

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Инженерно-технологический институт

Кафедра технических систем в агробизнесе природообустройстве и дорожном
строительстве

Самусенко В.И., Сакович Н.Е.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Часть I

Учебно-методическое пособие для выполнения практических работ
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентами инженерно-технологического института
по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия».

Брянская область, 2023

УДК 631.3:633/635 (076)

ББК 40.72

С 17

Самусенко, В. И. Оптимальное проектирование технологических процессов в растениеводстве: учебно-методическое пособие для выполнения практических работ по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка» студентами инженерно-технологического института по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / В. И. Самусенко, Н. Е. Сакович. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. - Ч. I. - 74 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для оптимального проектирования основных технологических процессов в растениеводстве с использованием современных методов математического моделирования и исследования. Для студентов инженерно-технологического института.

Рецензенты: к.т.н., доцент Лабух В.М., к.т.н., доцент Кузюр В.М.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 4, от 24 марта 2023 года.

© Самусенко В.И., 2023

© Сакович Н.Е., 2023

© Брянский ГАУ, 2023

Содержание

Введение.....	4
1. Оценка качества выполнения полевых механизированных работ.....	5
2. Определение оптимальных сроков начала и продолжительности полевых работ.....	18
3. Оптимизация поточной организации производственных процессов	36
4. Оптимизация внесения твердых органических и минеральных удобрений.....	49
Контрольные вопросы.	71
Литература	73

Введение

Задания этого учебно-методического пособия охватывают все основные вопросы технического обеспечения технологий в растениеводстве. На основе общих принципов операционной технологии выполнения механизированных работ в растениеводстве рассмотрены методы оптимального проектирования всех основных производственных процессов: от внесения удобрений и подготовки почвы до уборки урожая, и закладки его на хранение. Более половины заданий посвящены оптимальному проектированию производственных процессов по уборке основных сельскохозяйственных культур в связи с их особой важностью и сложностью в общей системе производства растениеводческой продукции. Научная основа выполнения всех заданий — современные методы математического моделирования и оптимизации производственных процессов. Материал изложен на доступном для студентов уровне с учетом вероятностного характера изменения действующих факторов.

Одновременно предусмотрена возможность выбора как детерминированных, так и вероятностных методов решения соответствующих задач, а также углубленный исследовательский вариант решения на базе компьютера для подготовки научного доклада.

Достаточно полно рассмотрены вопросы эффективного использования транспортных средств, особенно при уборке сельскохозяйственных культур. Наличие обширного справочного материала с краткими теоретическими положениями обеспечивает широкое использование излагаемых методов проектирования сельскохозяйственных производственных процессов при работе студентов над курсовыми и дипломными проектами.

Итоговым результатом решения заданий является получение студентами устойчивых навыков комплексного проектирования сложных технологических процессов в сельском хозяйстве с позиций ресурсосбережения и высокой производительности.

1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕВЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ

Цель задания — освоить современные методы оценки качества выполнения полевых механизированных работ и приобрести навыки управления качеством этих работ.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 1.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ варианта	Δx	σ_x	$\Delta x_1, \text{ см}$	$\sigma_{x1}, \text{ см}$	$\sigma_{x2}, \text{ см}$	$P(x_{\sigma 1,2})_d$
1	3	1,5	2,0	1,8	1,6	0,020
2	4	3,8	2,1	1,9	1,7	0,030
3	2	1,8	2,2	2,0	1,8	0,040
4	5	4,7	2,3	2,0	1,9	0,050
5	4	4,7	2,4	2,1	1,8	0,050
6	7	6,7	2,5	2,1	1,9	0,027
7	6	2,0	3,0	2,2	2,0	0,030
8	5	3,0	2,8	2,5	2,3	0,032
9	4,8	4,2	3,0	2,2	2,1	0,028
10	4,5	2,8	3,3	2,3	2,1	0,026
11	5,3	4,2	3,0	2,2	2,0	0,027
12	4,3	3,7	3,1	2,5	2,3	0,028
13	4,8	4,2	3,2	2,4	2,2	0,029
14	3,3	2,8	3,3	2,3	2,1	0,031
15	3,5	3,1	3,4	3,1	2,9	0,032
16	3,7	3,2	3,5	2,2	1,9	0,033
17	3,8	3,6	3,6	2,1	1,8	0,034
18	3,9	2,7	3,7	2,2	1,9	0,035
19	4,9	3,6	3,8	2,5	2,2	0,036
20	6,2	5,3	1,8	1,2	1,1	0,037
21	2,5	2,1	1,6	1,0	1,8	0,038
22	2,7	2,6	1,9	1,1	1,0	0,039
23	2,9	2,7	3,6	2,2	2,0	0,040
24	3,5	2,9	2,4	2,0	1,8	0,041
25	6,7	5,8	2,2	1,8	1,6	0,042
26	6,9	5,5	2,5	2,0	1,8	0,043

Продолжение таблицы 1.1

№ варианта	Δx	σX	Δx_1 , см	σX_1 , см	σX_2 , см	$P(x\sigma_{1,2})д$
27	5,9	4,7	2,7	1,5	1,3	0,044
28	6,5	4,8	3,0	2,2	2,0	0,045
29	6,6	5,3	3,1	2,1	1,9	0,046
30	6,7	6,2	3,2	2,0	1,8	0,047

2. Указать основные группы факторов, влияющих на качество выполнения полевых технологических операций.

3. Охарактеризовать применяемые виды контроля качества полевых работ.

4. Определить показатели качества выполнения отдельной технологической операции.

5. Определить показатели качества выполнения двух взаимосвязанных технологических операций.

6. Оценить качество выполнения технологической операции балльным методом.

Последовательность выполнения работы.

Качественное выполнение всех работ по возделыванию каждой сельскохозяйственной культуры — одно из важнейших условий получения высокого урожая. Исходя из этого, все задачи механизации сельского хозяйства (от конструирования до эксплуатации машин) следует решать, прежде всего, с позиций обеспечения требуемого качества выполняемых работ.

На качество выполнения полевых механизированных работ влияют следующие основные группы факторов: природно-производственные; конструктивные; технологические; эксплуатационные; эргономические.

Природно-производственные факторы: климатические особенности, физико-механические характеристики и гранулометрический состав почвы, рельеф, состояние и конфигурация поверхности поля, каменистость и засоренность поля, наличие препятствий, экологические требования.

Конструктивные факторы: конструктивные особенности отдельных машин и МТА в целом; маневренность и управляемость агрегата; надежность машин.

Технологические факторы: вид технологической операции; принципы воздействия рабочих органов машин на обрабатываемые материалы; требуемая глубина обработки почвы; высота культурных растений и ширина междурядий; высота среза и длина резки.

Эксплуатационные факторы: выбранный способ движения агрегата; качество разбивки поля на загоны; ширина захвата и скорость движения МТА; правильность технологических регулировок; уровень организации труда и технического обслуживания машин.

Эргономические факторы характеризуют взаимосвязанное функционирование системы «человек — машина (агрегат)», включая индивидуальные физиологические и психологические особенности механизаторов.

Следует учесть также сложные взаимосвязи между многими факторами из перечисленных групп. Из приведенной краткой характеристики действующих факторов наглядно видна сложность объективной оценки качества выполнения полевых механизированных работ. В связи с этим актуально создание систем автоматизированного контроля качества выполнения полевых механизированных работ.

Операционной технологией выполнения механизированных работ предусмотрены **три вида контроля качества этих работ: вводный; текущий; приемочный.**

Вводный контроль, или инструктаж перед началом работы, предусматривает подробное ознакомление механизаторов, закрепленных за данным агрегатом, с особенностями выполнения операции в заданных условиях, включая: правила комплектования МТА и проведения регулировок; выбор скорости движения; разбивку поля на загоны; порядок проведения первых проходов; особенности организации работы; правила оценки качества работы; нормы выработки и расхода топлива; оплату труда; охрану труда и технику безопасности. Вводный инструктаж проводит непосредственный руководитель работ (бригадир, звеньевой, фермер).

Текущий контроль предусматривает проверку качества работы при первых проходах агрегата, а также последующий периодический контроль в процессе работы. Такой контроль может проводить как сам тракторист, так и контролер-учетчик.

Приемочный контроль в конце рабочего дня могут проводить в зависимости от особенностей хозяйства агроном, контролер, бригадир или учетчик. При этом одновременно с качеством определяют также и объем выполненной работы для последующей оплаты. Качество работы каждого вида оценивают по девятибалльной системе со следующими оценками: **8-9 баллов** — «отлично»; **6-7** — «хорошо»; **4-5** — «удовлетворительно»; **3 балла и ниже** — «неудовлетворительно».

Для оценки качества выполнения одной работы чаще всего принимают три наиболее важных показателя, каждый из которых оценивают числом баллов до трех или четырех. Затем полученные баллы суммируют и выводят итоговую оценку. Например, качество выполнения сплошной культивации оценивают по отклонению от заданной глубины обработки почвы, по высоте гребней и полноте подрезания сорняков, подсчитывая число не подрезанных сорняков на **10 м²**. При этом низкое качество неучтенных показателей может послужить основанием для снижения общей оценки качества работы.

При групповой работе МТА изложенная методика оценки качества применима в том случае, если каждый агрегат работает на отдельном загоне. В противном случае с согласия исполнителей выводят среднюю оценку.

Показатели качества выполнения отдельной технологической операции определяют вероятностным методом. Многочисленными полевыми опытами установлено, что значения величины x , характеризующей качество работы, при достаточном числе измерений распределяются по нормальному закону (рис. 1.1). Величина x_n на графике соответствует нормативному, или номинальному, значению показателя качества работы по агротехническим требованиям, а Δx — допустимому отклонению от x_n .

Например, при вспашке на глубину 20 см с допустимым отклонением $\pm 5\%$ имеем $x_n = 20$ см, $\Delta x = 0,05 \cdot 20 = 1$ см.

Качественное выполнение работы характеризуют допустимые значения x_d , находящиеся в диапазоне $(X_n - \Delta X) < X_d < (X_n + \Delta X)$. Остальные значения величины соответствуют браку.

При нормальном законе распределения почти все значения x (**99,73%**) располагаются в диапазоне $X_n \pm 3\sigma_x$ при среднем квадратическом отклонении σ_x .

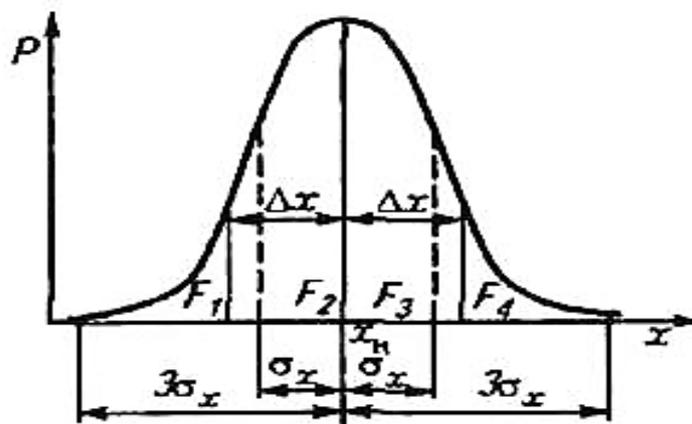


Рисунок 1.1 – График нормального распределения

Вероятность $P(x_d)$ получения допустимого значения x_d , или вероятность качественной работы:

$$P(X_d) = 2\Phi \cdot [\Delta X / \sigma_x]. \quad (1.1)$$

где $\Phi(\Delta x / \sigma_x)$ – интеграл вероятностей.

Табличные значения интеграла вероятностей для различных сочетаний Δx и σ_x (из теории вероятностей) представлены в таблице 1.2. вероятность брака

$$P(X_b) = 1 - 2\Phi \cdot [\Delta X / \sigma_x]. \quad (1.2)$$

Значения σ_x зависят от указанных ранее факторов. Эти значения определяют в процессе испытаний соответствующих машин. Таким образом, располагая значениями Δx (из агротехнических требований) и σ_x (по результатам испытаний), можно рассчитать по формулам (1.1) и (1.2) вероятности качественной работы $P(x_d)$ и брака $P(x_b)$.

Например, если при вспашке на глубину **20 см** с допустимым отклонением $\pm 5\%$ с учетом указанных ранее $x_n = 20$ см и $\Delta x = 1$ см имеем $\sigma_x = 0,5$ см, то с использованием данных таблицы 1.2 получим:

$$P(X_d) = 2\Phi(1/0,5) = 2 \cdot 0,4772 = 0,9544;$$

$$P(X_6) = 1 - 0,9544 = 0,0456.$$

Следовательно, вероятность брака в заданных условиях составит **4,56%**.

В качестве важного показателя качества выполнения технологической операции, особенно при испытаниях сельскохозяйственных машин, используют также коэффициент эффективности процесса, определяемый в соответствии с рисунком 1.1 по формуле

$$K_{\text{Э}} = (F_2 + F_3) / (F_1 + F_2 + F_3 + F_4). \quad (1.3)$$

По физическому смыслу коэффициент эффективности $K_{\text{Э}}$ процесса соответствует вероятности качественной работы, поэтому с учетом зависимости (1.1) можно записать

$$K_{\text{Э}} = P(X_d) = 2\Phi[\Delta x / \sigma_x] = 0,9544. \quad (1.4)$$

Таблица 9.2 – Значения интеграла вероятностей $\Phi[\Delta x / \sigma_x]$

Целое число и десятые доли $\Delta x / \sigma_x$ ДДС	Сотые доли $\Delta x / \sigma_x$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,438	0,478	0,517	0,557	0,596	0,636	0,675	0,714	0,753
0,2	0,793	0,832	0,871	0,910	0,948	0,987	1026	1067	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	1915	1950	1985	2019	2054	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	3413	3437	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3686	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830

	Сотые доли $\Delta x/\sigma_x$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4999	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4886	4693	4699	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817
2,1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4864	4868	4871	4875	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4931	4932	4934	4936

Следовательно, K_{Σ} не дает какой-либо дополнительной информации при оценке качества технологического процесса, кроме большей наглядности.

Значение K_{Σ} упрощенно можно определить и на основании результатов измерений в полевых условиях по формуле

$$K_{\Sigma} = Z_{xa} / Z_{x\Sigma}, \quad (1.5)$$

где Z_{xa} , $Z_{x\Sigma}$ — число измерений, при которых получено допустимое значение показателя качества работы, и общее число измерений.

Например, если при 50 измерениях глубины вспашки по диагонали участка получены 47 значений в диапазоне 19-21 см, то на основании формулы (1.5):

$$K_{\Sigma} = 47/50 = 0,94.$$

С помощью равенств (1.1) и (1.2) можно решить и обратную задачу: определить такое значение среднего квадратического отклонения показателя качества работы $\sigma_{хд}$, при котором вероятность брака $P(x_6)$ не превысит допустимого предела $P(x_6)_д$, т. е. $P(x_6) < P(x_6)_д$. Для этого в формуле (1.2) необходимо принять $P(x_6) = P(x_6)_д$ и рассчитать интеграл вероятностей:

$$\Phi[\Delta X/\sigma_x] = [1 - P(x_6)_д]/2. \quad (1.6)$$

Затем по значению $\Phi[\Delta x/\sigma_x]$ из таблицы 1.2 следует выбрать соответствующее отношение $\Delta x/\sigma_{хд}$ и при заданном допустимом отклонении Δx определить $\sigma_{хд}$. Например, если при вспашке $x_n = 20$ см, $\Delta x = 1$, $P(x_6)_д = 0,05$, то на основании формулы (1.6):

$$\Phi[\Delta X/\sigma_x] = (1 - 0,05)/2 = 0,475.$$

Для этого значения интеграла вероятностей из таблицы 9.2 имеем $\Delta x/\sigma_{хд} = 1,96$. Тогда $\sigma_{хд} = 1/1,96 \approx 0,51$ см.

Требуемое значение $\sigma_{хд}$ может быть достигнуто за счет конструктивных усовершенствований, лучшего выравнивания поверхности поля, повышения уровня технического обслуживания агрегата и других мероприятий.

Характерный пример двух взаимосвязанных операций с точки зрения определения качества работы — посев пропашных культур (кукурузы, подсолнечника и др.) и последующая междурядная культивация. Ширину защитной зоны $\Delta x_{1,2}$ (расстояние между осью рядка и линией прохождения края лапы культиватора) определяют в виде суммы:

$$\Delta X_{12} = \Delta X_1 + \Delta X_2, \quad (1.7)$$

где Δx_1 и Δx_2 — допустимые отклонения от оси рядка соответственно семян и края лапы культиватора, см.

При заданном значении Δx_1 (см. табл. 9.1) необходимо для определения Δx_2 предварительно рассчитать вероятность брака при посеве (см. формулу (9.2)):

$$P(x_{61}) = 1 - 2\Phi\left[\frac{\Delta x_1}{\sigma_{x_1}}\right], \quad (1.8)$$

где σ_{x_1} — среднее квадратическое отклонение семян от оси рядка, см.

Значения σ_{x_1} указаны в таблице 9.1, а интеграл вероятности $\Phi[\Delta x_1/\sigma_{x_1}]$ следует выбрать из таблицы 9.2 по отношению $\Delta x_1/\sigma_{x_1}$.

Вероятность подрезания растений соответствует вероятности брака при обеих операциях $P(x_{61,2})$, определяемой в виде произведения

$$P(x_{61,2}) = P(x_{61}) \cdot P(x_{62}), \quad (1.9)$$

где $P(x_{62})$ — вероятность брака при междурядной культивации.

При условии $P(x_{612}) = P(x_{612})_d$ (см. табл. 1.1) можно определить вероятность брака при второй операции междурядной культивации:

$$P(X_{62}) = P(X_{612})_d / P(X_{61}), \quad (1.10)$$

Затем с учетом формул (1.1) и (1.2) рассчитать интеграл вероятности:

$$\Phi \left[\frac{\Delta_{x2}}{\sigma_{x2}} \right] = [1 - P(X_{62})]/2. \quad (1.11)$$

По значению $\Phi[\Delta_{x2}/\sigma_{x2}]$ из таблицы 1.2 следует выбрать Δ_{x2}/σ_{x2} , затем с учетом σ_{x2} из таблицы 1.1 рассчитать допустимое отклонение Δ_{x2} края лапы культиватора.

Подставив значения Δ_{x1} и Δ_{x2} в формулу (1.7), получим искомую ширину защитной зоны $\Delta_{x1,2}$. Например, если принять $\Delta_{x1} = 3$ см, $\sigma_{x1} = 2$ см, $\sigma_{x2} = 3$ см, $P(x_{1,2})_d = 0,02$, то на основании выражений (1.8), (1.10), (1.11) получим:

$$P(X_{61}) = 1 - 2 \cdot (3/2) = 1 - 2 \cdot 0,4332 = 0,1336;$$

$$P(X_{62}) = 0,02/0,1336 = 0,15;$$

$$\Phi \left(\frac{\Delta_{x2}}{\sigma_{x2}} \right) = 0,5 \cdot (1 - 0,15) = 0,425.$$

По значению $\Phi[\Delta_{x2}/\sigma_{x2}] = 0,425$ из таблицы 1.2 получим $\Delta_{x2}/\sigma_{x2} = 1,44$. Затем при $\sigma_{x2} = 3$ см определяем $\Delta_{x2} = 1,44 \cdot 3 = 4,32$ см и соответствующую ширину защитной зоны $\Delta_{x1,2} = \Delta_{x1} + \Delta_{x2} = 3 + 4,32 = 7,32$ см.

На основании выражений (1.1) - (1.11) можно решить и обратную задачу — определить желаемые значения средних квадратических отклонений σ_{x1} или σ_{x2} при заданных допусках. Таким образом, указанные равенства позволяют определить методами теории вероятностей основные показатели качества выполнения сельскохозяйственных технологических процессов. Полученные при этом результаты можно использовать как при создании новых конструкций машин, так и непосредственно в производственных условиях. Углубленный анализ оценки качества выполнения работ на основе формул (1.1) - (1.11) с учетом всего диапазона изменения действующих факторов и с применением методов моделирования на ЭВМ следует считать студенческой исследовательской работой.

Современная операционная технология механизированных работ в сельском хозяйстве предусматривает балльный метод приемочного контроля качества работы чаще всего по девятибалльной шкале. Практическое применение этого метода рассмотрим на примере боронования зубowymi боронами. Необходимые данные для такого контроля приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Показатели качества боронования зубowymi боронами

Показатели качества работы	Градация нормативов	Балл	Метод определения
Глубина рыхления, см	Не менее 4	3	В 10 местах по диагонали поля измерить глубину обработки
	не менее 3	2	
	менее 3	1	
Высота гребней и глубина борозд, см	Не более 3	3	В тех же местах одновременно измерить высоту гребней и глубину борозд
	не более 4	2	
	более 4	1	
Комковатость (количество комков диаметром более 4 см), шт./м ²	Не более 4	3	В 10 местах наложить рамку 1 м ² и определить размеры и количество комков
	не более 5	2	
	более 5	1	

Дополнительно следует учесть огрехи, пропуски и другие недостатки. При их наличии общая оценка, полученная по числу баллов, может быть снижена.

Например, если глубина рыхления не менее 4см, высота гребней не более 4см и комковатость более 5, то сумма баллов по таблице 1.3 составит $Z_6 = 3 + 2 + 1 = 6$ с оценкой «хорошо». Если при этом обнаружены огрехи, плохо обработанные поворотные полосы и другие недостатки, то принятая по баллам оценка может быть снижена до «удовлетворительно».

Один из основных недостатков балльного метода контроля качества полевых механизированных работ заключается в его высокой трудоемкости с учетом значительных площадей, обрабатываемых современными МТА в течение рабочего дня. Например, бороновальный агрегат на базе трактора ДТ-75М при длине гона 400-600м обрабатывает за смену продолжительностью 7 ч до 70га. Для измерения показателей качества работы на такой площади в соответствии с рекомендациями, изложенными в последней графе таблицы 1.3, требуется много времени и физических сил.

Другим существенным недостатком этого метода является принятая равноценность всех трех показателей качества работы, тогда как степени их влияния на урожайность возделываемой культуры могут существенно различаться, в связи с этим для каждого показателя качества работы целесообразно ввести соответствующий коэффициент значимости.

С учетом изложенных недостатков необходимо создать приборы непрерывного автоматизированного контроля качества работы МТА.

Пример расчета оценки качества выполнения полевых механизированных работ.

1. Выписываем из таблицы 1.1 исходные данные по варианту задания №30.

№ варианта	Δx	σ_x	$\Delta x_1, \text{ см}$	$\sigma_{x1}, \text{ см}$	$\sigma_{x2}, \text{ см}$	$P(x_{\sigma 1,2})_d$
30	6,7	6,2	3,2	2,0	1,8	0,047

2. Указываем основные группы факторов, влияющих на качество выполнения операций.

3. Даем характеристику основных видов контроля качества механизированных работ.

4. Определяем вероятность качественной работы отдельной операции по формуле (1.1) с учетом

$\Delta x = 6,7$ – допустимое отклонение;

$\sigma_x = 6,2$ – среднее квадратическое отклонение.

$\Phi \left[\frac{6,7}{6,2} \right] = \Phi[1,08] = 0,3599$ – интеграл вероятностей из таблицы 1.2.

$$P(X_d) = 2 \cdot 0,3599 = 0,7198$$

5. Определяем вероятность брака по формуле (1.2)

$$P(X_b) = 1 - 0,7198 = 0,2802$$

Следовательно, вероятность брака в заданных условиях составит 28,02%.

6. С помощью равенств (1.1) и (1.2) можно решить и обратную задачу: определить такое значение среднего квадратического отклонения, при котором вероятность брака не превысит допустимого предела. Для этого принимаем $P(X_B) = P(X_B)_д$ и рассчитываем интеграл вероятностей по формуле (1.6)

$$\Phi \left[\frac{\Delta x}{\sigma x} \right] = \frac{1 - 0,2802}{2} = \frac{0,7198}{2} = 0,3599$$

Для этого значения интеграла вероятностей из таблицы 1.2 имеем $\Delta x / \sigma_{хд} = 1,08$.

Тогда $\sigma_{хд} = 1 / 1,08 = 0,92$ см.

7. Характерный пример двух взаимосвязанных операций – посев пропашных культур и последующая междурядная культивация. Определяем вероятность брака при посеве по формуле (1.8) с учетом

$\Delta_{x1} = 3,2$ см; $\sigma_{x1} = 2$ см – из таблицы 1.1, а $\Delta_{x1} / \sigma_{x1}$ – по таблице 1.2.

$$P(X_{B1}) = 1 - 2 \cdot (3,2 / 2) = 1 - 2 \cdot (1,6) = 1 - 2 \cdot 0,4452 = 1 - 0,8904 = 0,1096.$$

8. Определяем вероятность брака при второй операции междурядной культивации по формуле (1.10) с учетом $P(X_{B1,2})_д = 0,047$ – из таблицы 1.1

$$P(X_{B2}) = 0,047 / 0,1096 = 0,43$$

9. С учетом формул (1.1) и (1.2) рассчитываем интеграл вероятности по формуле (1.11)

$$\Phi \left[\frac{\Delta x_2}{\sigma x_2} \right] = \frac{1 - 0,43}{2} = \frac{0,57}{2} = 0,285.$$

10. По значению $\Phi \left[\frac{\Delta x_2}{\sigma x_2} \right] = 0,285$ по таблице 1.2 определяем $\frac{\Delta x_2}{\sigma x_2} = 0,79$

Затем при $\sigma x_2 = 1,8$ см (из табл. 1.1) определяем

$$\Delta x_2 = 0,79 \cdot 1,8 = 1,422 \text{ см.}$$

11. Определяем ширину защитной зоны по формуле (1.7)

$$\Delta X_{1,2} = 3,2 + 1,422 = 4,62 \text{ см.}$$

12. Дать балльную оценку качества выполнения операции.

Отчет.

Результаты расчетов по всем пунктам задания и выводы следует представить в виде таблицы 1.4.

Таблица 1.4

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Отклонение, Δ_x	6,7 см
2	Среднее квадратичное отклонение, σ_x	6,2 см
3	Отклонение, Δ_{x1}	3,2 см
4	Среднее квадратичное отклонение, σ_{x1}	2 см
5	Среднее квадратичное отклонение, σ_{x2}	1,8 см
6	Допустимая вероятность брака при обеих операциях, $P(X\sigma_{1,2})_D$	0,047
7	Вероятность качественной работы отдельной операции, $P(X_D)$	0,7198
8	Вероятность брака, $P(X_B)$	0,2802
9	Интеграл вероятностей, $\Phi \left[\frac{\Delta_x}{\sigma_x} \right]$	0,3599
10	Среднее квадратичное отклонение, σ_{xD}	0,92
11	Вероятность брака при посеве, $P(X_{B1})$	0,1096
12	Вероятность брака при второй операции, $P(X_{B2})$	0,43
13	Интеграл вероятностей, $\Phi \left[\frac{\Delta_{x2}}{\sigma_{x2}} \right]$	0,285
14	Отношение, $\frac{\Delta_{x2}}{\sigma_{x2}}$	0,79
15	Отклонение, Δ_{x2}	1,422 см
16	Ширина защитной зоны, $\Delta X_{1,2}$	4,62 см

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СРОКОВ НАЧАЛА И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Цель задания – освоение методики и приобретение навыков в нахождении оптимальных решений организации единичных технологических процессов.

Интенсивные технологии обязывают исполнителей применять методы, позволяющие наиболее полно использовать возможности имеющейся техники, оптимизировать сроки выполнения работ и состав технических средств, при выполнении работ в конкретных условиях хозяйства обеспечивать минимум потерь урожая.

Основные положения

В условиях хозяйства объемы работ по каждому технологическому процессу большие и их выполнение в наиболее благоприятный момент (**НБМ**) практически невозможно. При поиске оптимальных решений стратегия базируется на теории оптимального риска, который ведет к ошибкам: либо к недобору урожая вследствие удлинения сроков проведения работ, либо к большим затратам в случае привлечения к выполнению технологического процесса более мощных технических средств и проведения работ в кратчайшие сроки. Ошибки необходимо свести к минимуму путем нахождения минимума средних потерь урожая и определения на этой основе параметров технических средств, для выполнения данного технологического процесса.

В общем случае интенсивность потерь урожайности (**К**) различна при выполнении технологического процесса с опережением или запаздыванием по отношению к наиболее благоприятному моменту.

Значение величины **К** для любого момента времени t равно абсолютной величине первой производной функции изменения урожайности во времени $U = f(t)$. Для удобства расчетов выразим **К** в относительных единицах, т. е. в долях урожая 1/сут, приняв U_{\max} за единицу. Полагаем, что потери урожая пропорциональны времени.

Например, при преждевременной уборке зерновых коэффициент K_1 можно определить по формуле

$$K_1 = (Q - Q_1) / (Q \cdot t_0 - t_1), \quad (2.1)$$

где Q — абсолютный вес зерна в момент полной спелости хлебов; Q_1 — абсолютный вес зерна за t_1 дней до наступления НБМ.

Значение K_2 при запаздывании со сроками уборки учитывает уменьшение урожая за счет осыпания зерна при механическом воздействии рабочих органов комбайна и может быть определено по формуле

$$K_2 = (\Delta U - \Delta U_1) / [U_{max} \cdot (t_2 - t_0)], \quad (2.2)$$

где ΔU — потери урожая при уборке в НБМ; ΔU_1 — потери при уборке через t_2 дней после НБМ.

Ориентировочные значения интенсивности потерь урожая для различных технологических процессов и сельскохозяйственных культур приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Влияние несвоевременного выполнения технологических процессов на величину потерь урожая

Технологический процесс	Культура, сорт	Интенсивность потерь, 1/сут	
		K_1	K_2
Посев	Озимая пшеница	0,0062	0,0062
	Ячмень	0,0098	0,0052
	Яровая пшеница	0,008	0,0052
	Подсолнечник	0,012	0,014
Уборка (в числителе – прямое комбайнирование, в знаменателе – на подборе)	Озимая пшеница	0,019/0,015	0,015/0,012
	Яровая пшеница	0,016/0,013	0,013/0,010
	Ячмень	0,012/0,010	0,023/0,018
	Картофель	0,0146	0,0035
	Сахарная свекла	0,013	0,003
	Люпин	0,0110	—
	Кукуруза на силос	0,028	0,0095

В числителе указана интенсивность потерь при прямом комбайнировании, в знаменателе – при отдельной уборке.

Наличие разницы в почвенно-климатических условиях отдельных участков обуславливает не мгновенное наступление НБМ для выполнения технологического процесса на полях хозяйства. Для упрощения расчетов темп наступления НБМ (P) аппроксимируем прямой линией, пропорциональной площади (F), на которой необходимо выполнить технологический процесс, и обратно пропорциональной разнице времени позднего (t_2) и раннего (t_1) наступления НБМ:

$$P = \frac{F}{t_2 - t_1}. \quad (2.3)$$

Суточная производительность агрегатов определяется по формуле

$$W_c = W_x \cdot n \cdot T_c, \quad (2.4)$$

где W_c — часовая производительность агрегатов, га/ч; n — количество агрегатов; T_c — число часов работы агрегатов в сутки, ч.

Сравнивая P и W_c , можно видеть, что только при $P = W_c$ потери урожая будут минимальны, при $W_c < P$ или $W_c > P$ потери неизбежно растут. В связи с этим задачами оптимизации технологического процесса будут:

- по минимуму потерь урожая определить сроки начала и продолжительность выполнения технологического процесса при известном количестве технических средств;
- по допустимым потерям урожая определить количество технических средств для выполнения технологического процесса.

С точки зрения унификации решения задач технологические процессы подразделяют: на простые, сложные и комбинированные.

Простыми называют такие, при выполнении которых обрабатываемая среда переходит из своего исходного состояния в конечное при однократном воздействии на нее рабочих органов машин. Например, вспашка, посев, уборка прямым комбайнированием.

К сложным технологическим процессам относятся такие, при выполнении которых рабочие органы сельскохозяйственных машин воздействуют на обрабатываемую среду два и более раза через определенные интервалы времени (заготовка грубых кормов, раздельная уборка зерновых и др.).

Комбинированные технологические процессы представляют сочетание простого и сложного процессов, когда часть работ выполняется при однократном воздействии рабочих органов, а часть — с помощью многократного воздействия.

Общая формулировка задачи

В хозяйстве необходимо выполнить технологический процесс при возделывании или уборке i -й культуры на площади F (га). Темп наступления наиболее благоприятного момента для данного процесса на полях хозяйства равен P (га/сут). Интенсивность потерь урожая до наступления НБМ и после него соответственно равна $K1$ и $K2$ (1/сут). Урожайность данной культуры при уборке ее в НБМ равна U (т/га) и одинакова для всех полей.

Определить начало и продолжительность выполнения данного технологического процесса, обеспечив минимум потерь урожая, если известно, что в хозяйстве имеются n агрегатов, часовая производительность каждого из них W_a (га/ч), длительность смены T_c (ч).

Схема простого производственного процесса представлена на рисунке 2.1.

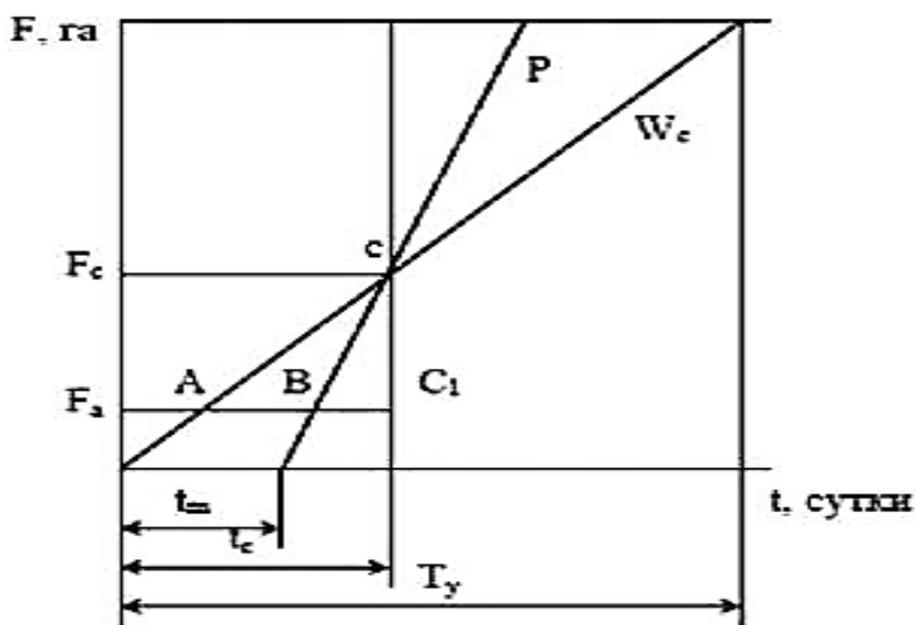


Рисунок 2.1 – Схема организации простого технологического процесса

Начало выполнения работ ориентируем относительно раннего срока наступления НБМ (точка **M** на оси времени).

Потери урожая dQ_1 с элементарной площади dF из-за преждевременного выполнения процесса составят

$$dQ_1 = U_{max} \cdot K_1 \cdot (F_c - F_a) \cdot \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \cdot dF. \quad (2.5)$$

Общие потери урожая с площади F_c , на которой выполнен технологический процесс до наступления НБМ, получим после интегрирования (2.5) в пределах от нуля до F_c .

$$Q_1 = 0,5 \cdot U_{max} \cdot K_1 \cdot \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \cdot F_c^2. \quad (2.6)$$

Потери урожая на оставшейся площади $F - F_c$ после наступления НБМ определим из выражения

$$Q_1 = 0,5 \cdot U_{max} \cdot K_1 \cdot \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \cdot (F - F_c)^2. \quad (2.7)$$

Общие потери при выполнении технологического процесса со всей площади будут

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (2.8)$$

Величина потерь зависит от площади F_c , которая изменяется в зависимости от срока начала выполнения работы t_m

$$F_c = \frac{P \cdot W_c \cdot t_m}{P - W_c}. \quad (2.9)$$

Для определения t_m , соответствующего минимально возможным потерям урожая из-за несвоевременного выполнения технологического процесса, необходимо взять первую производную из уравнения потерь по t_m . Приравняв ее нулю — $dQ/dt_m=0$, после преобразований получим

$$t_m = \frac{K_2 \cdot (P - W_c) \cdot F}{P \cdot W_c (K_1 + K_2)}. \quad (2.10)$$

Площадь, на которой должен быть выполнен технологический процесс до наступления НБМ, равна

$$F_c = F \cdot K_2 / (K_1 + K_2). \quad (2.11)$$

Общее время выполнения технологического процесса:

$$T_y = F/W_c. \quad (2.12)$$

Для случая, когда начало выполнения производственного процесса совпадает с ранним сроком наступления НБМ, потери урожая составят

$$Q = 0,5 \cdot U_{max} \cdot K_2 \cdot \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \cdot F^2. \quad (2.13)$$

При оптимальной организации простого процесса потери урожая будут

$$Q = \frac{U_{max} \cdot K_2 \cdot F^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{W_c} - \frac{1}{P} \right) \cdot C;$$

$$C = \left(1 + \frac{K_1 \cdot K_2}{(K_1 + K_2)^2} - \frac{2 \cdot K_2}{K_1 + K_2} + \frac{K_2^2}{(K_1 + K_2)^2} \right). \quad (2.14)$$

Количество технических средств для обеспечения уборки урожая с допустимыми потерями [Q]:

$$n = \frac{P \cdot K_2 \cdot F \cdot C}{W_{ч} \cdot T_c \cdot (2[Q]P + K_2 \cdot F \cdot C)}. \quad (2.15)$$

При расчете оптимальной организации сложного технологического процесса (рис. 2.2) отдельная уборка зерновых, заготовка грубых кормов и другие виды работ прежде всего определяют темп наступления НБМ для подбора валков (P_1):

$$P_1 = \frac{m \cdot P \cdot W_{oc}}{m \cdot P - e \cdot (P - W_{oc})}, \quad (2.16)$$

где P — темп наступления готовности полей к уборке прямым комбайнированием, га/сут; W_{oc} — суточная производительность жаток, га/сут; m — количество суток от начала скашивания до полного созревания на корню; e — срок дозревания первоначально скошенной массы в валках, сут.

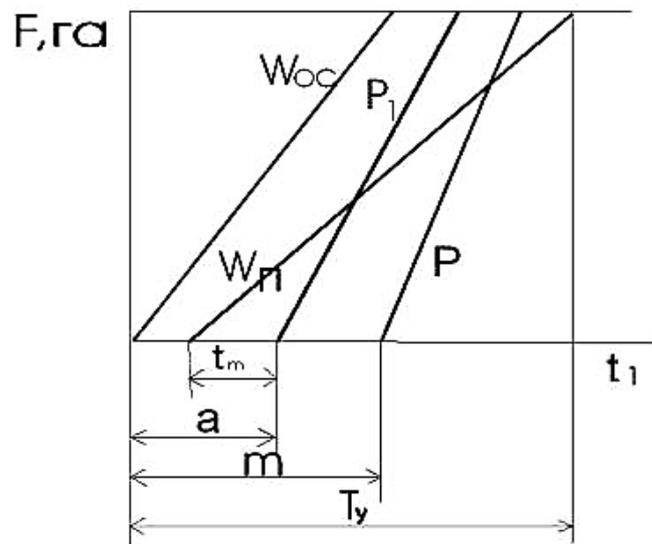


Рисунок 2.2 – Схема организации работ при выполнении сложного технологического процесса

Дальнейшие расчеты выполняются по зависимостям, приведенным для простого производственного процесса. Следует учитывать, что интенсивность потерь урожая до наступления готовности валков к подбору K_{01} и после нее K_{02} по численной величине с K_1 и K_2 может не совпадать.

При расчете комбинированного процесса может иметь место последовательная и параллельная комбинация во времени и простого, и сложного производственных процессов.

Наиболее вероятная схема организации комбинированного процесса с последовательной комбинацией процессов представлена на рисунке 2.3.

Потери урожая при раздельной уборке определяем по формуле

$$Q = 0,5 \cdot U_{max} \cdot K_{02} \cdot \left(\frac{1}{W_{\Pi}} - \frac{1}{P_1} \right) \cdot F_2^2, \quad (2.17)$$

где K_{02} — интенсивность потерь урожая после наступления готовности валков к уборке, 1/сут; W_{Π} — суточная производительность комбайнов при подборе валков, га/сут; P_1 — темп наступления готовности валков к подбору, га/сут; F_2 — площадь, которую необходимо выделить для раздельной уборки.

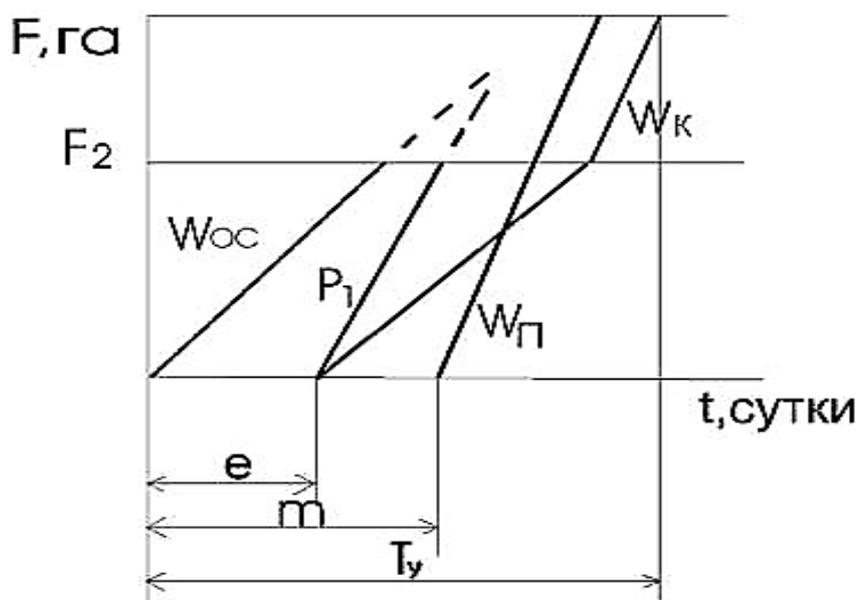


Рисунок 2.3 – Схема организации работ с последовательной комбинацией технологических процессов

Потери урожая с площади $F - F_2$, убираемой по схеме простого производственного процесса (прямое комбайнирование), составят

$$Q = \frac{U_{max}}{2} \cdot K_2 (F - F_2) \cdot \left\{ F \cdot \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{P} \right) + F_2 \cdot \left[\left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{P} \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{W_{\Pi}} \right) \right] - 2 \cdot (m - e) \right\}. \quad (2.18)$$

Определив общие потери $Q = Q_1 + Q_2$, продифференцируем их по F_2 и, приравняв производную нулю, определим F_2 :

$$F_2 = \frac{\left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{W_{\Pi}} \right) \cdot F - (m - e)}{\frac{K_{02}}{K_2} \cdot \left(\frac{1}{W_{\Pi}} - \frac{1}{P} \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{W_{\Pi}} \right) - \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{P} \right)}, \quad (2.19)$$

где W_K — суточная производительность комбайнов на прямом комбайнировании, га/сут.

Общая продолжительность уборки равна

$$T_y = e + \frac{F_2}{W_{\Pi}} + \frac{F - F_2}{W_K}. \quad (2.20)$$

При организации уборки может иметь место не только последовательное, но и параллельное выполнение производственных процессов. Наиболее простой случай, когда подбор валков и прямое комбайнирование начинаются в момент готовности хлебов к уборке (рис. 2.4).

Площадь, которую необходимо выделить для отдельной уборки, определим после дифференцирования: dQ/dF_2 .

Приравняв первую производную нулю, после преобразований получим

$$F_2 = \frac{K_2 \cdot \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{P}\right) \cdot F}{K_{02} \cdot \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{P_1}\right) + K_2 \cdot \left(\frac{1}{W_K} - \frac{1}{P}\right)}. \quad (2.23)$$

Общая продолжительность уборки будет равна

$$T_y = m + \frac{F_2}{P} + \frac{F - F_2}{W_K}. \quad (2.24)$$

Варьируя количество технических средств по вышеприведенным зависимостям, можно получить изменение потерь урожая в зависимости от состава и структуры машинно-тракторного парка, используемого на выполнении данного технологического процесса.

Содержание задания

В хозяйстве возделывают i -ю культуру по интенсивной технологии на площади F (га). Планируемая урожайность U (т/га). В хозяйстве имеется жаток n_j , комбайнов n_k . Длительность рабочего дня в период уборки установлена **10** ч. Часовая производительность жатки $W_{оч}$, комбайна на подборе валков W_p , на прямом W_k комбайнировании. Интенсивность потерь урожая на прямом комбайнировании и на подборе валков для культуры приведена в таблице 2.1. Темп созревания хлебов на корню — P (га/сут). Первоначально скошенные хлеба в валках созревают за e дней. Жатву при отдельной уборке начинают в восковой спелости за m дней до полной спелости хлебов.

По исходным данным вашего варианта, принятым из таблиц 2.2 и 2.3, определите:

- 1) потери урожая, начало выполнения работ и сроки их проведения, если вся площадь будет убрана прямым комбайнированием;
- 2) потери урожая, длительность скашивания и подбора, если вся площадь будет убрана отдельным способом;

3) площадь, которую необходимо выделить для отдельной уборки, потери урожая и сроки выполнения работ, если уборка будет организована последовательно отдельным способом и прямым комбайнированием (при условии, что все комбайны будут работать вначале на подборе валков, а затем на прямом комбайнировании);

4) площадь, которую необходимо выделить для отдельной уборки, потери урожая и сроки выполнения работ, если уборка будет организована параллельно раздельным способом и прямым комбайнированием (при условии, что половина комбайнов будет занята на отдельной уборке, а половина — на прямом комбайнировании);

Таблица 2.2 – Варианты задания

№ варианта	Культура	Площадь поля, га	Урожайность, т/га	Темп созревания, га/сут.	Наличие техники в хозяйстве			Продолжительность созревания от восковой до полной спелости	
					ЖВН-6А	СК-5	СК-6	на корню	в валках
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Яровые зерновые	3000	3,4	1000	5	12	—	7	3
2		4000	3,7	1200	6	—	15	8	4
3		5000	4,0	1400	7	12	—	7	3
4		3000	4,5	1200	5	—	12	8	4
5		4000	5,0	1400	6	16	—	7	4
6	Озимые зерновые	4000	4,5	1000	8	—	15	7	3
7		3000	4,0	1200	6	12	—	8	4
8		5000	4,2	1400	8	—	15	7	3
9		3000	4,6	1200	6	12	—	8	4
10		5000	5,0	1400	8	—	16	7	4
11	Ячмень	3000	3,4	1000	5	12		7	3
12		4000	3,6	1200	6	—	15	8	4
13		5000	4,0	1400	7	12	—	7	3
14		3000	4,0	1200	5	—	12	8	4
15		4000	4,0	1400	6	16	—	7	4
16	Яровые зерновые	3000	3,4	1200	5	-	12	8	3
17		5000	3,7	1400	6	18	-	7	3
18		3000	4,0	800	5	-	12	8	3
19		5000	3,4	1000	7	18	-	7	4
20		3000	4,0	1400	5	-	12	8	3

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	Озимые зерновые	4000	4,7	1200	6	—	14	7	4
22		5000	4,0	800	7	18	—	8	3
23		4000	3,4	1000	6	—	14	7	4
24		5000	4,7	1400	7	18	—	8	3
25		5000	3,4	1000	5	—	14	7	3

5) для стратегии уборки, обеспечивающей минимум потерь урожая, определите количество комбайнов, при работе которых потери не превысят [Q]%.

Таблица 2.3 – Показатели использования техники на уборке

Виды работ	Урожайность, всего зерна, т/га	Состав агрегата	Производи- тельность, га/ч
Яровые зерновые, урожайность зерна 3,4 т/га			
Скашивание в валки	3,4	МТЗ-80 + ЖВС-6	4,00
	6,8	СК-3 + ЖВН-6	4,14
Подбор и обмолот валков с укладкой соломы в копны	3,4	СК-5	1,16
	6,8	СК-6	1,34
Прямое комбайнирование с измельчением соломы	3,4	СК-5	1,09
	6,8	СК-6П	1,016
Прямое комбайнирование с укладкой соломы в валок	3,4	СК-5 + ОПР-165	1,07
	6,8	СК-6П	1,14
Яровые зерновые, урожайность 3,7 т/га			
Скашивание в валки	3,7	МТЗ-80 + ЖВС-6	3,50
	7,6	СК-5 + ЖВН-6	3,60
Подбор и обмолот валков с измельчением	3,7	СК-5 + ПУН-5 + 2ПТС-4-887Б	1,04
	7,6	СК-6	1,34
Прямое комбайнирование с измельчением соломы	3,7	СК-5	1,01
	7,6	СК-6П	1,10
Озимые зерновые, урожайность 4,0 т/га			
Скашивание в валки	4.0	МТЗ-80 + ЖВС-6	3,40
	10.0	СК-5 + ЖВН-6	3,34
		СК-5 + ЖСК-4А	2,00
Подбор и обмолот валков с укладкой соломы в копны	4.0	СК-5 + ППТ-3А	0,91
	10.0		
Прямое комбайнирование с измельчением и сбором соло- мы в транспортные средства	4.0	СК-5 + ПУН-5 + 2ПТС-4-887Б	0,83
	10.0		1,01
Прямое комбайнирование со сбором соломы в копны	4,0	СК-5	0,86
	10,0	СК-6	1,07

Продолжение таблицы 2.3

Виды работ	Урожайность, всего зерна, т/га	Состав агрегата	Производи- тельность, га/ч
Озимые зерновые, урожайность 5,0 т/га			
Скашивание в валки	5,0	МТЗ-80 + ЖВС-6	3,0
	11,0	СК-5 + ЖВН-6	2,9
Подбор валков с измельчени- ем	5,0	СК-5 + ПУН-5 + 2ПТС-4-887Б	0,80
	11,0	СК-6	0,93
Прямое комбайнирование с измельчением	5,0	СК-5 + ПУН-5 + 2ПТС-4-887Б	0,79
	11,0	СК-6	0,86
Ячмень, урожайность 3,5 т/га			
Скашивание в валки	3,5	МТЗ-80 + ЖВС-6	3,5
	5,5	СК-5 + ЖВС-6	3,5
Подбор и обмолот валков с измельчением соломы и сбо- ром в тележку	3,5	СК-5 + ПУН-5 + 2ПТС-4-887Б	1,16
		СК-5	1,34
Прямое комбайнирование с укладкой соломы в валок	3,5	СК-5	1,09
	5,5	СК-6	11,6
Ячмень, урожайность 4,0 т/га			
Скашивание в валки	4,0	МТЗ-80 + ЖВС-6	4,0
	7,0	СК-5 + ЖВН-6	
Подбор и обмолот валков	4,0	СК-6	1,23
	7,0	СК-5	1,04
Прямое комбайнирование с измельчением соломы	4,0	СК-5 + ПУН-5	1,34
	7,0	СК-6	1,45

Пример расчета

1. Исходные данные в соответствии с условными обозначениями, принятыми в методическом указании, выписываем для своего варианта в таблицы 2.4, 2.5.

Таблица 2.4 – Параметры процесса

Культура	F, га	P, га/сут	U, т/ га	n _ж	n _к	m	e	W _{ос} , га/ч	W _п , га/ч	W _к , га/ч
Озимая пшеница	4200	1500	4,5	6	24	8	5	3,30	0,90	0,83

Таблица 2.5 – Интенсивность потерь урожая

Интенсивность потерь урожая			
на подборе валков		на прямом комбайнировании	
K_{01}	K_{02}	K_1	K_2
0,015	0,012	0,019	0,015

2. Определяем суточную производительность (по формуле (2.4)):

а) жаток

$$W_{oc} = 3,30 \cdot 6 \cdot 10 = 198 \text{ га / сут.};$$

б) комбайнов на подборе валков

$$W_{п} = 0,90 \cdot 24 \cdot 10 = 216 \text{ га/сут};$$

в) комбайнов на прямом комбайнировании

$$W_{к} = 0,83 \cdot 24 \cdot 10 = 199 \text{ га/сут.}$$

3. Определяем темп наступления готовности валков к подбору по формуле (2.16):

$$P_1 = \frac{8 \cdot 1500 \cdot 198}{8 \cdot 1500 - 5 \cdot (1500 - 198)} = 433 \text{ га/сут.}$$

4. Потери урожая при уборке всей площади прямым комбайнированием в случае начала выполнения работ в момент полного созревания хлебов определяем из выражения (2.13):

$$Q = \frac{4,5}{2} \cdot 0,015 \cdot \left(\frac{1}{199} - \frac{1}{1500} \right) \cdot 4200^2 = 2595 \text{ т.}$$

5. Потери урожая при уборке всей площади прямым комбайнированием при оптимальной организации процесса определим по формуле (2.14):

$$Q = \frac{4,5}{2} \cdot 0,015 \cdot 4200^2 \cdot \left(\frac{1}{199} - \frac{1}{1500} \right) \cdot \left[1 + \frac{0,019 \cdot 0,015}{(0,019 + 0,015)^2} - \frac{2 \cdot 0,015}{0,019 + 0,015} + \frac{0,015^2}{(0,019 + 0,015)^2} \right] = 1450 \text{ т.}$$

6. Количество суток до полной спелости хлебов, когда необходимо начать прямое комбайнирование, чтобы обеспечить минимум потерь урожая, будет по формуле (2.10):

$$t_m = \frac{0,015 \cdot (1500 - 199) \cdot 4200}{(0,019 + 0,015) \cdot 1500 \cdot 199} = 8,07 \text{ сут.}$$

7. Общее время уборки согласно (2.12) будет равно

$$T_y = 4200/199 = 21 \text{ сут.}$$

8. Потери урожая при отдельной уборке зерновых, если подбор начинают в момент полного созревания валков, определим по формуле (2.13):

$$Q = \frac{4,5}{2} \cdot 0,012 \cdot 4200^2 \cdot \left(\frac{1}{216} - \frac{1}{433} \right) = 1105 \text{ т.}$$

9. Определяем длительность скашивания

$$T_{CK} = \frac{F}{W_c} = \frac{4200}{198} = 21 \text{ сут.}$$

10. Продолжительность подбора валков равна

$$T_{\Pi} = \frac{4200}{216} = 19,4 \text{ сут.}$$

11. Площадь, которую необходимо выделить для отдельной уборки при последовательной организации процесса, определяем по формуле (2.19):

$$F_2 = \frac{\left(\frac{1}{199} - \frac{1}{216} \right) \cdot 4200 - (8 - 5)}{0,012 \cdot \left(\frac{1}{216} - \frac{1}{413} \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{199} - \frac{1}{216} \right) - \left(\frac{1}{199} - \frac{1}{1500} \right)} = 783 \text{ га.}$$

12. Потери урожая, если уборка будет организована последовательно отдельным и прямым комбайнированием, определяем по формулам (2.17) и (2.18):

$$Q_1 = \frac{4,5}{2} \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{1}{216} - \frac{1}{433} \right) \cdot 783^2 = 38,4 \text{ т.}$$

$$Q_2 = \frac{4,5}{2} \cdot 0,015 \cdot (4200 - 783) \cdot \left\{ 4200 \cdot \left(\frac{1}{199} - \frac{1}{1500} \right) + 783 \cdot \left[\left(\frac{1}{199} - \right. \right. \right.$$

$$\left. \frac{1}{1500} + 2 \cdot \left(\frac{1}{199} - \frac{1}{216} \right) \right] - -2 \cdot (8 - 5) \} = 1721,4 \text{ т.}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 38,4 + 1721,4 = 1759,8 \text{ т.}$$

13. Продолжительность уборки при последовательной организации комбинированного процесса определяем по формуле (2.20):

$$T_y = 5 + \frac{783}{216} + \frac{3417}{199} = 25 \text{ сут.}$$

14. Площадь, которую необходимо выделить для отдельной уборки при параллельной организации процесса, определяем из выражения (2.23).

14.1 Суточная производительность комбайнов, занятых на подборе валков, равна согласно (2.4) с учетом $n_k / 2 = 24 / 2 = 12$

$$W_{\Pi} = W_{\text{чп}} \cdot P_k \cdot T_c = 0,90 \cdot 12 \cdot 10 = 108 \text{ га/сут.}$$

14.2 Суточная производительность комбайнов, занятых на прямом комбайнировании, равна

$$W_K = W_{\text{чп}} \cdot P_k \cdot T_c = 0,83 \cdot 12 \cdot 10 = 100 \text{ га/сут.}$$

$$F_2 = \frac{0,015 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{1500} \right) \cdot 4200}{0,012 \cdot \left(\frac{1}{108} - \frac{1}{433} \right) + 0,015 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{1500} \right)} = 2632 \text{ га.}$$

15. Потери урожая при параллельной организации уборки с учетом формул (2.21) и (2.22) будут

$$Q = \frac{4,5}{2} \cdot 0,012 \cdot \left(\frac{1}{108} - \frac{1}{433} \right) \cdot 2632^2 + \frac{4,5}{2} \cdot 0,015 \cdot \left(\frac{1}{100} - \frac{1}{1500} \right) 1568^2 = 2074 \text{ т.}$$

16. Продолжительность уборки при параллельной организации работ будет согласно формуле (2.24):

$$T_y = m + \frac{F_2}{P} + \frac{F - F_2}{W_K} = 8 + \frac{2632}{1500} + \frac{1568}{100} = 25,5 \text{ сут.}$$

17. Количество комбайнов, необходимых для уборки хлебов прямым комбайнированием при оптимальной организации их работы и обеспечении потерь не более 5%, определим по формуле (2.15):

$$n_K = \frac{1500 \cdot 0,015 \cdot 0,619 \cdot 4200}{0,83 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 0,05 \cdot 1500 + 0,015 \cdot 0,619 \cdot 4200)} = 37.$$

18. Количество комбайнов, которые обеспечат уборку зерновых с потерями не более 5% отдельным способом при начале подбора валков в момент их полного созревания, определим из выражения (2.15) при $C = 1$:

$$n_K = \frac{433 \cdot 0,012 \cdot 4200}{0,90 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 0,05 \cdot 433 + 0,012 \cdot 4200)} = 26.$$

Аналогично можно определять потребность в технике для любой стратегии организации уборки.

Отчет.

Результаты расчетов систематизировать и представить в виде таблицы.

Таблица 2.6

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Культура	Озимая пшеница
2	Площадь, F	4200 га
3	Урожайность, U	4,5 т/га
4	Темп созревания, P	1500 га/сут
5	Количество жаток, $n_{ж}$	6
6	Количество комбайнов, n_K	24
7	Продолжительность созревания на корню, m	8 дней
8	Продолжительность созревания в валках, e	5 дней
9	Часовая производительность жаток, W_{oc}	3,3 га/ч
10	Часовая производительность на подборе валков, $W_{п}$	0,9 га/ч
11	Часовая производительность на прямом комбайнировании, W_K	0,83 га/ч

Продолжение таблицы 2.6

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
12	Интенсивность потерь урожая на подборе валков, K_1 K_2	0,015 0,012
13	Интенсивность потерь урожая на прямом комбайнировании, K_1 K_2	0,019 0,015
14	Суточная производительность жаток, W_{oc}	198 га/сут
15	Суточная производительность комбайнов на подборе валков, $W_{п}$	216 га/сут
16	Суточная производительность комбайнов на прямом комбайнировании, $W_{к}$	199 га/сут
17	Темп наступления готовности валков к подбору, P_1	433 га/сут
18	Потери урожая при уборке всей площади прямым комбайнированием в момент полного созревания, Q	2595 т
19	Потери урожая при уборке всей площади прямым комбайнированием при оптимальной организации процесса, Q	1450 т
20	Количество суток до полной спелости хлебов, когда необходимо начать прямое комбайнирование, чтобы обеспечить минимум потерь урожая, t_m	8,07 сут
21	Общее время уборки, T_y	21 сут
22	Потери урожая при отдельной уборке зерновых, если подбор начинают в момент полного созревания валков, Q	1105 т
23	Длительность скашивания, $T_{ск}$	21 сут.
24	Продолжительность подбора валков, $T_{п}$	19,4 сут.
25	Площадь, которую необходимо выделить для отдельной уборки при последовательной организации процесса, F_2	783 га
26	Потери урожая, если уборка будет организована отдельным комбайнированием, Q_1	38,4 т
	Потери урожая, если уборка будет организована прямым комбайнированием, Q_2	1721,4 т
27	Суммарные потери, Q	1759,8 т
28	Продолжительность уборки при последовательной организации комбинированного процесса, T_y	25 сут

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
29	Суточная производительность комбайнов на подборе валков при параллельной организации процесса, $W_{п}$	108 га/сут
30	Суточная производительность на прямом комбайнировании при параллельной организации процесса, $W_{к}$	100 га/сут
31	Площадь, которую необходимо выделить для раздельной уборки при параллельной организации процесса, F_2	2632 га
32	Потери урожая при параллельной организации уборки, Q	2074 т
33	Продолжительность уборки при параллельной организации работ, T_y	25,5 сут.
34	Количество комбайнов, необходимых для уборки хлебов прямым комбайнированием при оптимальной организации их работы и обеспечении потерь не более 5%, $n_{к}$	37
35	Количество комбайнов, которые обеспечат уборку зерновых с потерями не более 5% раздельным способом при начале подбора валков в момент их полного созревания, $n_{к}$	26

Сделать выводы по каждому пункту расчетов.

При выполнении задания на компьютере (исследовательская работа студента) следует получить закономерности изменения определяемых параметров в зависимости от действующих факторов с последующим анализом результатов исследований под руководством преподавателя.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель задания — освоение методики и приобретение навыков определения эффективности и оптимальной структуры комплексов технических средств при поточной организации производственных процессов на основе теории массового обслуживания.

Основные положения

Освоение методики расчета оптимальной структуры уборочно-транспортных, транспортно-посевных и других комплексов с вероятностной оценкой состояний взаимодействующих подсистем позволяет получить наибольшую эффективность их применения при поточной организации процессов.

Условием непрерывности потока является равенство производительностей по всем звеньям комплексов:

$$n_1 \cdot W_1 = n_2 \cdot W_2 = \dots = n_i \cdot W_i = \dots = n_k \cdot W_k, \quad (3.1)$$

где n_i — число однотипных агрегатов в i -м звене; W_i — часовая производительность агрегата i -го звена.

Основное звено потока определяет темп всего производственного процесса. Значения W_i служат исходными данными при определении числа агрегатов в звеньях потока, если количество машин в основном звене известно. Работа большинства сельскохозяйственных агрегатов циклична. Постоянство производительности определяет постоянство времени каждого цикла, которое, как известно, зависит от многих причин и является величиной случайной. Следовательно, возможны случаи простоя агрегатов в смежных звеньях потока, что ведет к снижению их производительности.

В целях более рационального использования техники необходимо оценивать вероятность простоя агрегатов, их длительность и т. д.

Применение методов теории массового обслуживания позволяет детально проанализировать явления, происходящие на стыках производственных процессов при поточной их организации.

Два смежных производственных процесса одного потока можно рассматривать как систему обслуживания, при которой агрегаты, выполняющие один процесс, будут **обслуживаемыми**, а агрегаты, выполняющие второй процесс, — **обслуживающими**.

Анализ функционирования системы обслуживания начинают с потока поступающих заявок на обслуживание и возможностей обслуживающего звена

системы в удовлетворении этих заявок. Для системы массового обслуживания типичен случайный поток требований, обладающий свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последствия.

Потоки, обладающие этими тремя свойствами, называются **простейшими** или **«пуассоновскими»**. Для такого потока число требований, попадающих на любой фиксированный интервал времени, будет распределено по закону Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (3.2)$$

где $P_k(t)$ — вероятность поступления точно k требований за время t ; t — величина фиксированного интервала времени; λ — параметр потока (математическое ожидание числа требований, поступивших в единицу времени); λt — параметр закона Пуассона.

Величину λ определяют по формуле

$$\lambda = \frac{N}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (3.3)$$

где N — число требований, поступающих от одного агрегата за время $T = \sum_{i=1}^n t_i$

t_i — интервал времени между поступлениям i -го и $i + 1$ требованиями.

Характеристикой функционирования обслуживающего звена системы является продолжительность обслуживания одного требования, которая может быть описана показательным законом:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (3.4)$$

где $F(t)$ — вероятность того, что время обслуживания не превысит заданную величину t ; μ — параметр закона (математическое ожидание числа заявок, обслуженных в единицу времени):

$$\mu = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^{n_1} t_1}, \quad (3.5)$$

Основные показатели системы определяются следующими зависимостями:

- коэффициент простоя обслуживающего агрегата

$$K_{\text{пр}} = \frac{L_1}{m} = \frac{1}{m} \sum_{k=n+1}^m (k - n) \cdot P_k, \quad (3.6)$$

где m, n — число агрегатов в обслуживаемых звеньях; k - номер состояния системы; n - число обслуживающих агрегатов.

- средняя длина очереди обслуживаемых агрегатов

$$L_1 = \sum_{k=n+1}^m (k - n) \cdot P_k; \quad (3.7)$$

- математическое ожидание числа агрегатов, находящихся в зоне обслуживания

$$L_2 = \sum_{k=1}^m k \cdot P_k; \quad (3.8)$$

математическое ожидание числа свободных обслуживающих агрегатов

$$L_3 = \sum_{k=0}^{n-1} (n - k) \cdot P_k; \quad (3.9)$$

- коэффициент простоя обслуживающих агрегатов

$$K_{пр} = \frac{L_3}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (n - k) \cdot P_k. \quad (3.10)$$

Для анализа функционирующей системы необходимо определить вероятность ее пребывания в каждом из возможных состояний. Для систематизации информации расчет ведут в соответствии с таблицей 3.1.

Таблица 3.1 – Алгоритм расчета оценок эффективности смежных звеньев поточного производства

Число требований в системе k	Число агрегатов, ожидающих обслуживания, $k-n$	Число свободных обслуживающих агрегатов, $n-k$	P_k/P_0	P_k	kP_k	$(k - n)P_k$	$(n - k)P_k$
$k = 0$	0	n	P_0/P_0	P_0	0	0	nP_0
$k = 1$	0	$n - 1$	P_1/P_0	P_1	P_1	0	$(n - 1)P_1$
$k = 2$	0	$n - 2$	P_2/P_0	P_2	$2P_2$	0	$(n - 2)P_2$
...
$k = n$	0	0	P_n/P_0	P_n	nP_n	0	0
...
$k = m$	$m - n$	0	P_m/P_0	P_m	mP_m	$(m - n)P_m$	0
			$\sum_{k=0}^m \frac{P_k}{P_0}$	$\sum_{k=0}^m P_k = 1$	$L_2 = \sum_{k=1}^m kP_k$	$L_1 = \sum_{k=n+1}^m (k - n)P_k$	$L_3 = \sum_{k=0}^{n-1} (n - k)P_k$

В первом столбце таблицы 3.1 стоит номер состояния системы. За нулевое состояние системы принимаем такое, когда все обслуживаемые агрегаты находятся вне зоны обслуживания. Число строк в столбце равно числу состояний системы, т. е. $m + 1$.

Во второй столбец таблицы 3.1 проставляется число агрегатов, ожидающих обслуживания в каждом k -м состоянии.

В третий столбец таблицы 3.1 вносят величину соотношения P_k/P_0 , т. е. отношения вероятности того, что в системе обслуживания находятся точно k требований, к вероятности того, что обслуживающие агрегаты свободны. Величину этого отношения находят по формулам:

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{m!}{k!(m-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \text{ при } 0 \leq k \leq n; \quad (3.11)$$

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{m!}{n^{k-n} \cdot n!(m-k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \text{ при } n \leq k \leq m; \quad (3.12)$$

Вероятность P_0 определяется из соотношения

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{P_k}{P_0}} \quad (3.13)$$

Умножая все элементы четвертого столбца на P_0 , получают элементы пятого столбца. Сумма элементов пятого столбца при правильном счете должна быть равна единице.

Сравнивая значения P_k для различных состояний системы, определяют наиболее вероятное из состояний.

Умножив построчно элементы первого, второго и третьего столбцов на элементы пятого столбца, получают соответственно элементы шестого, седьмого и восьмого столбцов. Элемент, стоящий в k -й строке каждого из этих столбцов, означает соответственно математическое ожидание: числа агрегатов, находящихся в зоне обслуживания (**шестой столбец**), числа агрегатов, стоящих в очереди (**седьмой столбец**) и числа свободных обслуживающих агрегатов (**восьмой столбец**) для данного k -го состояния системы.

При заданных значениях коэффициентов простоя обслуживаемых ($K_{пр}$) и обслуживающих ($K'_{пр}$) агрегатов основное условие поточного производства определяется выражением

$$W_i \cdot m \cdot (1 - K_{пр}) = W_j \cdot n \cdot (1 - K'_{пр}), \quad (3.14)$$

где W_i и W_j — соответственно производительность обслуживаемого и обслуживающего звена комплекса при их автономной работе.

Изменение производительности ΔW_i обслуживаемого звена отряда с увеличением числа обслуживаемых агрегатов от m до $m + 1$ при постоянном числе обслуживающих агрегатов ($n = \text{const}$) определяют по формуле

$$\Delta W_i = W_i \cdot (m_i - m) \cdot \left(1 - \frac{m_1 \cdot K_{пр} - m \cdot K_{пр}}{m_1 - m}\right). \quad (3.15)$$

Приращение производительности обслуживающего звена ΔW_j за счет увеличения числа обслуживающих агрегатов в отряде с n до n_1 при $m = \text{const}$ составит

$$\Delta W_j = W_j \cdot (n_1 - n) \cdot \left(1 - \frac{n_1 \cdot K'_{пр} - n \cdot K'_{пр}}{n_1 - n}\right). \quad (3.16)$$

где $K_{пр1}$, $K'_{пр1}$ и $K_{пр}$, $K'_{пр}$ — коэффициенты простоя обслуживаемого и обслуживающего звеньев при соответствующих структурах отрядов.

Для определения оптимального соотношения обслуживаемых агрегатов при установленном числе обслуживающих, или наоборот, используют технико-экономические критерии, например приведенные затраты на единицу работы, возникающие при использовании агрегатов обоих типов, которые определяются по формулам:

$$C = \frac{m \cdot C_m + n \cdot C_n}{W_i \cdot m \cdot (1 - K_{прi})}; \quad (3.17)$$

$$C = \frac{m \cdot C_m + n \cdot C_n}{W_j \cdot n \cdot (1 - K'_{прj})}; \quad (3.18)$$

где C_m , C_n — затраты за час работы соответственно обслуживаемых и обслуживающих агрегатов.

Минимальное значение функции $C = f(m)$ при $n = \text{const}$ указывает на оптимальное число обслуживаемых агрегатов при установленном числе обслуживающих в отряде.

Минимальное значение функции $C = f(n)$ при $m = \text{const}$ указывает на оптимальное число обслуживающих агрегатов при установленном числе обслуживаемых в комплексе.

Содержание задания

1. Выберите вариант задания, соответствующий вашему рабочему месту, из таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные

Показатели	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Число машин в обслуживаемом звене	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	5	5	4
2. Число машин (постов) в обслуживающем звене	2	2	2	3	3	3	4	4	4	2	3	5	3	4	3
3. Среднее время между заявками на обслуживание, мин	15	15	15	20	20	20	10	10	10	20	20	20	15	15	20
4. Среднее время обслуживания одной заявки, мин	20	20	20	15	15	15	30	30	30	20	15	20	30	15	30
5. Часовая производительность обслуживаемого агрегата, т/ч	12	12	12	9	9	9	18	18	18	12	10	10	15	11	9
6. Часовая производительность обслуживающего агрегата, т/ч	24	30	36	12	15	18	18	25	27	28	28	30	24	25	12
7. Приведенные затраты за час работы обслуживаемого агрегата, тыс. руб.	60	60	60	54	54	54	64	64	64	30	35	40	52	55	23
8. Приведенные затраты за час работы обслуживающего агрегата, тыс. руб.	20	22	24	18	20	24	24	20	26	12	13	14	16	18	3,81

2. Определите интенсивность потока заявок на обслуживание и интенсивность обслуживания.

3. Определите вероятности возможных состояний системы обслуживания.

4. Определите среднюю длину очереди на обслуживание, среднее число простаивающих обслуживаемых агрегатов и коэффициенты простоя соответствующих агрегатов.

5. Определите величину прироста производительности при увеличении количества обслуживаемых агрегатов и постоянном числе обслуживающих.

6. Определите величину приведенных затрат на единицу выполненной работы при первоначальном количестве обслуживаемых и обслуживающих агрегатов.

7. Определите оптимальное количество обслуживающих агрегатов при постоянном числе обслуживаемых по минимуму приведенных затрат на единицу выполненной работы.

Пример расчета

Уборочно-транспортный комплекс (отряд) состоит из четырех комбайнов СК-5 «Нива» и трех автомобилей ГАЗ-53А.

Среднее время наполнения бункера комбайна при урожайности 30 ц/га — 20 мин. Выгрузка зерна из бункера комбайна производится на ходу. Автомобиль вмещает два бункера. Среднее время оборота автомобиля при отвозке зерна на ток — 30 мин. Производительность комбайна при указанных условиях и автономной работе равна 9 т/ч, производительность автомобиля — 12 т/ч. Приведенные затраты за час работы комбайна составляют 23 тыс. руб./ч, автомобиля — 3,81 тыс. руб./ч.

Полагая, что поток требований комбайна на разгрузку простейший, а время рейса автомобиля подчинено показательному закону, оценить эффективность использования уборочно-транспортного отряда и определить его оптимальную структуру.

Принимаем комбайн за обслуживаемое звено отряда (m), от которого исходят заявки на обслуживание. Параметр потока заявок на обслуживание определим по формуле (3.3):

$$\lambda = \frac{1}{20/60} = 3 \text{ ч.}$$

Автомобили выполняют функцию обслуживающего звена (n). Параметр потока обслуживаний вычислим по формуле (3.5):

$$\mu = \frac{2}{30/60} = 4 \text{ ч.}$$

Так как в системе имеется только m комбайнов, от которых исходят заявки на обслуживание, то рассматриваемая система может находиться в $(m + 1)$ различных состояниях: все комбайны работают, у одного из комбайнов бункер наполнен, один из автомобилей приступил к его обслуживанию, автомобиль покинет комбайн, когда кузов будет заполнен; второй комбайн подал сигнал о наполнении его бункера и в этот момент приступил к обслуживанию второй автомобиль; третий комбайн наполнил бункер, и третий автомобиль приступил к его обслуживанию; четвертый комбайн наполнил бункер и остановился, ждет появления одного из автомобилей.

Для полного анализа функционирования уборочно-транспортного комплекса необходимо определить вероятность его пребывания в каждом из возможных состояний.

Для систематизации информации расчет выполним в соответствии с таблицей 3.1. Данные расчета представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Алгоритм расчета оценок эффективности использования
трех автомобилей и четырех комбайнов

Число требований в системе k	Число агрегатов, ожидающих обслуживания $(k - n)$	Число свободных обслуживающих агрегатов $(n - k)$	P_k/P_0	P_k	kP_k	$(k - n)P_k$	$(n - k)P_k$
0	0-3=0	3-0=3	1,000	0,108	0	0	0,324
1	1-3=0	3-1=2	3,000	0,326	0,326	0	0,652
2	2-3=0	3-2=1	3,375	0,366	0,732	0	0,366
$k = n = 3$	3-3=0	3-3=0	1,682	0,182	0,546	0	0
$k = m = 4$	4-3=1	3-4=0	0,140	0,016	0,064	0,016	0
Сумма			9,197	1,00	1,668	0,016	1,342

Расчет величины отношения P_k/P_0 (четвертый столбец) для первых четырех строк ($0 < k < n$) выполняют по формуле (3.11), а для пятой строки, когда $n < k < m$, — по формуле (3.12).

Для первой строки, т. е. при $k = 0$, имеем

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{m!}{k! \cdot (m - k)!} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{0! \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} \left(\frac{3}{4}\right)^0 = 1,0;$$

(факториал нуля равен единице).

Для второй строки при $k = 1$ имеем

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3} \left(\frac{3}{4}\right)^1 = 3,0;$$

Для третьей строки при $k = 2$ имеем

$$\frac{P_2}{P_0} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2} \left(\frac{3}{4}\right)^2 = 3,375;$$

Для четвертой строки при $k = 3$ имеем

$$\frac{P_3}{P_0} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1} \left(\frac{3}{4}\right)^3 = 1,6825;$$

Для пятой строки при $k = 4$, т. е. при $k > n$, используя формулу (3.12), имеем

$$\frac{P_4}{P_0} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1} \left(\frac{3}{4}\right)^4 = 0,1406.$$

Просуммируем четвертый столбец:

$$\sum_{k=0}^m \frac{P_k}{P_0} = 9,197.$$

Вероятность нулевого состояния системы (P_0) определим по формуле (3.13):

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^m \frac{P_k}{P_0}} = \frac{1}{9,197} = 0,108.$$

Это означает, что вероятность того, что все комбайны работают и не нуждаются в обслуживании, равна **0,108**. Умножив все элементы четвертого столбца построчно на P_0 , получим элементы пятого столбца. Элемент, стоящий в k -й строке, означает вероятность пребывания отряда в данном состоянии.

Для самопроверки сложим значения P_k , сумма равна единице. Определим наиболее вероятное из состояний. В нашем примере таковым является третье, когда два комбайна обслуживаются и один автомобиль ждет заявки на обслуживание $P_2 = 0,366$.

Для заполнения шестого столбца необходимо построчно перемножить элементы первого столбца на пятый.

Элемент, стоящий в k -й строке шестого столбца, означает математическое ожидание числа комбайнов (обслуживаемых агрегатов), находящихся в зоне обслуживания (обслуживаются или ждут обслуживания).

Суммирование элементов шестого столбца означает выполнение расчетов по формуле (3.8). Величина этой суммы показывает, сколько комбайнов обслуживается и ждет обслуживания.

Для заполнения седьмого столбца необходимо построчно перемножить элементы второго столбца на пятый. Элемент, стоящий в k -й строке этого столбца, означает число комбайнов (обслуживаемых агрегатов), стоящих в очереди в ожидании обслуживающего агрегата. Суммирование элементов седьмого столбца означает выполнение расчетов по формуле (3.7).

Для определения коэффициента простоя комбайнов (обслуживаемых агрегатов) расчеты выполняют по формуле (3.6).

В нашем примере $K_{пр} = 0,016/4 = 0,004$.

Это означает, что 0,4% загонного времени каждый из комбайнов простаивает в ожидании автомобиля.

Для заполнения восьмого столбца необходимо построчно перемножить элементы третьего столбца на пятый. Элемент, стоящий в k -й строке этого столбца, означает число автомобилей (обслуживающих агрегатов), стоящих в очереди в ожидании заявки на обслуживание. Суммирование элементов восьмого столбца означает выполнение расчетов по формуле (3.9).

Коэффициент простоя автомобилей (обслуживающих агрегатов) определяют по формуле (3.10). В нашем примере $K'_{пр} = \frac{1,342}{3} = 0,447$.

Это означает, что 44,7% рабочего времени каждый автомобиль простаивает при такой организации работы уборочно-транспортного звена.

Таким образом, численные значения оценочных критериев наглядно отражают функционирование уборочно-транспортного комплекса и позволяют судить об эффективности использования каждого из видов агрегатов при данной организации такого комплекса.

Величину прироста производительности обслуживаемого звена (комбайнов) с увеличением их количества в комплексе от 4 до 6 при условии, что число обслуживающих автомобилей остается постоянным (3), определим по формуле (3.15). Значение коэффициента простоя для шести комбайнов и трех автомобилей рассчитаем по ранее изложенной методике в соответствии с таблицей 3.1.

При этом $K_{пр1} = 0,008$, тогда $\Delta W_i = 9 \cdot (6 - 4) \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 0,08 - 4 \cdot 0,004}{6 - 4}\right) = 13,82$ т/ч.

При такой организации перевозки зерна от комбайнов прирост их производительности составит **13,82 т/ч** вместо **18 т/ч** при их автономной работе.

Для определения оптимального соотношения обслуживаемых агрегатов (комбайнов) при установленном числе обслуживающих (три автомобиля) в качестве критерия принимаем минимум приведенных затрат на выполнение единицы работы обслуживаемых агрегатов.

Значение коэффициентов простоя обслуживаемых агрегатов для различных сочетаний обслуживаемых и заданном числе обслуживающих рассчитаем по ранее изложенной методике. При этом получим: при $m = 2$ $K_{пр} = 0$; при $m = 3$ $K_{пр} = 0,001$; при $m = 4$ $K_{пр} = 0,004$; при $m = 5$ $K_{пр} = 0,04$; при $m = 6$ $K_{пр} = 0,08$.

Величину приведенных затрат на единицу производительности обслуживаемых агрегатов при $n = 3$ определим по формуле (3.17):

$$C_{m=2} = \frac{2 \cdot 23,0 + 3 \cdot 3,81}{9 \cdot 2 \cdot (1-0)} = 3,19 \text{ тыс. руб./т};$$

$$C_{m=3} = \frac{3 \cdot 23,0 + 3 \cdot 3,81}{9 \cdot 3 \cdot (1-0,001)} = 2,98 \text{ тыс. руб./т};$$

$$C_{m=4} = \frac{4 \cdot 23,0 + 3 \cdot 3,81}{9 \cdot 4 \cdot (1-0,004)} = 2,89 \text{ тыс. руб./т};$$

$$C_{m=5} = \frac{5 \cdot 23,0 + 3 \cdot 3,81}{9 \cdot 5 \cdot (1-0,04)} = 2,92 \text{ тыс. руб./т}.$$

Из расчетов видно, что если для вывоза зерна в данных условиях выделены три автомобиля, то наилучшей формой организации уборочно-транспортного комплекса будет их работа с четырьмя комбайнами.

Отчет.

Результаты расчетов систематизировать и представить в виде таблицы 3.4.

Таблица 3.4

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Число машин в обслуживаемом звене, m_K	4
2	Число машин (постов) в обслуживающем звене, n	3
3	Среднее время между заявками на обслуживание, t	20 мин.
4	Среднее время обслуживания одной заявки, t	30 мин.
5	Часовая производительность обслуживаемого агрегата, W_i	9 т/ч

Продолжение таблицы 3.4

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
6	Часовая производительность обслуживающего агрегата, W_j	12 т/ч
7	Приведенные затраты за час работы обслуживаемого агрегата, C_m	23 тыс. руб.
8	Приведенные затраты за час работы обслуживающего агрегата, C_n	3,81 тыс. руб.
9	Параметр потока заявок на обслуживание, λ	3 ч.
10	Параметр потока обслуживаний, μ	4 ч.
11	Вероятность нулевого состояния системы, P_0	0,108
12	Наиболее вероятное из состояний, P_2	0,366
13	Средняя длина очереди обслуживаемых агрегатов, L_1	0,016
14	Математическое ожидание числа агрегатов, находящихся в зоне обслуживания, L_2	1,668
15	Коэффициент простоя комбайнов, $K_{\text{ГР}}$	0,004
16	Математическое ожидание числа свободных обслуживающих агрегатов, L_3	1,342
17	Коэффициент простоя автомобилей, $K'_{\text{ГР}}$	0,447

Записать выводы по каждому пункту расчетов.

При выполнении задания на компьютере (исследовательская работа студента) следует получить закономерности изменения определяемых параметров в зависимости от действующих факторов с последующим анализом результатов исследований под руководством преподавателя.

4. ОПТИМИЗАЦИЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Цель задания — освоение современных методов оптимизации по критериям ресурсосбережения таких производственных процессов, как внесение твердых органических и минеральных удобрений, на основе общих принципов операционной технологии выполнения полевых механизированных работ.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 4.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

Таблица 4.1 – Примерные варианты заданий

№ вар.	Вид твердых удобрений	Доза внесения, т/га	Расстояние до поля, км	Количество календарных дней работы	Коэффициент сменности	Общая площадь F _Σ , га
1	Минеральные	0,2	12	4	1	250
2	Органические	26	5	5	1,5	300
3	Минеральные	0,4	4	3	1	350
4	Органические	30	6	4	1,5	400
5	Минеральные	0,6	6	5	1	450
6	Органические	40	8	6	1,5	500
7	Минеральные	0,8	8	5	1	550
8	Органические	50	10	6	1,5	600
9	Минеральные	1,0	9	5	1	650
10	Органические	60	12	4	1,5	700
11	Минеральные	1,0	11	5	1	750
12	Органические	80	3	4	1,5	800
13	Минеральные	1,0	14	3	1,5	850
14	Органические	28	15	4	1	900
15	Минеральные	0,3	15	3	1,5	950
16	Органические	35	10	5	1	1000
17	Минеральные	0,9	13	4	1,5	1050
18	Органические	45	15	6	1	1100
19	Минеральные	0,9	11	5	1,5	1150
20	Органические	55	4	4	1	1200
21	Минеральные	0,7	9	5	1,5	1250
22	Органические	65	7	4	1	1300
23	Минеральные	0,97	8	5	1,5	1350
24	Органические	85	10	6	1	1400
25	Минеральные	0,70	9	4	1,5	1450
26	Органические	95	7	5	1	1500
27	Минеральные	0,82	6	5	1,5	1100
28	Органические	76	7	7	1	1200
29	Минеральные	0,73	8	6	1,5	1300
30	Органические	66	12	7	1	1400

Примечание. Условия работы агрегатов могут быть изменены преподавателем с учетом местных природно-производственных условий, включая дозы внесения удобрений под конкретные сельскохозяйственные культуры.

2. Изложить основные агротехнические требования.
3. Выбрать эффективную технологическую схему внесения удобрений.
4. Выбрать эффективные ресурсосберегающие агрегаты в зависимости от условий работы.
5. Определить общее потребное число агрегатов.
6. Определить оптимальный состав технологического звена и обеспечить его эффективную работу.
7. Кратко изложить методику оценки качества работы агрегатов.

Последовательность выполнения работы

Внесение удобрений в почву в требуемых дозах — одно из основных условий повышения плодородия и улучшения структуры почвы, получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Удобрения подразделяют на органические и минеральные, к которым обычно относят также и мелиоранты типа извести, доломитовой муки и другие, предназначенные для улучшения физических и гранулометрических свойств почвы. Поскольку органические удобрения, помимо повышения плодородия почвы, улучшают ее структуру, то потребность в них будет возрастать независимо от объемов производства минеральных удобрений.

К органическим удобрениям относят навоз (твердый, жидкий и полужидкий), торф, компосты, а также заделываемую в почву растительную массу. Минеральные удобрения также делят на твердые (гранулированные и пылевидные) и жидкие (аммиачная вода, безводный аммиак).

Различают следующие основные способы внесения удобрений: сплошное, или предпосевное (основное); припосевное (местное); подкормка.

Наибольший объем работы с участием большого числа людей и техники характерен для основного внесения удобрений, на примере которого и рассмот-

рены методы решения соответствующих задач. Высокая напряженность работы в данном случае обусловлена большими дозами внесения удобрений (10-60 т/га органических и до 1,5 т/га минеральных) при значительных (до 20км) расстояниях транспортировки. В отдельных случаях возможны и более высокие дозы внесения удобрений указанных видов (соответственно до 100 и 2 т/га).

Основное внесение удобрений связано также с большим расходом соответствующих ресурсов, включая трудовые, топливно-энергетические и финансовые.

Основные агротехнические требования: отклонение от заданной дозы внесения удобрений обоих видов $\pm 10\%$; неравномерность распределения по поверхности поля до $\pm 10\%$ по ходу и $\pm 25\%$ по ширине захвата агрегата; заделка удобрений в почву в сжатые сроки для исключения потерь питательных веществ.

Основное внесение удобрений выполняют в зависимости от природно-производственных условий по одной из следующих технологических схем (рис. 4.1): **прямоточной; перегрузочной; перевалочной; двухфазной**. Для удобрений обоих видов наиболее распространена прямоточная технология, которую целесообразно выбрать в качестве эффективной с учетом универсальности, меньшего расхода ресурсов, сжатых сроков выполнения при участии меньшего числа специальных агрегатов. Следует отметить, что элементы прямоточной технологии входят в состав и других технологических схем.



Рисунок 4.1 – Технологические схемы основного внесения удобрений

С учетом местных условий (по заданию преподавателя) в качестве исследовательской работы можно выполнить сравнительный анализ эффективности соответствующих технологических схем внесения удобрений.

Перегрузочная и перевалочная технологии также применимы для внесения удобрений обоих видов. Однако для перегрузочной технологии требуются транспортные средства с предварительным подъемом кузова или низкорамные разбрасыватели удобрений, особенно органических, которые не всегда есть в хозяйствах. Перевалочная технология наиболее эффективна для внесения органических удобрений, которые перед внесением должны определенное время находиться в буртах. При использовании этой технологии в хозяйствах должны быть дорогостоящие складские помещения для хранения удобрений. Двухфазную технологию применяют только при внесении органических удобрений роторным валкователем-разбрасывателем типа РУН-15Б, который навешивают на гусеничный трактор.

Ресурсосберегающие агрегаты для внесения удобрений по выбранной прямоточной технологии следует обосновать по методикам, изложенным в заданиях 4, 6...8. Каждый разбрасыватель удобрений агрегируют в основном с трактором одной и той же марки, поэтому задача сводится к выбору ресурсосберегающего агрегата в зависимости от условий работы с учетом дозы внесения удобрений и расстояния транспортировки. Составы агрегатов для основного внесения удобрений приведены в таблице 4.2.

Расчетные оптимальные грузоподъемности разбрасывателей удобрений, отвечающие требованиям ресурсосбережения и высокой производительности в зависимости от дозы внесения и расстояния транспортировки, определены в заданиях 4 и 8 и приведены в таблицах 4.3, 4.4.

Данные таблиц 4.3 и 4.4 для удобства пользования округлены до значений грузоподъемностей соответствующих разбрасывателей, указанных в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Агрегаты для основного внесения удобрений

Состав агрегата	Грузоподъемность разбрасывателя, т	Ширина захвата, м
Органические удобрения		
МТЗ-80(82) + РТО-4	4	5
МТЗ-80(82) + РОУ-5	5	5
Т-150К + ПРТ-10	10	6
К-701 + ПРТ-16	16	7
К-701 + МТТ-23	23	7
Минеральные удобрения		
МТЗ-80(82) + 1РМГ-4	4	10
МТЗ-80(82) + РУМ-5	5	10
Т-150К + РУМ-8	8	12
К-701 + РУМ-16	16	14

Таблица 4.3 – Оптимальные грузоподъемности разбрасывателей твердых органических удобрений

Расстояние перевозки, км	Дозы внесения удобрений, т/га						
	до 10	15	20	40	60	80	100
	Оптимальная грузоподъемность разбрасывателя, т						
1	4	5	5	6	6	10	10
2	5	5	10	10	10	16	16
4	10	10	10	16	16	16	16
6	10	10	16	16	16	16	16
8	10	10	16	16	16	16	16
10	16	16	16	23	23	23	23
16	16	16	23	23	23	23	23
20	16	23	23	23	23	23	23

Таблица 4.4 – Значения оптимальной грузоподъемности разбрасывателей твердых минеральных удобрений

Расстояние перевозки, км	Дозы внесения удобрений, т/га						
	до 0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,4	2,0
	оптимальная грузоподъемность разбрасывателя, т						
1-4	4	4	4	4	5	5	5
4-8	4	4	5	5	5	8	8
8-12	4	5	5	8	8	8	16
12-16	4	5	8	8	8	8	16

Ресурсосберегающий агрегат следует выбрать в такой последовательности. В зависимости от заданной дозы внесения удобрений (см. табл. 4.1) и расстояния перевозки транспортировки (табл. 4.3 или 4.4) сначала принимаем оптимальную грузоподъемность, а затем по таблице 4.2 выбираем соответствующий агрегат. Например, при дозе внесения органических удобрений 40 т/га и расстоянии перевозки 2 км по таблице 4.3 определяем оптимальную грузоподъемность, которой по таблице 4.2 соответствует агрегат Т-150К + ПРТ-10.

Примерные скорости движения агрегатов для соответствующих режимов работы по нормативным данным приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Скорости движения агрегатов для внесения удобрений

Состав агрегата	Скорость движения, км/ч		
	с грузом, $V_{г}$	без груза, $V_{х}$	при внесении удобрений, V
МТЗ-80/82 + РТО-4	18,5	19,5	8,2
МТЗ-80/82 + РОУ-5	18,5	19,5	8,2
2Т-150К + ПРТ-10	19	26	8,2
К-701 + ПРТ-16	21	28,5	8,2
К-701 + МТТ-23	21	28,5	8,2
МТЗ-80/82 + 1РМГ-4	19	20	8,5
МТЗ-80/82 + РУМ-5	18	19	8,1
Т-150К + РУМ-8	21	26	10,4
К-701 + РУМ-16	21	28,5	11,3

Для погрузки удобрений в хозяйствах чаще всего используют погрузчик-экскаватор типа ПЭ-0,8Б, навешиваемый на трактор типа «Беларусь» со средней эксплуатационной производительностью 62 т/ч. Для удобства расчетов далее использован именно этот погрузчик.

Для своевременного выполнения всего объема работ по внесению удобрений важно определить общее требуемое число агрегатов, включая разбрасыватели и погрузчики, применительно к прямоточной технологии. Поскольку удобряемые площади полей в хозяйствах существенно различаются, то расчеты целесообразно проводить применительно к нормативной площади, которую можно принять равной 100га. Тогда нормативное требуемое число разбрасывателей удобрений (агрегатов):

$$m_{H\Sigma} = \frac{u \cdot F_{H\Sigma}}{D_k \cdot \alpha_k \cdot W_m \cdot T_{CM} \cdot k_{CM.m} \cdot \gamma_{гг}}, \quad (4.1)$$

где u — доза внесения удобрений, т/га; $F_{H\Sigma} = 100$ га — нормативная площадь, га; D_k — число календарных дней внесения удобрений; α_k — коэффициент использования календарного времени; W_m — производительность разбрасывателя удобрений, т/ч; T_{CM} — продолжительность смены, ч; $k_{CM.m}$ — коэффициент сменности; $\gamma_{гг}$ — коэффициент готовности разбрасывателей удобрений.

Нормативное значение $m_{H\Sigma}$ следует вычислять *без округления* с точностью до двух знаков после запятой.

В расчетах можно использовать средние значения $\alpha_k = 0,9$, $\gamma_{ГТ} = 0,98$, $T_{см} = 7$ ч. Значения остальных величин указаны в таблице 4.1. Производительность агрегата W_m при отсутствии нормативных данных можно рассчитать по упрощенной формуле:

$$W_m = \frac{Q_{ГН} \cdot k_T}{t_T} = \frac{Q_{ГН} \cdot k_T}{\frac{l_{Г} + l_{Г} + l_p}{v_{Г} + v_x} + \frac{l_p}{10^3 \cdot v} + n_{п.о} \cdot t_{п.о} + t_{п} + t_{ож}}, \quad (4.2)$$

где $Q_{ГН}$ — грузоподъемность выбранного ранее разбрасывателя, т; k_T — коэффициент использования грузоподъемности, $k_T = 1$, так как удобрения относятся к грузам первого класса; t_T — общая продолжительность одного технологического цикла разбрасывателей удобрений, ч; $l_{Г}$ — расстояние транспортировки удобрений до поля, км; l_p — длина рабочего пути при разбрасывании удобрений по полю, м; $V_{Г}, V_x, V$ — скорости движения агрегата соответственно с грузом, без груза и при внесении удобрений, км/ч; $n_{п.о}$ — число поворотов агрегата за один цикл; $t_{п.о}$ — продолжительность одного поворота, ч; $t_{п}$ — продолжительность одной погрузки удобрений, ч; $t_{ож}$ — длительность случайного ожидания погрузки, ч.

Значения скоростей $V_{Г}, V_x, V$ следует принимать по таблице 4.5

$$l_p = \frac{10^4 \cdot Q_{ГН} \cdot k_T}{B \cdot u}, \quad (4.3)$$

где B — ширина захвата (разбрасывания), принятая по таблице 12.2. Число поворотов агрегата за время опорожнения кузова:

$$n_{п.о} = n_{пр} - 1 = \frac{l_p}{L} - 1, \quad (4.4)$$

где $n_{пр}$ — число проходов агрегата по загону; L — длина гона, м.

Длину гона L с учетом реальных размеров полей следует подобрать таким образом, чтобы $n_{пр}$ было целым четным числом. Тогда опорожнение кузова разбрасывателя будет происходить на одном и том же конце гона со стороны расположения удобрений. Расчетная длина гона не должна превышать реальных размеров полей хозяйства. Например, на полях Центральной нечерноземной зоны длина гона в основном равна 400-600 м, поэтому расчетную длину гона следует выбирать в этом диапазоне.

По нормативным данным средняя продолжительность одного поворота $t_{п.о} = 0,0083$ ч при внесении органических удобрений и $t_{п.о} = 0,0055$ ч при внесении минеральных удобрений, за исключением агрегата К-701 + РУМ-16, для которого следует принять $t_{п.о} = 0,0083$ ч.

Продолжительность одной погрузки удобрений $t_{п}$ можно определить с учетом ранее принятой для погрузчика ПЭ-0,8Б средней производительности $W_n = 62$ т/ч:

$$t_{п} = \frac{Q_{гн} \cdot k_{г}}{W_n}. \quad (4.5)$$

Время случайного ожидания погрузки $t_{ож}$ также следует принимать по нормативным данным:

$$t_{ож} = 0,25 \cdot t_{п}. \quad (4.6)$$

По формуле (4.2) можно сначала рассчитать производительность агрегата W_m , а затем по формуле (4.1) — нормативное требуемое число агрегатов $m_{н\Sigma}$ в расчете на 100 га.

Нормативное требуемое число погрузчиков $n_{н\Sigma}$ можно вычислить на основании формулы (4.1) исходя из условия взаимосвязной поточной работы:

$$n_{н\Sigma} \cdot W_n = m_{н\Sigma} \cdot W_m,$$

откуда

$$n_{н\Sigma} = \frac{m_{н\Sigma} \cdot W_m}{W_n}. \quad (4.7)$$

Значения $m_{н\Sigma}$ и $n_{н\Sigma}$ следует определить с точностью до двух знаков после запятой.

Общую потребность любого хозяйства в разбрасывателях удобрений (m_{Σ}) и в погрузчиках (n_{Σ}) можно определить на основании нормативных значений $m_{н\Sigma}$ и $n_{н\Sigma}$:

$$m_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{н\Sigma}} \cdot m_{н\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} \cdot m_{н\Sigma}; \quad (4.8)$$

$$n_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{н\Sigma}} \cdot n_{н\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} \cdot n_{н\Sigma}, \quad (4.9)$$

где F_{Σ} — удобряемая площадь полей хозяйства, га.

В формулах (4.8) и (4.9), в отличие от формул (4.1) и (4.7), значения m_{Σ} и n_{Σ} *следует округлять до целых чисел* в сторону увеличения.

Если хозяйство не в состоянии приобрести и содержать столько разбрасывателей удобрений (m_{Σ}) и погрузчиков (n_{Σ}), то возможны следующие ресурсосберегающие способы своевременного выполнения работ: аренда недостающих агрегатов в других хозяйствах, включая машинно-технологические станции (МТС); увеличение коэффициента сменности $k_{см}$ в допустимых пределах; взаимопомощь соседей и др. В допустимых границах можно также увеличить ранее принятые календарные сроки. На основании исследований ВИМ и зональных научно-исследовательских институтов рекомендованы следующие продолжительности внесения удобрений: **органических — 10-12 дней весной и 15-20 дней осенью; минеральных — 3-4 дня весной и 15-20 дней осенью.**

Под технологическим звеном при основном внесении удобрений по прямой технологии подразумевают обоснованную совокупность погрузчиков и разбрасывателей. Чаще всего технологические звенья такого типа формируют с одним погрузчиком. Подобный принцип организации работы использован и в данном задании.

Необходимость формирования технологических звеньев обусловлена следующими преимуществами групповой работы агрегатов: существенно уменьшаются потери времени на взаимное ожидание агрегатов; сокращаются сроки обработки каждого поля и подготовки его для последующих работ; повышается уровень технического, технологического и других видов обслуживания; более оперативно распространяются передовые методы организации труда.

Таким образом, рассматриваемая задача сводится к определению в зависимости от условий работы числа разбрасывателей удобрений, обслуживаемых одним погрузчиком **ПЭ-0,8Б** производительностью 62 т/ч. Далее изложены упрощенный детерминированный и более точный вероятностный методы решения указанной задачи. В качестве исследовательской работы можно выполнить сравнительный анализ обоих методов с учетом всего диапазона изменения действующих факторов.

Соотношение между числами m разбрасывателей удобрений и погрузчиков в технологическом звене определяем исходя из условия их взаимосвязанной поточной работы (см. формулу (4.7)):

$$m \cdot W_n = n \cdot W_m. \quad (4.10)$$

Принимая $n=1$ и учитывая ранее рассчитанные значения производительностей W_m и W_n , рассчитываем число разбрасывателей удобрений, обслуживаемых одним погрузчиком:

$$m = W_n/W_m. \quad (4.11)$$

Это равенство эквивалентно соотношению

$$m = t_m/t_n. \quad (4.12)$$

Изложенный упрощенный метод определения состава технологического звена имеет следующие основные недостатки: значения t_m и t_n в формуле (4.12) приняты постоянными в течение всего рабочего дня, тогда как они изменяются вероятностным образом из-за влияния множества случайных факторов, включая непостоянство скорости движения разбрасывателей удобрений, расстояния до поля и др. Не учтены также стоимостные соотношения между агрегатами обоих типов.

Более точное решение с учетом отмеченных недостатков можно получить на основе методов теории массового обслуживания. Взаимосвязанную работу погрузчика и ограниченного числа разбрасывателей при этом можно рассматривать как типичную замкнутую систему массового обслуживания с одним обслуживающим агрегатом-погрузчиком. Разбрасыватели удобрений соответственно принимают в качестве обслуживаемых агрегатов. Принципиальная схема работы такой системы показана на рисунке 4.2.

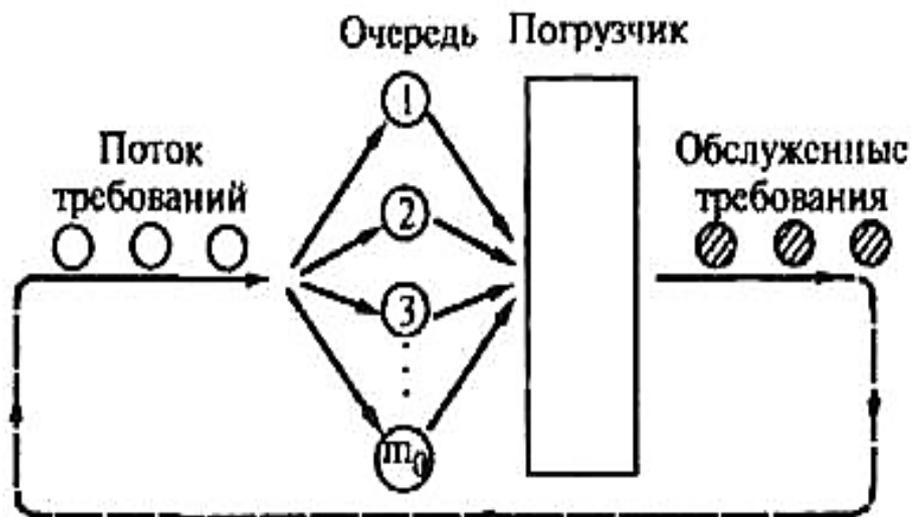


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема работы замкнутой системы массового обслуживания с одним обслуживающим агрегатом (погрузчиком)

В качестве основного критерия оптимальности СМО в рыночных условиях целесообразно принять минимум суммы потерь в денежном выражении от взаимного ожидания погрузчика и разбрасывателей удобрений:

$$C_{min} = m_0 \cdot C_m + P_{n0} \cdot C_n \rightarrow \min, \quad (4.13)$$

где C_{min} — сумма потерь от простоя во взаимном ожидании разбрасывателей удобрений и погрузчика, руб./ч; m_0 — среднее число разбрасывателей, ожидающих погрузки; P_{n0} — среднее значение вероятности простоя погрузчика из-за несвоевременного прибытия разбрасывателей; C_m , C_n — стоимость 1 ч простоя соответственно одного разбрасывателя и погрузчика, руб./ч.

Для стабильности результатов расчетов при изменяющихся ценах в рыночных условиях целесообразно от выражения (4.13) перейти к относительным безразмерным затратам:

$$\overline{C_{mn}} = \frac{C_{mn}}{C_n} \cdot m_0 \cdot \frac{C_m}{C_n} + P_{n0} \rightarrow \min. \quad (4.14)$$

Поскольку значения C_m и C_n изменяются примерно пропорционально, то отношение C_m/C_n будет оставаться стабильным. Поэтому можно использовать значения C_m и C_n за любой период времени. Дри отсутствии таких данных отношение C_m/C_n приближенно можно заменить отношением Π_m/Π_n между цена-

ми агрегата для разбрасывания удобрений (включая трактор и сам разбрасыватель) и погрузчика в виде

$$n_H \cdot Ц_n = m_H \cdot Ц_m, \quad (4.15)$$

где $Ц_m, Ц_n$ — оптовые цены соответственно агрегата и погрузчика, руб.

Значения $Ц_m$ и $Ц_n$ также можно взять за любой период времени с учетом их пропорционального изменения.

Решение задачи оптимизации по критериям (4.14) или (4.15) сводится к определению оптимального числа агрегатов для разбрасывания удобрений m_0 , обслуживаемых одним погрузчиком. Величины m_0 и P_{n0} определим по известным из теории массового обслуживания формулам:

$$m_0 = m - (1 - P_{n0}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right); \quad (4.16)$$

$$P_{n0} = \frac{1}{\left[1 + m \cdot \alpha + m \cdot (m-1) \cdot \alpha^2 + m \cdot (m-1) \cdot \dots + (m-2) \alpha^3 + m \cdot (m-1) \dots 1 \alpha^n\right]}; \quad (4.17)$$

где m — текущее число обслуживаемых погрузчиком агрегатов; $\alpha = \lambda/\mu$;

λ — плотность (интенсивность) потока прибывающих к погрузчику разбрасывателей удобрений, 1/ч, μ — интенсивность обслуживания разбрасывателей погрузчиком, 1/ч.

Значения величин λ и μ в (4.16) и (4.17) можно определить из равенств:

$$\lambda = \frac{1}{t_{mp}} = \frac{1}{\frac{l_r + l_x}{v_r} + \frac{l_p}{10^3 \cdot v} + n_{п.о} \cdot t_{п.о}}; \quad (4.18)$$

$$\mu = \frac{1}{t_n} = \frac{W_n}{Q_{гн} \cdot k_T}, \quad (4.19)$$

где t_{mp} — средний промежуток времени между требованиями на погрузку удобрений, поступающих от одного разбрасывателя, ч.

Необходимые исходные данные для определения λ и μ приведены ранее. В качестве дополнительных показателей эффективности взаимосвязанной работы погрузчика и разбрасывателей удобрений можно определить коэффициент простоя разбрасывателей k_m удобрений:

$$k_m = m_0/m.$$

Пропускная способность погрузчика по числу обслуживаемых за 1 ч разбрасывателей удобрений:

$$q_n = (1 - P_{no}) \mu.$$

Значения P_{no} , k_m и q_n можно определить, как для самостоятельного анализа, так и при оптимальном режиме работы по критериям (4.14) или (4.15). При решении по критерию оптимальности (4.15) можно использовать следующие оптовые цены соответствующих агрегатов за 2003г.:

- ЮМЗ-6Л/М + ПЭ-0,8Б — $C_m = 381\,199$ руб.;
- МТЗ-80 + РТО-4 — $C_m = 391\,847$ руб.;
- МТЗ-80 + РОУ-5 — $C_m = 432\,900$ руб.;
- Т-150К + ПРТ-10 — $C_m = 944\,000$ руб.;
- К-701 + ПРТ-16 — $C_m = 1\,984\,100$ руб.;
- К-701 + МТТ-23 — $C_m = 2\,070\,900$ руб.;
- МТЗ-80 + 1РМГ-4 — $C_m = 429\,540$ руб.;
- МТЗ-80 + РУМ-5 — $C_m = 458\,700$ руб.;
- Т-150К + РУМ-8 — $C_m = 1\,053\,280$ руб.;
- К-701 + РУМ-16 — $C_m = 2\,252\,260$ руб.

Если вместо МТЗ-80 применяют трактор МТЗ-82, то к соответствующим значениям C_m следует добавить **27 100** руб. Цены агрегатов при необходимости можно скорректировать с учетом рыночных условий.

Численное решение по критерию оптимальности (4.15) можно выполнить на базе как компьютера, так и обычного калькулятора в такой последовательности. Задаем в формуле (4.17) значение $m_1 = 1$ и вычисляем $P_{no1} = 1/(1 + 1\alpha)$. Затем подставляем значения m_1 и P_{no1} в выражение (4.16) и определяем m_{01} . Далее по формуле (4.15) находим соответствующее значение критерия оптимальности C_{mn1} . Аналогично выполняем второй цикл расчета при $m = 2$ и т. д. Такие циклы расчетов следует выполнять до получения минимального значения $C_{mn.min}$, которому соответствует оптимальное число m_{opt} разбрасывателей удобрений. Если при $m_2=2$ имеем $C_{mn2} > C_{mn1}$, то $C_{mn.min}=C_{mn1}$ и $m_{opt} = m_1 = 1$. Значения P_{no} , m_0 и e при расчетах следует определять до трех-четырех знаков после запятой.

По значению m_{opt} можно рассчитать и другие показатели работы СМО в оптимальном режиме: $P_{no,opt}$, $m_{o,opt}$, $k_{m,opt}$, $q_{n,opt}$. При этом $P_{no,opt}$ и $k_{m,opt}$ можно рассматривать и как доли времени смены, в течение которых простаивают погрузчик и разбрасыватели удобрений.

Поскольку даже в оптимальном режиме работы $P_{no,opt} > 0$ и $k_{m,opt} > 0$, полностью исключить простои агрегатов во взаимном ожидании практически невозможно. Следовательно, полученное решение минимизирует только ущерб от таких простоев и подтверждается существенный недостаток упрощенного детерминированного расчета по формулам (4.10) и (4.11), в которых принято с учетом выражения (4.6) постоянное значение времени случайного ожидания $t_{ож}$. Значением $t_{ож}$ часто вообще пренебрегают.

Сравнительный анализ указанных двух способов определения состава технологических звеньев с учетом всего диапазона изменения действующих факторов (студенческая исследовательская работа) можно выполнить на компьютере с построением графиков соответствующих зависимостей. Графики зависимостей $P_{no} = f(m)$, $m_o = f(m)$ и $C_{mn} = f(m)$ целесообразно строить и при обычном варианте расчета.

После определения состава технологического звена необходимо предусмотреть соответствующую подготовку поля, включая удаление препятствий и отбивку поворотных полос. При внесении удобрений в основном рекомендуют челночный способ движения без разбивки поля на загоны. Методика расчета длины гона в зависимости от грузоподъемности разбрасывателя удобрений изложена ранее.

Качество работы разбрасывателей удобрений оцениваем с помощью методов, изложенных в работе 1. Точность соблюдения заданной дозы внесения удобрений в условиях производства определяют методом контрольной навески с использованием формулы (4.3):

$$u_{\phi} = \frac{10^4 \cdot Q_{\phi}}{B_{\phi} \cdot l_{p,\phi}}$$

Определив при известной массе удобрений Q_{ϕ} ширину B_{ϕ} и длину $l_{p,\phi}$ пути их распределения по полю, рассчитываем фактическую дозу внесения U_{ϕ} и при отклонении ее от нормативного значения проводим необходимую регулировку.

Общую оценку качества работы разбрасывателей удобрений выполняют в конце рабочего дня балльным методом (см. работу 1) по следующим основным показателям: отклонение от заданной дозы внесения, %; неравномерность распределения по ширине захвата и по длине прохода, %; наличие огрехов.

Пример расчета агрегата для внесения твердых органических удобрений.

1. Выписываем из таблицы 4.1 исходные данные по варианту №30.

№ вар.	Вид твердых удобрений	Доза внесения, т/га	Расстояние до поля, км	Количество календарных дней работы	Коэффициент сменности	Общая площадь F_{Σ} , га
30	Органические	66	12	7	1	1400

2. Излагаем основные агротехнические требования: отклонение от заданной дозы внесения удобрений обоих видов $\pm 10\%$; неравномерность распределения по поверхности поля до $\pm 10\%$ по ходу и $\pm 25\%$ по ширине захвата агрегата; заделка удобрений в почву в сжатые сроки для исключения потерь питательных веществ.

3. Выбираем эффективную технологическую схему внесения удобрений. В нашем случае прямоточная.

1. Погрузка в кузов разбрасывателя	2. Перевозка в поле	3. Внесение в почву
------------------------------------	---------------------	---------------------

4. Выбираем эффективный ресурсосберегающий агрегат в зависимости от условий работы. Так как в нашем варианте доза внесения органических удобрений 66 т/га, а расстояние перевозки 12 км., то оптимальная грузоподъемность

разбрасывателя по таблице 4.3 будет 23 тонны. По таблице 4.2 выбираем агрегат для внесения удобрений К – 701 + МТТ – 23.

$Q_{ГН} = 23$ т. – грузоподъемность разбрасывателя;

$B = 7$ м. – ширина захвата.

Примерные скорости движения агрегатов выбираем из таблицы 4.5.

Скорости движения агрегатов для внесения удобрений

Состав агрегата	Скорость движения, км/ч		
	с грузом, $V_{Г}$	без груза, $V_{Х}$	при внесении удобрений, V
К-701 + МТТ-23	21	28,5	8,2

5. Определяем длину рабочего пути агрегата при внесении удобрений по полю по формуле (4.3) с учетом $k_{Г} = 1$ – коэффициент использования грузоподъемности.

$$l_{P} = \frac{10^4 \cdot 23 \cdot 1}{7 \cdot 66} = \frac{230000}{462} = 498 \text{ м.}$$

6. Число поворотов агрегата за время опорожнения кузова определяем по формуле (4.4) с учетом $L = 400 \dots 600$ м. – длина гона.

Длину гона подбираем таким образом, чтобы число проходов агрегата было целым четным числом. Поэтому принимаем длину гона $L = 300$ м.

$$n_{П.О} = \frac{498}{300} - 1 = 2 - 1 = 1$$

7. Продолжительность одной погрузки удобрений определяем по формуле (4.5) с учетом $W_{П} = 62$ т/ч – производительность погрузчика.

$$t_{П} = 23 \cdot 1 / 62 = 0,37 \text{ ч.}$$

8. Определяем время случайного ожидания погрузки по формуле (4.6)

$$t_{ОЖ} = 0,25 \cdot 0,37 = 0,09 \text{ ч.}$$

9. Определяем производительность агрегата по формуле (4.2) с учетом $t_{П.О} = 0,0083$ ч.

$$W_m = \frac{23 \cdot 1}{\frac{12}{21} + \frac{12}{28,5} + \frac{498}{10^3 \cdot 8,2} + 1 \cdot 0,0083 + 0,37 + 0,09} = \frac{23}{0,57 + 0,42 + 0,06 + 0,0083 + 0,37 + 0,09} = \frac{23}{1,52} = 15 \text{ т/ч.}$$

10. Нормативное требуемое число разбрасывателей удобрений определяем по формуле (4.1) с учетом

$F_{НС} = 100$ га – нормативная площадь;

$\alpha_K = 0,9$ – коэффициент использования календарного времени;

$Y_{ГТ} = 0,98$ – коэффициент готовности разбрасывателей;

$T_{СМ} = 7$ ч – продолжительность смены.

$$m_{НС} = \frac{66 \cdot 100}{7 \cdot 0,9 \cdot 15 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 0,98} = \frac{6600}{648,27} = 10,18$$

Полученное значение необходимо округлять с точностью до двух знаков после запятой.

11. Определяем нормативное требуемое число погрузчиков исходя из условия взаимосвязанной поточной работы по формуле (4.7)

$$n_{НС} = \frac{9,54 \cdot 16}{62} = \frac{143,1}{62} = 2,3$$

Полученное значение необходимо округлять с точностью до двух знаков после запятой.

12. Определяем общую потребность в разбрасывателях удобрений по формуле (4.8) с учетом

$F_{НС} = 1400$ га – общая удобряемая площадь хозяйства.

$$m_{\Sigma} = \frac{1400}{100} \cdot 10,18 = 14 \cdot 10,18 = 143$$

Округляем в сторону увеличения. Если хозяйство не в состоянии приобрести и содержать столько разбрасывателей, то можно увеличить календарные сроки в допустимых границах: органические удобрения – 10...12 дней весной и 15...20 дней осенью; минеральных удобрений – 3...4 дня весной и 15...20 дней осенью.

13. Определяем общую потребность в погрузчиках по формуле (4.9)

$$n_{\Sigma} = \frac{1400}{100} \cdot 2,3 = 14 \cdot 2,3 = 33$$

Округляем в сторону увеличения.

14. Под технологическим звеном при основном внесении удобрений по прямоточной технологии подразумевают обоснованную совокупность погрузчиков и разбрасывателей. Чаще всего технологические звенья такого типа формируют с одним погрузчиком.

Рассчитываем число разбрасывателей в технологическом звене, обслуживаемых одним погрузчиком по формуле (4.11)

$$m = 62 / 15 = 4$$

15. Определяем плотность (интенсивность) потока требований прибывающих к погрузчику агрегатов по формуле (4.18)

$$\lambda = \frac{1}{\left(\frac{12}{21} + \frac{12}{28,5} + \frac{498}{10^3 \cdot 8,2} + 1 \cdot 0,0083\right)} = \frac{1}{0,57 + 0,42 + 0,06 + 0,0083} = \frac{1}{1,0583} = 0,94 \text{ 1/ч.}$$

16. Определяем интенсивность обслуживания разбрасывателей погрузчиком по формуле (4.19)

$$\mu = \frac{62}{23 \cdot 1} = 2,69 \text{ 1/ч.}$$

17. Определяем отношение α по формуле

$$\alpha = \lambda / \mu = 0,94 / 2,69 = 0,35$$

18. Определяем значение вероятности простоя погрузчика из-за несвоевременного прибытия разбрасывателей по формуле (4.17)

$$P_{no} = \frac{1}{[1 + 4 \cdot 0,35 + 4 \cdot (4 - 1) \cdot 0,35^2 + 4 \cdot (4 - 1) \cdot (4 - 2) \cdot 0,35^3 + 4 \cdot (4 - 1) \cdot (4 - 3) \cdot 0,35^4]}$$

$$= \frac{1}{1 + 1,4 + 1,47 + 1,029 + 0,18} = \frac{1}{5,08} = 0,12$$

19. Определяем оптимальное число агрегатов, обслуживаемых одним погрузчиком по формуле (4.16) по критериям (4.14) или (4.15)

$$m_o = 4 - (1 - 0,12) \cdot \left(1 + \frac{1}{0,35}\right) = 4 - 0,88 \cdot (1 + 2,86) = 4 - 0,88 \cdot 3,86$$

$$= 4 - 3,4 = 0,6 \approx 1$$

20. Определяем коэффициент простоя разбрасывателей

$$k_m = m_o / m = 1 / 4 = 0,25$$

21. Определяем пропускную способность погрузчика по числу обслуживаний за 1 час разбрасывателей по формуле

$$q_n = (1 - P_{no}) \cdot \mu.$$

$$q_n = (1 - 0,12) \cdot 2,69 = 0,88 \cdot 2,69 = 2,4$$

22. Изложить методику оценки качества работы агрегатов балльным методом (см. работу 1) по следующим основным показателям: отклонение от заданной дозы внесения, %; неравномерность распределения по ширине захвата и по длине прохода, %; наличие огрехов.

Нарушение агротехнических требований по этим показателям приводит не только к перерасходу удобрений, но и к ухудшению качества урожая и последующей продукции, а также отрицательно воздействует на окружающую среду. Контроль качества работы может осуществляться как специальной службой, так и самими механизаторами.

Охрана труда и охрана природы. Задачи охраны труда сводятся к обеспечению безопасной работы всего персонала, связанного с выполнением технологического процесса по внесению удобрений.

Основное отрицательное воздействие агрегатов по внесению удобрений на окружающую среду заключается в чрезмерной концентрации химических веществ в почве, воздухе и растениях, а также в переуплотнении почвы.

Оптимальная плотность почвы в зависимости от ее типа и вида сельскохозяйственной культуры находится в диапазоне 1,1.-1,4 г/см³.

Уплотняющее воздействие ходовых систем агрегатов данного типа на почву можно уменьшить за счет увеличения опорной поверхности, подбора оптимального давления в шинах, создания шин улучшенной конструкции и т. п.

Отчет.

Результаты расчетов и выводы следует представить в виде таблицы 4.6.

Таблица 4.6

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Вид удобрений	Органические
2	Доза внесения, u	66 т/га
3	Расстояние до поля, l_T	12 км
4	Количество календарных дней, D_K	7
5	Коэффициент сменности, k_{CM}	1
6	Общая площадь, F_Σ	1400
7	Технологическая схема	Прямоточная
8	Оптимальная грузоподъемность, $Q_{ГН}$	23 т
9	Ширина захвата, B	7 м
10	Агрегат для внесения	К-701+МТТ-23
11	Погрузчик	ПЭ-0,8Б
12	Производительность погрузчика, $W_{П}$	62 т/ч
13	Скорость движения с грузом, $V_{Г}$	21 км/ч
14	Скорость движения без груза, $V_{Х}$	28,5 км/ч
15	Скорость движения при внесении, V	8,2 км/ч
16	Коэффициент использования грузоподъемности, $k_{Г}$	1
17	Длина рабочего пути, l_P	498 м
18	Длина гона, L	300 м
19	Число поворотов агрегата за время опорожнения кузова, $n_{П.О}$	1
20	Продолжительность одной погрузки, $t_{П}$	0,37 ч
21	Время случайного ожидания погрузки, $t_{ОЖ}$	0,09 ч
22	Продолжительность одного поворота, $t_{ПО}$	0,0083 ч
23	Производительность агрегата, W_m	15 т/ч
24	Нормативная площадь, $F_{НЭ}$	100 га
25	Коэффициент использования календарного времени, α_K	0,9
26	Коэффициент готовности разбрасывателей, $Y_{ГТ}$	0,98
27	Продолжительность смены, T_{CM}	7 ч
28	Нормативное число разбрасывателей, $m_{НЭ}$	10,18
29	Нормативное число погрузчиков, $n_{НЭ}$	2,3
30	Общая потребность в разбрасывателях, m_Σ	143
31	Общая потребность в погрузчиках, n_Σ	33

Продолжение таблицы 4.6

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
32	Число разбрасывателей в технологическом звене, обслуживаемых одним погрузчиком, m	4
33	Плотность (интенсивность) потока требований прибывающих к погрузчику агрегатов, λ	0,94 1/ч
34	Интенсивность обслуживания разбрасывателей погрузчиком, μ	2,69 1/ч
35	Отношение α	0,35
36	Вероятность простоя погрузчика из-за несвоевременного прибытия разбрасывателей, P_{no}	0,12
37	Оптимальное число агрегатов, обслуживаемых одним погрузчиком, m_o	1
38	Коэффициент простоя разбрасывателей, k_m	0,25
39	Пропускная способность погрузчика по числу обслуживаний разбрасывателей за 1 час, q_n	2,4

Приведенные выше рекомендации и математические модели позволяют обеспечить высокоэффективное использование агрегатов при внесении как органических, так и минеральных удобрений при всех возможных технологических схемах организации работы.

Контрольные вопросы.

1. Перечислите критерии обоснования допусков на качественные показатели технологического процесса.
2. Какие взаимосвязанные задачи возникают при обосновании сроков и темпа выполнения работ?
3. В чем различие методик проектирования простого, сложного и комбинированного производственных процессов?
4. Почему численный состав технологического звена при вероятностной оценке состояний агрегата отличается от его состава при определении по допустимым потерям урожая?

5. По каким показателям оценивают эффективность функционирования смежных звеньев технологического комплекса?
6. Почему число машин в смежном звене, рассчитанное из условия точности, является приближенным?
7. Какие эксплуатационные показатели агрегатов оказывают наибольшее влияние на оптимальное соотношение числа машин в смежных звеньях технологического комплекса?
8. Какие показатели характеризуют надежность функционирования агрегатов, звеньев, комплексов?
9. Как сформулировать прямую и обратную задачи оптимального резервирования?
10. Можно ли определить резерв производительности основного звена комплекса через число агрегатов, полученное с учетом вероятности их состояний?
11. Укажите основные способы и технологические схемы внесения удобрений.
12. Какие основные факторы следует учитывать при выборе состава ресурсосберегающих агрегатов для внесения удобрений?
13. Какой способ движения рекомендуют при внесении удобрений?
14. Что включает в себя подготовка поля к внесению удобрений?
15. Что подразумевают под технологическим звеном при основном внесении удобрений при прямоточной технологии?
16. Чем обусловлена необходимость формирования технологических звеньев при внесении удобрений?

Литература

1. Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во «Лань», 2016. 464 с.: ил.
2. Зангиев А.А., Лышко Г.Д., Скороходов А.Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1996. 320 с.
3. Зангиев А.А., Шпилько А.В., Левшин А.Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: КолосС, 2003. 320 с.
4. Скороходов А.Н., Левшин А.Г. Выбор оптимальных параметров и режимов работы МТА: практикум. М.: Триада, 2012. Ч. 1. 75 с.
5. Моделирование и оптимизация технологических процессов в растениеводстве: практикум / А.Н. Скороходов, А.Г. Левшин, В.Д. Уваров и др. М.: ФГБОУ ВДО МГАУ, 2013. Ч. 2. 145 с.
6. Скороходов А.Н. Эксплуатационное обеспечение безотказной работы агрегатов и комплексов. М.: Изд-во МИИСП, 1990. 122 с.
7. Скороходов А.Н. Методы повышения надежности и эффективности агрегатов и технологических комплексов. М.: ФГОУ ВДО МГАУ, 2003. Ч. 3. 75 с.
8. Типовые нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1990. Т. 1. 352 с.
9. Фортуна В.И., Миронюк С.К. Технология механизированных сельскохозяйственных работ. М.: Агропромиздат, 1986. 304 с.

Учебное издание

Самусенко Владимир Иванович

Сакович Наталья Евгеньевна

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

Часть I

Учебно-методическое пособие для выполнения практических работ
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентами инженерно-технологического института
по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия».

Редактор Аддылина Е.С.

Подписано к печати 18.04.2023 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,30. Тираж 25 экз. Изд. №7518

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ