальше развиваться и распространяться.

Если эти пять стен удастся преодолеть, то «Общества 5.0» сможет потреблять не только Япония, но и весь остальной мир. Ведь цифровая экономика во многом стирает физические границы.

Президент России В. В. Путин в послании Федеральному собранию 2016 года предложил: «Запустить масштабную системную программу развития экономики нового технологического поколения – цифровой экономики. В ее реализации... опираться на российские компании, научно-исследовательские и инжиниринговые центры страны. Это вопрос национальной безопасности, технологической независимости России, нашего общего будущего... Нужно также учитывать, что в цифровых технологиях кроются и риски. Необходимо укреплять защиту от киберугроз, должна быть значительно повышена устойчивость всех элементов инфраструктуры, финансовой системы, системы госуправления».

В российской программе развития цифровой экономики планируется использовать новые технологии, в том числе блокчейн, на пяти базовых направлениях:

- 1) нормативное регулирование;

- 2) кадры и образование;
- 3) формирование исследовательских компетенций и технических заделов;
- 4) информационная инфраструктура;
- 5) информационная безопасность.

В соответствии с предложением Президента России В. В. Путина была создана и утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации».

Целями данной программы являются:

- создание экосистемы цифровой экономики РФ, где ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности являются цифровые данные, а также обеспечение эффективного взаимодействия на всех уровнях, включая трансграничное, бизнеса, научно-образовательного сообщества, государства и граждан;
- создание необходимых и достаточных условий институционального и инфраструктурного характера, устранение имеющихся препятствий и ограничений для создания и развития высокотехнологических бизнесов и исключение появления новых препятствий и ограничений как в традиционных отраслях экономики, так и в новых отраслях и высокотехнологичных рынках;
- повышение конкурентоспособности на глобальном рынке как отдельных отраслей экономики, так и экономики страны в целом.

Цифровая экономика представлена тремя следующими уровнями, которые в своем тесном взаимодействии влияют на жизнь граждан и общества в целом:

- 6) рынки и отрасли экономики (сферы деятельности), в которых осуществляется взаимодействие конкретных субъектов (поставщиков и потребителей товаров, работ и услуг);
- 7) платформы и технологии, которые позволяют сформировать компетенции для развития рынков и отраслей экономики (сфер деятельности);
- 8) среда, создающая необходимые условия для развития платформ и технологий и для эффективного взаимодействия субъектов рынков и отраслей экономики (сфер деятельности) и охватывающая нормативное регулирование, информационную инфраструктуру, кадры и информационную безопасность.

Для того чтобы эффективно развить рынки и отрасли (сферы деятельности) в цифровой экономике, необходимо наличие развитых платформ, технологий, институциональной и инфраструктурной сред.

Именно поэтому программа должна быть сфокусирована на следующих базовых направлениях:

- развитие ключевых институтов, где могут быть созданы различные условия для развития цифровой экономики (нормативное регулирование, кадры и образование, формирование исследовательских компетенций и технологических заделов);
- создание основных инфраструктурных элементов цифровой экономики (информационная инфраструктура, информационная безопасность).

При этом каждое из этих направлений должно учитывать как поддержку развития уже существующих условий для возникновения прорывных и перспективных сквозных цифровых платформ и технологий, так и создание условий для возникновения новых платформ и технологий.

Основными сквозными цифровыми технологиями, которые входят в рамки программы, являются:

- большие данные;
- нейротехнологии и искусственный интеллект;
- системы распределенного реестра;
- квантовые технологии;
- новые производственные технологии;
- промышленный интернет;
- компоненты робототехники и сенсорики;
- технологии беспроводной связи;
- технологии виртуальной и дополненной реальности.

Предусматривается изменение перечня цифровых технологий по мере необходимости вследствие их появления и развития новых технологий.

Для реализации других отдельных направлений по отраслям экономики (сферам деятельности), в частности в сфере здравоохранения, создания «умных городов» и государственного управления, включая контрольно-надзорную деятельность, программа может быть дополнена соответствующими разделами. Также предусматривается разработка и реализация соответствующих планов мероприятий («дорожных карт»), которые будут сформированы в рамках системы управления реализацией программы.

Реализация программы требует тесного взаимодействия государства, бизнеса и науки, так как основным результатом ее реализации должно стать создание не менее 10 национальных компаний-лидеров – высокотехнологических предприятий, развивающих сквозные технологии и управляющих цифровыми платформами, которые работают на глобальном рынке и формируют вокруг себя систему стартапов, исследовательских коллективов и отраслевых предприятий, обеспечивающих развитие цифровой экономики.

В Указе Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» содержится официальное государственное определение термина «цифровая экономика»:

«Цифровая экономика – хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг».

На Петербургском международном экономическом форуме в июне 2017 г. Президент РФ В. В. Путин озвучил один из главных стратегических аспектов развития России: развитие цифрового экономического пространства, или, другими словами, активное внедрение цифровых технологий во все сферы жизни. Такой подход предполагает использование достижений информационных и коммуникационных технологий на всех стадиях жизненного цикла продукции от ее проектирования до реализации и технического обслуживания наряду с быстрым и качественным предоставлением разного рода услуг.

3.2. РОЛЬ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Моментом начала современной информационно-цифровой революции следует считать появление электронно-вычислительных машин, которые без участия человека совершают операции с числами, получая, преобразовывая и передавая информацию. Хотя человек задает им программу и ставит задачи, ЭВМ самостоятельно оперируют с цифрами, генерируя, накапливая и передавая новую информацию. В том числе такую, которую ни человек, ни человечество в целом сами, без ЭВМ, получить бы не смогли. В этом их принципиальное отличие от машин с автоматическим управлением.

С появлением систем искусственного интеллекта все большие классы задач ЭВМ ставят и решают самостоятельно, без участия человека. Как ребенок, овладевший грамотой, в дальнейшем умеет самостоятельно читать и писать, так и современные ЭВМ могут считывать, генерировать и передавать цифровую информацию как человеку, так и себе подобным. Для общения с первым они умеют преобразовывать «цифру» в звуки, слова и символы, сообщая и принимая информацию от человека. Общение с себе подобными идет между ЭВМ на цифровом языке без участия человека, запрограммировавшего компьютерную систему на выполнение тех или иных функций или решение определенных задач. В интернете вещей или «умном» доме ЭВМ самостоятельно выполняют все большие классы задач, ранее решавшиеся человеком. Причем выполняют их более быстро, четко и качественно. Первые ламповые ЭВМ, появившиеся в середине прошлого века, занимали огромные площади, потребляли много энергии, требовали большого количества людей для их обслуживания. Тогда никто не догадывался, что сфера их применения вскоре станет бесконечной, а число применений – необозримым. Самые смелые научно-технические прогнозы ограничивали применение ЭВМ сотнями штук в сферах, требовавших проведения больших трудоемких вычислений: в банковском и военном деле, научных исследованиях, государственном управлении. Сегодня вычислительная мощность, требовавшая немногим более полувека назад пятиэтажного здания, десятка сотрудников и трансформатора, помещается в кармане у ребенка и доступна в форме мобильного телефона каждой семье. Повсеместное применение компьютерных систем в производственной, бытовой, социальной и управленческой сферах породило модную сегодня тему цифровой революции.

К настоящему времени информационно-цифровая революция охватила практически все виды деятельности и вовлекла в свою орбиту большую часть человечества. С момента появления первых ЭВМ она прошла три больших этапа. За это время в мировом технико-экономическом развитии сменилось два технологических уклада.

Технологические уклады – это группы технологических совокупностей, выделяемые в технологической структуре экономики, связанные друг с другом однотипными технологическими цепями и образующие воспроизводящиеся целостности. Каждый такой уклад представляет собой целостное и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется полный макропроизводственный цикл, включающий добычу и получение первичных ресурсов, все стадии их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления.

Каждый новый технологический уклад в своем развитии поначалу использует сложившуюся транспортную инфраструктуру и энергоносители, чем стимулирует их дальнейшее расширение; при этом фаза его быстрого роста сопровождается циклическим увеличением производства и потребления ВВП, а также его энергоемкости по сравнению с долгосрочным трендом. По мере развития очередного технологического уклада создается новый вид инфраструктуры, преодолевающий ограничения предыдущего, а также осуществляется переход на новые виды энергоносителей, которые закладывают ресурсную основу для становления следующего технологического уклада.

Смена технологических укладов в ходе современного экономического развития с указанием их ключевых технологий преобразования энергии в работу показана на рис. 49.

Первый технологический уклад (1770–1830 гг.)

Основной ресурс – энергия воды.

Главная отрасль – текстильная промышленность.

Ключевой фактор – текстильные машины.

Достижение уклада – механизация фабричного производства.

Элементы стандартизации способствовали механизации и концентрации производства на фабрике.

Второй технологический уклад (1830–1880 гг.)

Основной ресурс – энергия пара, уголь.

Главная отрасль – транспорт, черная металлургия.

Ключевой фактор – паровой двигатель, паровые приводы станков.

Достижение уклада – рост масштабов производства, развитие транспорта.

Гуманитарное преимущество – постепенное освобождение человека от тяжелого ручного труда.

Элементы стандартизации способствовали росту масштабов производства.

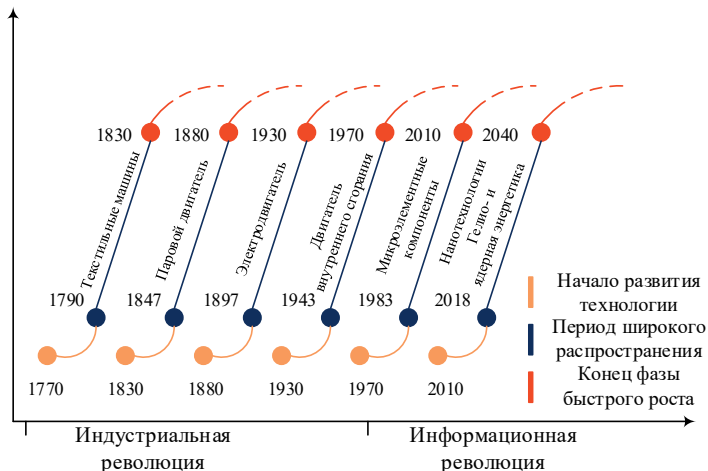


Рис. 49. Смена технологических укладов в ходе современного экономического развития с указанием их ключевых технологий преобразования энергии в работу

Третий технологический уклад (1880–1930 гг.)

Основной ресурс – электрическая энергия.

Главная отрасль – тяжелое машиностроение, электротехническая промышленность.

Ключевой фактор – электродвигатель.

Достижение уклада – концентрация банковского и финансового капитала; появление радиосвязи, телеграфа; стандартизация производства.

Гуманитарное преимущество – повышение качества жизни.

Появляются первые системы стандартизации.

Появляются стандарты на метрическую резьбу, сортамент проката черных металлов.

Четвертый технологический уклад (1930–1970 гг.)

Основной ресурс – энергия углеводородов, начало ядерной энергетики. Атом используется в военных, а затем и в мирных целях.

Основные отрасли – автомобилестроение, цветная металлургия, нефтепереработка, синтетические полимерные материалы, появление конвейерного производства.

Ключевой фактор – двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия.

Достижение уклада – массовое и серийное производство.

Гуманитарное преимущество – развитие связи, транснациональных отношений, рост производства продуктов народного потребления.

В этот период появляются международные системы стандартизации.

1947 г. – создание Международной организации по стандартизации.

Проникновение стандартизации во все отрасли экономики. Существенный вклад внесла стандартизация в победу СССР во Второй мировой войне и развитие военно-промышленного комплекса. Стандартизация в этот период способствовала организации массового и серийного производства изделий приемлемого качества.

Пятый технологический уклад (1970–2010 гг.)

Основной ресурс – атомная энергетика.

Основные отрасли – электроника и микроэлектроника, информационные технологии, геномная инженерия, программное обеспечение, телекоммуникации, освоение космического пространства.

Ключевой фактор – микроэлектронные компоненты.

Достижение уклада – индивидуализация производства и потребления.

Гуманитарное преимущество – глобализация, скорость связи и перемещения.

Стандартизация стала активно использоваться для решения социальных проблем, обеспечения устойчивого развития, сохранения природных ресурсов.

Шестой технологический уклад (2010–2040 гг.)

Основные отрасли – нанотехнологии и биотехнологии, наноэнергетика, молекулярная, клеточная и ядерная технологии, биомиметика, нанобионика, нанотроника, а также другие наноразмерные производства; производство новых лекарств, бытовой техники, новых видов транспор-

та и коммуникаций; использование стволовых клеток, инженерия живых тканей и органов, восстановительная хирургия и медицина.

Ключевой фактор – микроэлектронные компоненты.

Достижение уклада – индивидуализация производства и потребления, резкое снижение энергоемкости и материалоемкости производства, конструирование материалов и организмов с заранее заданными свойствами.

Гуманитарное преимущество нового уклада – существенное увеличение продолжительности жизни человека и животных.

3.3. НЕОБХОДИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Стандартизация как один из важнейших инфраструктурных элементов экономики, который прежде всего обеспечивает ее конкурентоспособность и безопасность, должна соответствовать современным требованиям перехода в цифровое пространство. Отвечает ли современное состояние стандартизации задачам цифровой экономики? Какие изменения должны произойти в стандартизации, для того чтобы она соответствовала нынешнему этапу развития общества?

Следует отметить, что стандартизация в своем развитии прошла несколько этапов, каждый из которых отражает происходящие изменения технологического уклада. В начале своего развития стандартизация отвечала только на вызовы в области массового промышленного производства, стандарты чаще носили обязательный характер, и обычно их действие ограничивалось национальными границами. Разумеется, стандарты излагались на бумажном носителе в рамках строго установленных форматов.

С укреплением и углублением международных экономических связей, формированием новых отраслей экономики стандарты стали разрабатываться в новых областях экономики, их действие стало больше распространяться на процессы и услуги. Соответственно, значительно увеличился фонд стандартов, появились новые виды документов по стандартизации, наконец, широкое распространение получили международные стандарты, ставшие ориентиром по содержанию и форме для национальных разработчиков стандартов.

В дальнейшем из-за постоянного усиления влияния технических процессов на социально-экономические отношения в обществе стандарты начинают встраивать в систему технического законодательства, появляются технические регламенты, закрепляется преимущественно добровольный статус стандартов в ведущих странах мира, продолжается расширение области применения стандартов, увеличивается многообразие документов, признаваемых в качестве стандартов, начинается активное применение информационных технологий при разработке и распространении стандартов.

Продолжающееся изменение уклада в наши дни, основанное на массовом применении цифровых технологий во всех областях социально-

экономической жизни, требует адекватного ответа от стандартизации как на национальном уровне, так и на корпоративном.

Именно поэтому нынешняя стандартизация должна постепенно преобразоваться в так называемую цифровую стандартизацию. Сами же стандарты должны изменить свою форму, стать более гибкими в плане изменения и охватывать более широкие области.

Создание и развитие цифрового пространства предполагают полную цифровизацию информации, сопровождающую и продукцию, и услуги с момента их появления. Данный тезис относится ко всем типам документов, в том числе и к огромному количеству нормативных документов: стандартов разного уровня, правил, рекомендаций, инструкций, которые в большом количестве имеются на каждом предприятии.

Возникают закономерные вопросы: каким должен быть стандарт в условиях цифровой экономики? Каковы требования к форме, составу и содержанию документов по стандартизации в новых условиях? Вообще каковы требования цифровой экономики к цифровой стандартизации?

По мнению специалистов, качественный переход от традиционной формы стандарта к инновационной произойдет не одновременно, но начало должно быть положено, и поэтапные системные изменения постепенно должны перевернуть устоявшийся уклад [74].

Для определения направлений совершенствования любой системы необходимо определить фактическое состояние действующей системы. На сегодняшний день специалисты определяют три основные группы проблем, которые необходимо решать для совершенствования системы стандартизации (рис. 50, а):

- о1 – общесистемные проблемы, межотраслевая стандартизация;
- о2 – недостатки планирования, разработка текущих и перспективных программ;
- о3 – организация работы технических комитетов

По первой группе выделены 4 направления работы для решения проблем:

- 1.1 – повышение роли национального органа по стандартизации;
 - 1.2 – разработка научных основ для оценки эффективности стандартизации;
 - 1.3 – выделение важных приоритетных направлений в стандартизации;
 - 1.4 – совершенствование кадрового потенциала стандартизации
- (рис. 50, б).

По второй группе необходимо:

2.1. – совершенствование работы по разработке программ стандартизации;

2.2 – мониторинг выполнения программ стандартизации;

2.3 – совершенствование работ по комплексной и опережающей стандартизации (рис. 50, в).

По третьей группе выделены следующие направления:

3.1 – организация работы технических комитетов;

3.2 – критерии компетентности членов технических комитетов;

3.3 – совершенствование процедуры принятия национального стандарта;

3.4 – проблемы взаимодействия всех участников работ по стандартизации (рис. 50, г).

Представленный на рис. 50 граф проблем демонстрирует общность и глубину необходимых преобразований в национальной системе стандартизации.

Глобальные изменения роли и места стандартов в условиях цифровой экономики проявляются по меньшей мере в четырех аспектах.

Прежде всего, отныне стандарт должен быть представлен преимущественно в цифровой форме (причем как на машиночитаемых языках, так и на языках, понятных человеку). Стандарт становится неотъемлемым составным элементом для любого производственного процесса. Будучи изложенными в цифровой форме, требования стандартов должны автоматически становиться исходными данными для проектной или конструкторской документации, а затем автоматически транслироваться в технологические, эксплуатационные, сервисные документы.

Стандарт становится основным временным или постоянным инструментом регулирования в условиях стремительного появления новых областей экономической деятельности и быстро меняющихся «старых» отраслей экономики. Законодательство не успевает даже сегодня и непременно будет отставать в условиях стремительных изменений и усложнения социальной жизни.

Быстрые темпы изменения и усложнения социально-экономических отношений требуют новых инструментов правового регулирования, которые только начинают формироваться («мягкое право») и для которых могут быть применены нормы, содержащиеся в стандартах (текущий уровень состояния науки и техники).

Наконец, стандарт становится важнейшей составной частью глобального информационного социально-экономического контента. Фонд стандартов – это источник огромного массива наиболее проверенных и заслуживающих доверия данных, организующих и обеспечивающих функционирование экономики, своего рода всемирная технологическая энциклопедия. При этом должны существенно увеличиться размер фонда и темпы его обновления, принципиально должны измениться содержание и качество документов.

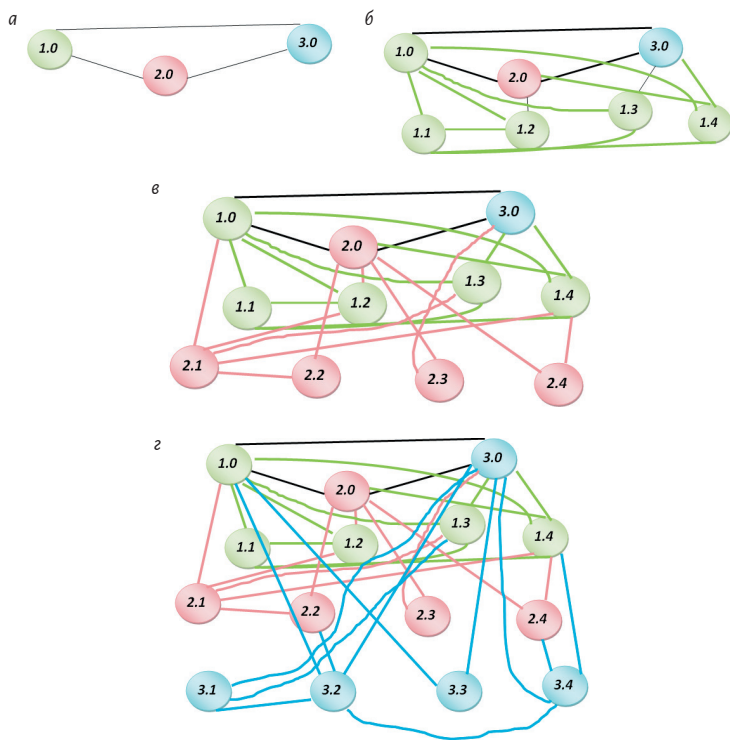


Рис. 50. Граф проблем национальной системы стандартизации:
а – основные группы проблем; б – по группе 01; в – по группам 01 и 02;
г – по группам 01, 02 и 03

Как сделать первые шаги для создания цифровых документов по стандартизации в условиях конкретного небольшого предприятия?

В настоящее время имеется весьма общие представления о видении проблемы цифровой стандартизации, высказанные рядом российских специалистов: А. Зажигалкина, В. Пугачева и А. Петросяна [73].

Этап цифровизации – это подготовительный этап к созданию цифровой экономики. Вопросы цифровизации всех видов деятельности становятся важнейшими в современных условиях. По данным немецких специалистов, по состоянию на 2017 г. объемы инвестиций в создание и внедрение цифровых технологий наиболее значительные именно в Западной Европе [72]. Поскольку действующая в РФ система технического регулирования, создаваемая с начала 2000-х, гармонизирована именно с европейской моделью технического регулирования, то европейский опыт может быть наиболее интересен для России.

3.4. ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ

Для того чтобы начать какие-то работы по цифровизации системы стандартов, по мнению авторов, необходимо предпринять следующие шаги:

- провести ревизию актуальности всех действующих документов;
- проанализировать и переработать структуру имеющихся документов;
- выявить главные объекты стандартизации;
- предусмотреть возможные причины изменения информации, представленной в стандартах, и возможные реакции на эти изменения.

Предмет теории стандартизации составляют закономерности, принципы, методы и формы достижения оптимальной степени упорядоченности посредством широкого и многогранного использования установленных положений, требований и норм для решения реально существующих, планируемых или латентных экономических и социальных задач. Объект исследований в стандартизации – повторяющиеся процессы научной, производственной и социальной деятельности. К законам теории стандартизации относят следующие:

- 1) *закон композиции*, предполагающий разработку системы целей и их структуризацию с помощью системного, функционального и структурного подходов;
- 2) *закон упорядоченности*, отражающий наличие определенным образом установленных взаимосвязей;
- 3) *закон анализа и синтеза*: анализ сосредотачивается на структуре и показывает, как работают части целого, а синтез акцентирует внимание на функциях и объясняет действие компонентов;
- 4) *закон синергии*, проявляющийся в том, что сумма свойств системы выше, чем сумма свойств ее компонентов.

С точки зрения рассмотрения вопросов цифровизации стандартов организации в конкретных условиях деятельности выбранного предприятия основное внимание целесообразно сосредоточить на анализе и синтезе части целого и роли компонентов.

Анализ структуры имеющейся системы стандартизации на предприятии дал следующие результаты.

В действующей корпоративной системе насчитывается 75 стандартов, которые разделены на 19 групп. Объекты стандартизации в каждой

группе, по всей видимости, распределены исторически по мере формирования и появления новых стандартов, которые тем или иным образом присоединялись к ранее действующим. Некоторые группы стандартов содержат по одному или по два стандарта, которые не являются самостоятельными объектами. В результате получилась разнообразная смесь объектов, где зачастую присутствуют требования к продукции и разным процессам одновременно. В таблице 22 представлено краткое описание действующей структуры системы стандартов предприятия.

Таблица 22

Действующая структура стандартизации предприятия

ОБОЗНАЧЕНИЕ ГРУППЫ СТАНДАРТОВ	ОБЪЕКТЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ГРУППЕ	КОЛИЧЕСТВО СТАНДАРТОВ
1	Система менеджмента качества (СМК)	4
2	Документы общего характера	6
3	Подготовка НИР	1
5	Конструкторские решения, специальная техника, документы конструкторские	6
6	Закупки (СМК)	1
9	Технологический процесс, оборудование, управление процессами (СМК)	10
10	Специальная техника, оборудование, контроль продукции	3
11	Метрологический контроль	6
13	Несоответствующая продукция (СМК)	1
14	Корректирующие и предупреждающие действия (СМК)	2
15	Материалы	13
16	Записи (СМК)	1
17	Аудиты (СМК)	2
18	Кадры	3
19	Здание	1
21	Охрана труда и пожарная безопасность	3
22	Технологический процесс, экологический мониторинг (СМК)	3
23	Технологический процесс	7
24	Документированная процедура (СМК), посетители	2

В измененной структуре корпоративной системы стандартов принята попытка сформировать имеющиеся действующие стандарты по объектам стандартизации более четко, разделяя их на продукцию и процессы отдельно. В результате из 75 действующих стандартов сформировано 11 групп, краткое описание которых приведено в таблице 23.

Таблица 23

Измененная структура системы стандартизации
на предприятии

Обозначение группы	Объекты стандартизации в группе	Количество стандартов
A	СМК	16
B	Специальная техника	3
C	Документы	5
D	Здания, строения	4
E	Документы конструкторские	4
F	Технологический процесс	16
G	Метрологический контроль	6
H	Материалы	15
I	Кадры	3
J	Охрана труда и пожарная безопасность	3
K	Посетители	1

Предложенные изменения в структуре в первую очередь связаны с формированием типа структуры, ориентированной на продукцию или процессы отдельно. В результате изменений в структуре мы получаем значительно меньшее количество групп стандартов (количество групп уменьшилось более чем на 40 %: было 19 групп, стало 11).

На рис. 51 приведено соотношение количества стандартов по группам, выделенным в действующей и измененной структурах корпоративной системы стандартов предприятия. Измененная структура становится более цельной, с выраженными базовыми группами: А (СМК), F (технологический процесс) и H (материалы). Измененная структура корпоративной системы стандартизации предприятия формирует группы стандартов, которые имеют общую информацию в разделе стандарта «нормативные документы». Данное положение проиллюстрировано на примере группы 2 действующей корпоративной системы стандартов и группы С изме-

ненной корпоративной структуры предприятия, с близкими объектами стандартизации.

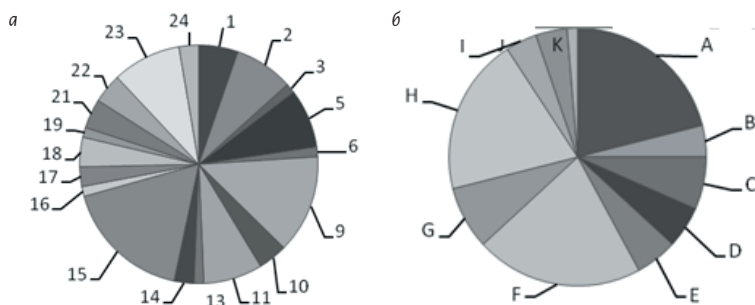


Рис. 51. Соотношение количества стандартов предприятия в группах:
 а – действующей структуры корпоративной системы стандартов предприятия; б – измененной структуры корпоративной системы стандартов предприятия

Предложенное изменение должно облегчить процедуру актуализации информации стандартов в случае изменения национальных стандартов или других документов из раздела «нормативные документы». На рис. 52 представлены виды нормативных документов для группы 2 действующей структуры, а на рис. 53 – из группы С измененной структуры корпоративной системы стандартов предприятия.

Причин изменения содержания стандартов предприятия несколько:

- изменение информации в разделе стандарта «нормативные документы»;
- изменение организационной структуры предприятия;
- устранение выявленных несоответствий;
- истечение срока действия стандарта.

Из всех возможных причин актуализации системы стандартов предприятия внешней и наиболее проблемной является первая, которая в измененной структуре корпоративной системы стандартизации реализуется значительно легче. В группе С измененной корпоративной структуры системы стандартов предприятия количество документов, от которых может измениться содержания стандарта, существенно меньше по сравнению с действующей структурой: всего 5 стандартов против 12 в действующей структуре. Управление содержанием стандартов в измененной структуре в зависимости от документов национальной

системы стандартизации или других видов нормативных документов значительно упрощается, количество возможных изменений сокращается на 65 %, и это можно считать хорошим результатом.



Рис. 52. Исходная информация, определяющая содержание стандартов организации группы 2 действующей структуры

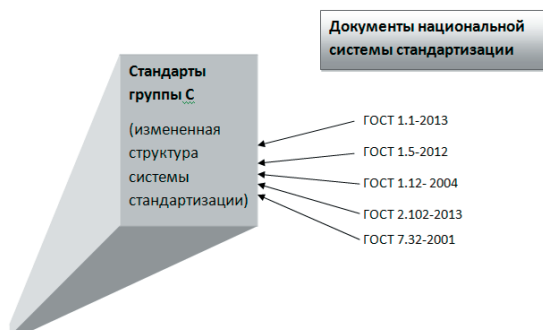


Рис. 53. Исходная информация, определяющая содержание стандартов организации группы С измененной структуры

Создание цифровой экономики и внедрение цифровых технологий требует цифровизации нормативной информации на всех уровнях управления.

С точки зрения корпоративной системы стандартов важно выработать структуру, имеющую четкое разделение объектов стандартизации на продукцию и отдельно на процессы.

3.5. ФОРМИРОВАНИЕ СВЕДЕНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Создание и развитие цифрового пространства предполагает полную цифровизацию информации, которая сопровождает продукцию на всех стадиях жизненного цикла. Этап цифровизации предшествует цифровой экономике и является стартом для необходимых преобразований [70]. Цифровая экономика есть результат трансформационных эффектов новых технологий общего назначения в области информации и коммуникационных технологий, а реализация цифровой экономики возможна только при глубокой интеграции информационно-телекоммуникационных технологий с реальными процессами экономики той или иной страны при соблюдении глобальных норм, правил и стандартов. Если перевести данное высказывание с уровня макроэкономики на уровень микроэкономики и конкретного предприятия, то получится следующее: встраивание в цифровую экономику отдельного конкретного предприятия возможно только в случае глубокой интеграции информационно-коммуникационных технологий в конкретные технологические процессы с соблюдением требований нормативных документов, действующих на данном предприятии.

Необходимость перехода к цифровой экономике в России в настоящее время во многом осознана, но остается главный вопрос, который касается всех уровней взаимодействия участников экономических процессов и в частности стадии производства: с чего начинать? Причем проблемы неопределенности вступления на путь цифровизации, на наш взгляд, в большей степени касаются конкретного предприятия, конкретного технологического процесса.

Опыт отдельных российских производителей приобрести на рынке некоторый программный продукт, пройти обучение и начать его использовать на своем предприятии оказался отрицательным. Все ведущие мировые исследователи рисков единодушно считают внедрение готовых решений, касающихся информационно-технологического сопровождения различных процессов, самым рискованным из всех. Информационно-технологическое сопровождение необходимо разрабатывать для тех отраслей, где их планируют применять. Попытки внедрения информационно-технологического сопровождения, просто повторяя в цифровой

среде текущие бизнес-процессы, приносят компаниям только затраты, а не экономические выгоды [75]. Поэтому каждому предприятию придется пройти свой путь на этапе цифровизации.

Бесспорно пока одно: для успешного старта и вообще какого-либо старта все должно быть в «цифре»: исходные требования к продукции, процессам и персоналу, а также вся сопровождающая документация. Другими словами, необходимо сформировать полную, современную и обновленную библиотеку требований, а затем установить связи между этими требованиями, способы мониторинга за ними, при необходимости способы эффективного вмешательства, а также оперативного обновления и модернизации этих требований.

На предприятии, занимающемся производством изотопов, был разработан новый технологический процесс производства компонента препарата (изотопа), используемого в лучевой терапии животных. Лучевая терапия злокачественных опухолей применяется в гуманной медицине более 100 лет. За это время данный метод лечения завоевал достойное место в противоопухолевой терапии наряду с хирургическим удалением опухоли и химиотерапией. Лучевая терапия применяется как самостоятельный метод, а также как компонент комплексного лечения онкологических заболеваний. В ветеринарии использование радиоактивных изотопов и ионизирующих излучений, являясь принципиально новым методом, открывает большие возможности в изучении жизненных процессов, патогенеза заболеваний, диагностике и терапии животных.

Для контроля и документирования всех этапов производства разработана информационная система регистрации параметров технологического процесса, документирования и сопровождения жизненного цикла.

Для осуществления технологического процесса и обеспечения работы данной информационной системы необходимо предоставление актуальной нормативной документации, что представляет самостоятельную и довольно сложную задачу.

На первой стадии подготовки информации задание формулируется следующим образом: информация должна быть необходимая и достаточная. Далее наступает наиболее сложный этап: выявление структуры и вида информации.

Одним из методов, используемых немецкими специалистами в области цифрового управления, является метод общей матрицы [76].

Матрица в общем виде представляет собой прямоугольную таблицу каких-либо чисел или элементов, которые определяются большим

числом одновременно и совокупно действующих факторов. В качестве элементов матрицы могут выступать требования конкретного технологического процесса, используемого для изготовления специального устройства. Известно использование матрицы в общем виде для прогнозирования экономических явлений, когда решается задача исследования зависимости одной переменной от нескольких объясняющих переменных с помощью множественного регрессионного анализа [77]. Именно для включения в регрессионную модель новых объясняющих переменных целесообразно использовать матричное обозначение.

Метод прямой матрицы в общем случае учитывает технические параметры рассматриваемой системы и оценивает те аспекты, которые определяют результативное функционирование системы, а также определяет точки оценки соответствия.

Любая техническая система представляет собой группу взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, объединенных общей целью и рассматриваемых в определенном контексте как единое целое. Элементы, образующие систему, могут быть как физическими объектами, так и виртуальными. Элементы системы могут быть привязаны к какой-то физической локации или быть рассеянными в пространстве, многие элементы необходимо периодически ремонтировать, заменять или обновлять. Кроме того, многие из элементов системы получают информацию, обмениваются информацией и могут быть подключены к сети Интернет. Эффективно действующая техническая система постоянно претерпевает определенную модернизацию, причем вмешательства в систему могут быть автоматическими, виртуальными или иметь человеческую природу. В этом случае матричная структура исходной информации позволяет подготовить комплексную информацию для последующего анализа.

Какого рода информация требуется в подобных случаях, хорошо описывает модель общей матрицы, представленная на рис. 54. Модель общей матрицы формирует регрессионную модель, представляющую собой функцию независимой переменной и параметров с добавлением случайной переменной [78].

Горизонтальные оси – три базовых элемента системы и одновременно три базовых компонента для оценки соответствия: продукция, компетенция персонала, процессы. Вертикальные оси – компоненты взаимосвязи и вмешательства. Точки пересечения вертикальных и горизонтальных осей – это точки, где необходима оценка соответствия.

Использование модели общей матрицы в таких условиях позволит выявить:

- отсутствующие требования к продукции, процессам и компетенции персонала;
- отсутствие формализованных видов документов, сопровождающих процесс изготовления продукции и подготавливающих сопроводительную документацию для уже готовой продукции, которые формируют цифровую модель изделия и которые могут быть использованы для электронных документов изделия.

Для конкретного процесса изготовления оригинального устройства по заявке потребителя в условиях предприятия необходимо построить алгоритмы процесса, характеризующие его дискретно, определенно, результативно и массово с перспективой применения этих алгоритмов к целому классу задач.

	Элементы системной модели	Компоненты соответствия		
		Продукция	Компетенции персонала	Процессы
Системная модель	Комплектующие продукции			
	Продукция А, В, С	●		
	Разработка продукции		●	●
	Производство продукции и др.		●	●
	Взаимосвязь			
	Проектирование системной взаимосвязи	●	●	●
	Внедрение/реализация системной взаимосвязи и др.		●	●
	Вмешательство			
	Действия владельца процесса		●	●
	Модернизация системы / управление обновлениями		●	●
	Поставщики и сфера услуг и др.		●	●

Рис. 54. Модель общей матрицы

Затем произвести анализ полученной информации, что означает непрерывный, циклический процесс, который начинается с определения информационных потребностей людей, ответственных за принятие решений, и заканчивается предоставлением того объема информации, который соответствует этим потребностям. Такой анализ позволит достичь поставленной цели на первом этапе, а именно выявить отсутствую-

ющие требования к каждому компоненту оценки соответствия, а также недостающие формализованные формы документов, с помощью которых возможен обмен информацией, управление процессами и формирование цифровой готовой продукции.

Для того чтобы несколько упростить модель прямой матрицы, рассмотрим ее только на стадии производства и пока исключим стадии разработки продукции, модернизацию системы управления, управление обновлениями, а также взаимосвязь производства и проектирование. В таком случае получаем упрощенный вариант модели общей матрицы, представленный на рис. 55.

Комплектующие продукции

Продукция А, В, С

Разработка продукции

Производство продукции
и др.

Взаимосвязь

Проектирование системной
взаимосвязи

Внедрение/реализация
системной взаимосвязи и др.

Вмешательство

Действия владельца процесса

Модернизация системы /

управление обновлениями

Поставщики и сфера услуг и др.

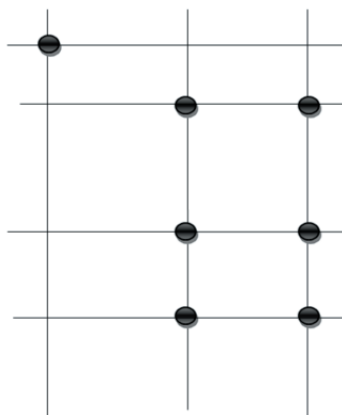


Рис. 55. Упрощенная модель общей матрицы

Упрощенная модель общей матрицы позволяет выделить необходимые информационные сведения для осуществления технологического процесса. Данные сведения объединяются и формируют определенную архитектурную форму, содержащую скрепляющие конструкции фрагменты: исходные материалы, контроль качества, персонал и др. (рис. 56).

Нормативная документация, определяющая требования для фрагментов, определяющих архитектурную форму системы, включает в первую очередь ГОСТ Р 52249-2009 «Правила производства и контроля качества лекарственных средств».

Данный стандарт является идентичным переводом правил GMP Европейского союза (GMP EC) Good Manufacturing Practice for Medicinal Products for Human and Veterinary Use. Помимо данного стандарта, не-

обходимы сведения из различного рода нормативных документов, действующих на предприятии.

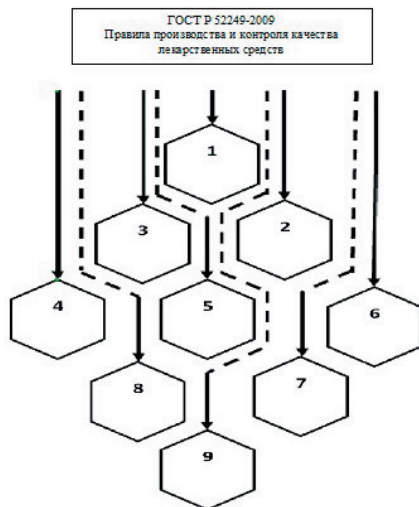


Рис. 56. Архитектура информационной системы с указанием скрепляющих фрагментов: 1 – помещения, инженерные сети; 2 – исходные материалы; 3 – рабочие места; 4 – персонал; 5 – технологические операции; 6 – контроль качества; 7 – документация; 8 – технологическое оборудование; 9 – готовая продукция

Таким образом, упрощенная модель общей матрицы позволяет формировать портфель сведений нормативной документации, необходимый для наполнения информационной системы по компонентам соответствия. В рассматриваемую информационную систему необходимо предоставить сведения по трем компонентам соответствия: продукция, компетенция персонала и процессы. Элементами информационной системы являются помещения, инженерные системы, рабочие места, технологические операции, технологическое оборудование, документация, готовая продукция.

Выработанный системный подход к формированию данной информации даст возможность представить сведения всех фрагментов информационной системы в единообразном виде. Данное обстоятельство позволит в дальнейшем не только использовать информационную систему на стадии производства, но и обеспечить взаимосвязь со стадиями проектирования, модернизации технологического процесса и реализации продукции.

3.6. ВАРИАНТЫ ПРОЦЕССА ЦИФРОВИЗАЦИИ КОНКРЕТНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

На основе построенного алгоритма процесса изготовления единичного оригинального устройства были выделены три этапа процесса (рис. 57):

А – подготовительный этап запуска заказа на изготовление устройства в производство;

В – технологический этап изготовления устройства;

С – заключительный этап отгрузки устройства заказчику.

На подготовительном этапе А для запуска заказа в производство разработан алгоритм продвижения заказа на изготовление устройства в цех с точки зрения наличия организующих документов (рис. 58). Полный список документов приведен в таблице 24.

В процессе анализа документации произведена оценка соответствия документов требованиям электронного документооборота по критериям: адекватная форма и устаревшая форма. При этом прослежена необходимость соответствия информации для заполнения электронного формуляра изделия (ЭФИ) согласно ГОСТ 2.216-2011 [79] и для электронного дела изделия (ЭДИ) согласно ГОСТ Р 54089-2018 [80]. Из 12 используемых форм (см. таблицу 24) только 3 имеют адекватную форму, остальные 9 – это устаревшие формы, которые необходимо переработать с учетом всех циркулирующих видов информации, исключить многочисленные повторы и обеспечить возможность создания электронной модели устройства.

Таким образом, сформирован и проанализирован комплект требований к продукции, процессам, персоналу и документации для конкретного этапа производственного процесса в цехе.

На основе построенного алгоритма процесса изготовления единичного оригинального устройства в условиях экспериментального цеха методом общей матрицы проведен анализ наличия документации, организующей данный процесс.

Произведена оценка соответствия документов требованиям электронного документооборота на подготовительном этапе изготовления оригинального единичного устройства по критериям: адекватная форма и устаревшая форма.

Установлено, что в настоящее время только 25 % документов, используемых на этом этапе, имеют адекватную форму, а 75 % документов необходимо переработать с учетом всех циркулирующих видов информации и возможности создания электронной модели устройства.

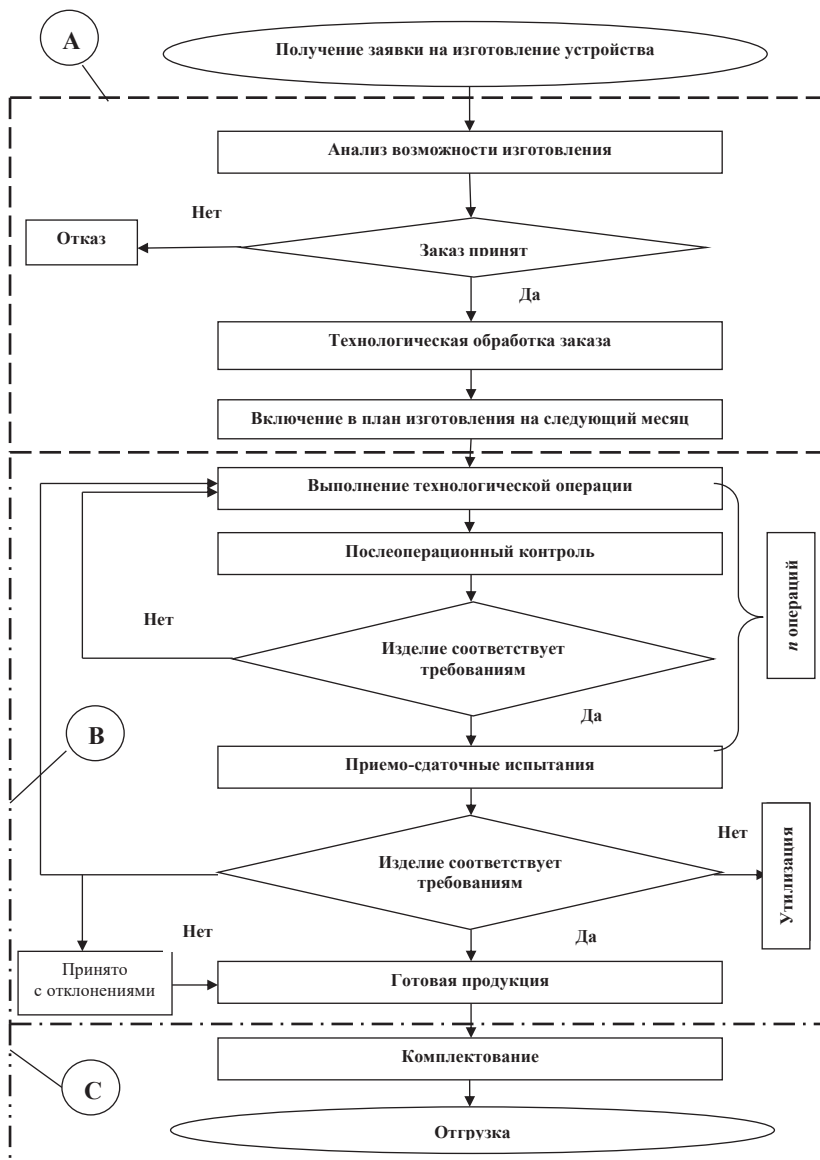


Рис. 57. Алгоритм процесса изготовления оригинального устройства

Последовательность исполнения заказа в цехе	Организующие документы предприятия (обозначения, указанные в таблице 24)	Сведения для электронного формуляра в соответствии с ГОСТ 2.612-2011	Сведения для ЭДИ в соответствии с ГОСТ Р 54089-2018
Заявка на изготовление изделия. Прилагается ТЗ и КД	[1][2]		
Открытие заказа	[3]		
Предварительный анализ возможности выполнения заказа	[3]		
Утверждение и регистрация заказа	[3][4]	★	★
Проверка наличия необходимых материалов и их резервирование	[1][2][6]		
Составление заявки на недостающие комплектующие и материалы и передача в ОМТО	[1][2][7]	★	
Разработка маршрутной карты изготовления изделия	[1][2][8]	★	
Формирование ведомости заготовок с учетом припусков	[1][2][9]		
Составление ТЗ на изготовление приспособлений при необходимости	[1][2][10]		
Нормирование	[1][3][10]	★	
Включение заказа в план следующего месяца	[11]	★	
Утверждение плана	[11]		
Распределение работ	[12]		★

Рис. 58. Алгоритм продвижения заказа на изготовление изделия в цехе:

□ – адекватная форма; [] – устаревшая форма

Таблица 24

Документы, сопровождающие процесс продвижения заявки
на изготовление устройства

ОБОЗНАЧЕНИЕ НА СХЕМЕ (рис. 58)	НАИМЕНОВАНИЕ ДОКУМЕНТА	ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ФОРМЫ ДОКУМЕНТА
1	Техническое задание на изделие	Устаревшая
2	Конструкторская документация на изделие	Адекватная
3	Заказ на изготовление изделия	Адекватная
4	Журнал регистрации заказов	Устаревшая
5	План изготовления изделий на следующий месяц	Устаревшая
6	Складская ведомость материалов и комплектующих	Устаревшая
7	Заявка на недостающие материалы в ОМТО	Устаревшая
8	Маршрутная карта технологического процесса	Адекватная
9	Ведомость заготовок с учетом припусков	Устаревшая
10	Техническое задание на изготовление приспособления при необходимости	Устаревшая
11	План на следующий месяц	Устаревшая
12	Ведомость распределения работ	Устаревшая

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

.....

Представленный в первой главе материал позволяет сделать вывод, что по показателю «время заполнения бункера» можно определить текущую урожайность сельскохозяйственной культуры. По показателю урожайности, по расстоянию от поля до склада можно определить количество транспортных средств, необходимых для обеспечения оптимальной (без простоев) работы уборочного комплекса. Используя элементы теории вероятностей (математического анализа), можно управлять производительностью УТК. Описанную в первой главе методику можно применять практически на всех видах работ по уборке урожая, заготовке кормов.

Во второй главе описаны основные преимущества и недостатки применения гидропонного метода выращивания листового салата. Рассмотрен инновационный запатентованный метод выращивания растений в роторной гидропонике. Влияние применяемого метода также влияет на рост растений.

В третьей главе сформулирована необходимость изменения стандартизации при переходе к цифровой экономике. Сформирован и проанализирован комплект требований к продукции, процессам, персоналу и документации для конкретного этапа производственного процесса в цехе.

На основе построенного алгоритма процесса изготовления отдельного устройства в условиях экспериментального цеха методом общей матрицы проведен анализ наличия документации, организующей данный процесс.

Произведена оценка соответствия документов требованиям электронного документооборота на подготовительном этапе изготовления оригинального единичного устройства по критериям: адекватная форма и устаревшая форма.

Установлено, что в настоящее время только 25% документов, используемых на этом этапе, имеют адекватную форму, а 75% документов необходимо переработать с учетом всех циркулирующих видов информации и возможности создания электронной модели устройства.

БИБЛИОГРАФИЯ

.....

1. Иовлев, Г. А. Теория вероятностей и формирование оптимального состава уборочного комплекса / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина. – Текст : непосредственный // Агропродовольственная политика России. – 2016. – № 8. – С. 27–33.
2. Чулков, А. С. Повышение эффективности уборочно-транспортного комплекса на основе мобильных средств со сменными кузовами при уборке зерновых культур: дис. ... канд. тех. наук / А. С. Чулков. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2013. – 152 с. – Текст : непосредственный.
3. Музылев, Д. А. Разработка методики выбора условий взаимодействия зерноуборочного и транспортного комплексов / Д. А. Музылев, А. Г. Кравцов, Н. В. Карнаух, Н. Г. Бережная, О. В. Кутя. – URL: <http://journals.uran.ua> (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
4. Комаров, В. А. Исследование влияния сезонной наработки зерно- и кормоуборочных комбайнов на продолжительность уборочных работ / В. А. Комаров, Е. А. Нуянзин, М. И. Курашкин. – Текст : непосредственный // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 1 (271). – С. 36–39.
5. Ряднов, А. И. Метод выбора транспортных средств при уборке сельскохозяйственных культур / А. И. Ряднов. – Текст : непосредственный // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 1 (57). – С. 349–356.
6. Iovlev, G. A. Review of tests of grain harvesters for the quality of the technological process of threshing grain crops: Russia, Belarus / G. A. Iovlev, I. I. Goldina. – Текст : непосредственный // Theory and practice of world science. – 2017. – No. 11. – Pp. 56–61.
7. Успенский, И. А. Повышение эффективности уборочно-транспортных работ в агропромышленном комплексе на примере семечковых культур / И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев, И. А. Юхин, В. А. Шафоров. – Текст : непосредственный // Вестник Рязанского государ-

- ственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2018. – № 4 (40). – С. 148–154.
8. Чеботарев, М. И. Расчет гарантирующего количества рисоуборочных комбайнов в основном технологическом звене уборочно-транспортного комплекса / М. И. Чеботарев, Е. А. Шапиро, А. Д. Таран. – Текст : непосредственный // Рисоводство. – 2018. – № 4 (41). – С. 56–59.
 9. Курочкин, В. Н. Управление эффективностью уборочно-транспортного процесса согласованием производительностей его фаз с применением цифровой модели / В. Н. Курочкин. – Текст : непосредственный // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 2 (46). – С. 29–36.
 10. Younus, A. Performance Evaluation of Root Crop Harvesters / A. Younus, P. R. Jayan. – Текст : непосредственный // International Journal of Engineering Research and Development. – 2015. – Vol. 11. – Iss. 06. – Pp. 38–52.
 11. Dzhamburshin, A. S. Substantiation of expedient parameters and operating modes of the stripping device for harvesting grain crops in Kazakhstan / A. S. Dzhamburshin, G. D. Turymbetova. – Текст : непосредственный // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 8. – Iss. 11. – Pp. 691–698.
 12. Das, S. C. Technological innovation and integration of enterprise applications (EA) for achieving operational excellence: an empirical analysis of trends in ERP system / S. C. Das, J. K. Panigrahi, S. K. Mallik. – Текст : непосредственный // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9. – Iss. 5. – Pp. 733–741.
 13. Iovlev, G. Optimization of the Composition of the Harvesting and Transport Complex / G. Iovlev, I. Goldina, V. Zorkov. – Текст : непосредственный // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 10. – Iss. 04. – Pp. 152–161.
 14. Kusumastutia, R. D. Crop-related harvesting and processing planning: a review / R. D. Kusumastutia, D. P. van Donkb, R. Teunterb. – Текст : непосредственный // International Journal of Production Economics. – 2016. – Vol. 174. – Pp. 76–92.
 15. Машков, С. В. Методика определения потребности в уборочных машинах / С. В. Машков, Е. С. Казакова. – Текст : непосредственный // Вестник СанГУПС. – 2018. – № 3 (41). – С. 15–20.
 16. Бышов, Н. В. Эффективность и единство посевных и уборочных комплексов в зерновом подкомплексе / Н. В. Бышов, В. А. Макаров,

- О. В. Макарова, С. В. Гаспарян, А. В. Шемякин. – Текст : непосредственный // Вестник Рязанского государственного аграрно-технологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 3 (43). – С. 136–141.
17. Иовлев, Г. А. Развитие отечественного рынка транспортно-технологических машин для агропромышленного комплекса / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина. – Текст : непосредственный // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 1 (131). – С. 55–59.
 18. Иовлев, Г. А. Экономическая эффективность модернизации зерноуборочных комбайнов при уборке колосовых культур / Г. А. Иовлев, В. С. Зорков, И. И. Голдина. – Текст : непосредственный // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2017. – № 9. – С. 34–37.
 19. Формула для расчета производительности автотранспорта. Расчет себестоимости перевозок. – URL: https://studbooks.net/1512124/marketing/formula_rascheta_proizvoditelnosti_avtotransporta_raschet_sebestoimosti_perevozok (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
 20. Лунякин, В. Н. Оптимизация уборочно-транспортного процесса уборки зерновых культур с использованием передвижного перегружчика / В. Н. Лунякин. – URL: <http://disserr.ru/contents/57837.html> (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
 21. Абаев, В. В. Повышение эффективности функционирования оптимальной системы технологий уборки зерновых культур / В. В. Абаев. – Текст : электронный // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 70. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-funktsionirovaniya-optimalnoy-sistemy-tehnologiy-uborki-zernovykh-kultur> (дата обращения: 23.05.2022).
 22. Михайлов, М. Р. Оптимизация использования зерноуборочных комбайнов по параметрам надежности / М. Р. Михайлов. – URL: <http://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-ispolzovaniya-zernouborochnykh-kombainov-po-parametram-nadezhnosti#ixzz5SdqMYC6p> (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
 23. Барнаган, В. С. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники машинно-технологических станций / В. С. Барнаган. – URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/o1003345229.pdf (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.

24. Шепелев, В. Д. Обоснование технико-технологической согласованности процессов уборки и послеуборочной обработки зерна / В. Д. Шепелев. – URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01003314868.pdf (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
25. Одегова, К. О. Выращивание томатов на малообъемной гидропонике / К. О. Одегова. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_27176918_51798531.pdf (дата обращения: 26.10.2022). – Текст : электронный.
26. Алгазин, Д. Н. Перспективы выращивания тепличных культур с применением аэропонике в условиях Сибирского региона / Д. Н. Алгазин. – Текст : электронный // Вестник ОмГАУ. – 2014. – № 1 (13). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vyraschivaniya-teplichnyh-kultur-s-primeneniem-aeroponiki-v-usloviyah-sibirskogo-regiona> (дата обращения: 23.05.2022).
27. Руткин, Н. М. Урбанизированное агропроизводство (сити-фермерство) как перспективное направление развития мирового агропроизводства и способ повышения продовольственной безопасности городов / Н. М. Руткин, Л. Ю. Лагуткина, О. Ю. Лагуткин. – Текст: электронный // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2017. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urbanizirovannoe-agroproduzvodstvo-siti-fermerstvo-kak-perspektivnoe-napravlenie-razvitiya-mirovogo-agroproduzvodstva-i-sposob> (дата обращения: 23.05.2022).
28. Керамзитовый почвогрунт для выращивания растений. – URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2290388C2_20061227.pdf (дата обращения: 23.05.2022). – Текст : электронный.
29. Карпухин, М. Ю. Автоматизированные гидропонные системы для сити-фермерства / М. Ю. Карпухин. – Текст : электронный // АОН. – 2022. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannye-gidroponnye-sistemy-dlya-siti-fermerstva> (дата обращения: 23.02.2023).
30. Корабейников, И. Н. Опыт Внедрения и развития новых информационных технологий в экономических системах АПК / И. Н. Корабейников, И. М. Кутукова. – Текст : непосредственный // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2007. – № 4 (12). – С. 30–34.
31. Порсев, А. И. Процесс автоматизации фиксации температуры и влажности средствами программно-аппаратного комплекса Ar-

- duino / А. И. Порсев, В. М. Гордиевских. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы теории и методики обучения информатике, математике и экономике: материалы молодежной всероссийской научно-практической конференции. – Шадринск, 2016. – С. 87–95.
32. Кирнос, А. Е. Arduino как средство автоматизации сельского хозяйства / А. Е. Кирнос. – Текст : непосредственный // Вестник Кыргызстана. – 2018. – № 1. – С. 275–279.
33. Брагин, А. Ю. Разработка программно-аппаратного комплекса автоматизированного гроубокса. – Текст : непосредственный // Молодежь XXI века: шаг в будущее, 2017 г.
34. Arduino-project. – URL: <http://www.Arduino-project.net/podklyucheniye-datchika-dht11-arduino> (дата обращения: 23.02.2023). – Текст : электронный.
35. Русанов, В. В. Экономичные схематичные решения в системах автоматизации аграрного производства / В. В. Русанов. – Текст : непосредственный // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2016. – № 6 (90). – С. 103–109.
36. Здобнова, А. И. Автоматический контроль и поддержание параметров микроклимата оптимальных для здорового и продуктивного роста растений / А. И. Здобнова, Е. С. Цырульников, А. А. Подгоров, И. Г. Воеводин. – Текст : непосредственный // Региональный школьный технопарк Астраханского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1. – С. 265–268.
37. Евстифеев, А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny. Руководство пользователя / А. В. Евстифеев. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 426 с. – (Серия «Программируемые системы»). – Текст : непосредственный.
38. Болтовский, С. Н. Плюсы и минусы гидропоники / С. Н. Болтовский, С. Р. Баймухамбетов, Е. В. Демчук. – Текст : непосредственный // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – № 12–4. – С. 46–48.
39. Серегин, М. В. Соблюдение технологических требований для выращивания растений методом гидропоники в условиях сити-фермерства / М. В. Серегин. – Текст : электронный // E-Scio. – 2022. – № 3 (66). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soblyudeniye-tehnologicheskikh-trebovaniy-dlya-vyraschivaniya-rasteniy-metodom-gidroponiki-v-usloviyah-siti-fermerstva> (дата обращения: 23.05.2022).

40. Комарова, А. О. Выращивание томатов на малообъемной гидропонике / А. О. Комарова. – Текст : электронный. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36488977> (дата обращения: 23.05.2022).
41. Болтовский, С. Н. Плюсы и минусы гидропоники / С. Н. Болтовский, С. Р. Баймухамбетов, Е. В. Демчук – Текст : непосредственный // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – № 12–4. – С. 46–48.
42. Бондаренко, Е. В. Выращивание некоторых видов культур в малообъемной гидропонике / Е. В. Бондаренко. – Текст : непосредственный // Молодой исследователь Дона. – 2018. – № 4 (13). – С. 18–23.
43. Старцева, В. И. Технологии будущего в овощеводстве закрытого грунта: многоярусная стеллажная гидропоника / В. И. Старцева, В. В. Мойсеев. – Текст : электронный // Вестник науки. – 2018. – № 9 (9). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-buduschego-v-ovoshevodstve-zakrytogo-grunta-mnogoyarusnaya-stellazhnaya-gidropionika> (дата обращения: 23.05.2022).
44. Мусин, А. Н. Опыт создания малообъемной гидропонной установки с использованием микроконтроллеров / А. Н. Мусин, А. А. Садов, А. И. Носков. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2020. – № 2 (7). – С. 68–74.
45. Требования, предъявляемые к роторной гидропонике / А. А. Садов, П. Н. Шорохов, М. Л. Юсупов, А. Н. Зеленин. – Текст : непосредственный // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов: сборник тезисов по материалам III Международной конференции. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный ун-т имени И. Т. Трубилина, 2019. – С. 105.
46. Садов, А. А. Проект роторной гидропонной установки с автоматизированным процессом выращивания культур / А. А. Садов, К. М. Потетня, А. И. Носков. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2019. – № 3 (3). – С. 39–45.
47. Садов, А. А. Модель полуавтоматизированной роторной гидропоники / А. А. Садов, А. И. Носков, Д. О. Волков. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2019. – № 4 (4). – С. 50–56.
48. Беркович, Ю. А., Зяблова Н. В., Ерохин А. Н., Смолянина С. О., Кривобок Н. М. Оранжерея с выпуклой сферической посадочной поверхностью как прототип космической оранжереи и инструмент

- исследования гравитропизма растений / Ю. А. Беркович, Н. В. Зяблова, А. Н. Ерохин, С. О. Смолянина, Н. М. Кривобок. – Текст : непосредственный // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2007. – № 4. – С. 54–59.
49. Toulaitos, D. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics / D. Toulaitos, I. C. Dodd, M. Mcainsh. – Текст : непосредственный Food and Energy Security. – 2016. – No. 5 (3). – Pp. 184–191.
50. Despommier, D. The vertical farm: Controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations / D. Despommier. – Текст : непосредственный // *Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*. – 2011. – No. 6 (2), – Pp. 233–236.
51. Gómez, C. Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes / C. Gómez, R. C. Morrow. – Текст : непосредственный // *Hort Technology*. – 2013. – No. 23 (1). – Pp. 93–98.
52. Heller, H. The effects of container geometry on water and heat regimes in soilless culture: Lettuce as a case study / H. Heller, A. Bar-Tal, S. Assouline, K. Narkis, S. Suryano, A. De La Forge, M. Barak, H. Alon, M. Bruner, S. Cohen, D. Tsohar. – Текст : непосредственный // *Irrigation Science*. – 2015. – No. 33 (1). – Pp. 53–65.
53. Linsley-Noakes, G. High density, vertical hydroponics growing system for strawberries / G. Linsley-Noakes, L. Wilken, S. De Villiers. – Текст : непосредственный // *Acta Horticulturae*. – 2006. – No. 708. – Pp. 365–370.
54. Agro Grow Technology: a hydroponic revolution with the Rotary Garden. – URL: <https://www.healthyeuropa.eu/agro-grow-technology-a-hydroponic-revolution-with-the-rotary-garden/95655> (дата обращения: 17.11.2021). – Текст : электронный.
55. Design and Development of a Solar Hydroponic Rotary Cropping Apparatus with an Intelligent Irrigation System. – URL: https://www.researchgate.net/publication/328838489_Design_and_Development_of_a_Solar_Hydroponic_Rotary_Cropping_Apparatus_with_an_Intelligent_Irrigation_System (дата обращения: 17.11.2021). – Текст : электронный.
56. Вертикальная гидропонная ферма (раздел «Тренажеры спецтехники»). – URL: <https://zarnitza.ru/catalog/podgotovka-professionalnykh-kadrov/selskoe-hozyajstvo/trenazhery-spetstekhniki/vertikalnaya-gidroponnaya-ferma> (дата обращения: 18.10.2022) – Текст : электронный.

57. Гидропоника своими руками. – URL: <https://arbooz.org/2018/09/14/gidrononika-svoimi-rukami> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
58. Типы гидропонных систем. – URL: <https://agrodom.com/advice/tipy-gidrononnykh-sistem> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
59. Гидропоника для выращивания зелени в домашних условиях. – URL: <https://zelen-na-podokonnike.ru/inventar/gidrononika-dlya-vyrashhivaniya-zeleni-v-domashnih-usloviyah> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
60. Микрокапельный полив. – URL: <https://ribera.by/vidy-avtopoliva/kapelnny-avtopoliv-mikropoliv/mikrokapelny-poliv> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
61. Автоматический полив в теплице. – URL: <https://avto-poliv.net/statii/title/avtomaticheskij-poliv-teplitsy> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
62. Система периодического затопления. – URL: <https://floragrowing.com/ru/encyclopedia/sistema-periodicheskogo-zatopeniya> (дата обращения: 18.10.22). – Текст : электронный.
63. Аэро-гидропоника. – URL: <https://ekaterinburg.auto-grow.ru/ponics/gidrononika/aero-gidrononika.html> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
64. Аквапоника – искусственная экологическая система. – URL: https://globallab.org/ru/project/cover/akvaponika_iskusstvennaja_ekologicheskaja_sistema.ru.html (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
65. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. – Москва : Эксмо, 2016. – 208 с. – Текст : непосредственный.
66. Иванов, В. Цифровая экономика: мифы, реальность, перспективы / В. Иванов, Г. Малинецкий. – Текст : непосредственный // Изборский клуб. – 2017. – № 8 (54). – С. 36–50.
67. Gumah, M. What is the digital economy, and how to measure it / M. Gumah, Z. Jamaludin. – Текст : непосредственный // Knowledge Management International Conference and Exhibition. – 2006. – No. 3(40). – Pp. 378–382.
68. Harnessing the Digital Economy for Developing Countries. – URL: <https://www.oecd-ilibrary.org> (дата обращения: 18.10.2022) (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.

69. What is digital economy. – URL: <https://www2.deloitte.com>. (дата обращения: 18.10.2022) – Текст : электронный.
70. Industrie 4.0. – URL: <http://www.wolfgang-wahlster.de> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст : электронный.
71. Realizing Society 5.0. – URL: <https://www.japan.go.jp> (дата обращения: 18.10.2022) – Текст: электронный.
72. e-F@ctory Overvie. – URL: <https://www.mitsubishielectric.com>. – Текст : электронный.
73. Зажигалкин, А. Цифровая экономика и будущее стандартизации / А. Зажигалкин, В. Пугачев, А. Петросян. – Текст : непосредственный // Стандарты и качество. – 2017. – № 9. – С. 30–34.
74. Зажигалкин, А. Цифровая экономика и будущее стандартизации / А. Зажигалкин, В. Пугачев, А. Петросян. – Текст : непосредственный // Стандарты и качество. – 2017. – № 10. – С. 23–27.
75. Куприяновский, В. П. BIM – Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 1. Подходы и основные преимущества BIM / В. П. Куприяновский, С. А. Синягов, А. П. Добрынин. – Текст : электронный // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bim-tsifrovaya-ekonomika-kak-dostigli-uspeha-prakticheskiy-podhod-k-teoreticheskoy-kontseptsii-chast-1-podhody-i-osnovnye-preimuschestva> (дата обращения: 23.05.2022).
76. Nagra, A. Analyzing Standards for Software Quality Assurance and its Methodologies / A. Nagra, A. Rana, S. Gaba, P. Swarnalatha. – Текст : непосредственный // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – No. 9 (7). – Pp. 149–146.
77. Osman, N. A. Life Cycle Assessment Study for Managing Electronic Waste Using Landfill Technology / N. A. Osman, N. Othman, R. Mohammed, S. Chelliapan. – Текст : непосредственный // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9. – No. 7. – Pp. 542–549.
78. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – Москва : Юрайт, 2014. – 479 с. – Текст : непосредственный.
79. ГОСТ 2.216-2011. ЕСКД Электронный формуляр. Общие положения. – Текст: непосредственный.
80. ГОСТ Р 54089-2018. Интегрированная логистическая поддержка. Электронное дело изделия. Основные положения и общие требования». – Текст : непосредственный.

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

.....

АЛЕКСАНДРОВ Виктор Алексеевич – кандидат технических наук, доцент.

БАЖЕНОВ Александр Андреевич – преподаватель.

ГОЛДИНА Ирина Игоревна – старший преподаватель.

ДЕНЕЖКО Любовь Васильевна – кандидат технических наук, доцент.

ЗОРКОВ Владимир Сергеевич – кандидат экономических наук, доцент.

ИОВЛЕВ Григорий Александрович – кандидат экономических наук, доцент.

КАЗАНЦЕВА Надежда Константиновна – кандидат технических наук, доцент.

КОЛЬГА Анатолий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор.

НЕСГОВОРОВ Анатолий Георгиевич – старший преподаватель.

НОВОПАШИН Леонид Алексеевич – кандидат технических наук, доцент.

САДОВ Артем Александрович – кандидат технических наук.

САЛИХОВА Марина Николаевна – старший преподаватель.

ЮСУПОВ Мамед Лечиевич – кандидат экономических наук, доцент.

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АПК

Монография

Редактор А. В. Ерофеева

Дизайнер-верстальщик А. Ю. Тюменцева

На обложке использовано изображение: Freepik.com

Подписано в печать 14.07.2023. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Alegreya, Alegreya Sans.
Уч.-изд. л. 6,87. Усл. печ. л. 7,67. Тираж 500 экз. Заказ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный аграрный университет». 620075, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42

Отпечатано в Издательском доме «Ажур»
620075, Екатеринбург, ул. Восточная, 54. Тел.: +7 (343) 350-78-28, +7 (343) 350-78-49. Эл. почта: azhur.ek@mail.ru

Оригинал-макет подготовлен в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении
высшего образования «Уральский государственный аграрный университет».
620075, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 4