

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 III**

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. III. - 76 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

1. Оптимизация уборки зерновых колосовых культур .....	4
2. Оптимизация уборки кукурузы на зерно и на силос .....	38
Контрольные вопросы .....	74
Литература .....	75

В третьей части учебного пособия изложены методы оптимального проектирования основных технологических процессов в растениеводстве, таких как, уборка зерновых колосовых культур, уборка кукурузы на зерно и на силос и уборка картофеля с использованием современных методов математического моделирования и исследования.

## **1. ОПТИМИЗАЦИЯ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР**

**Цель задания** – освоить современные методы оптимального проектирования производственных процессов по уборке зерновых колосовых культур на основе общих принципов операционной технологии выполнения полевых механизированных работ и вероятностной оценки взаимодействующих звеньев.

### **Содержание задания**

- 1.** Выписать из таблицы 1.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.
- 2.** Выбрать эффективную технологию уборки зерновых колосовых культур.
- 3.** Изложить основные агротехнические требования к выбранному способу уборки.
- 4.** Выбрать эффективные ресурсосберегающие агрегаты и дать рекомендации по их комплектованию.
- 5.** Определить общее требуемое число агрегатов каждого вида.
- 6.** Определить оптимальные составы уборочно-транспортных звеньев и обеспечить их эффективную работу.
- 7.** Кратко изложить методику контроля качества работы зерноуборочных комбайнов.

## Методические указания

Основными зерновыми колосовыми культурами в нашей стране, как известно, являются пшеница (озимая, яровая), озимая рожь, ячмень (озимый, яровой), причем на долю озимой и яровой пшеницы приходится более 40% валового сбора зерна. Уборку зерновых колосовых культур, особенно озимой пшеницы, в большинстве регионов приходится проводить в сложных погодных условиях при нехватке уборочной техники и механизаторов, поэтому применение современных методов оптимизации производственных процессов с позиций ресурсосбережения и высокой производительности достаточно актуально.

Таблица 1.1 – Варианты задания

№ варианта	Убираемая культура	Объем работы, га	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность культуры, т/га	Расстояние транспорта, км	Послеуборочная обработка
1	Пшеница яровая	2000	400	40	3,4	5	Сушка
2		2500	600	40	3,7	7	Очистка
3		3000	800	60	4,0	5	Сушка
4		3500	1000	100	4,5	7	Очистка
5		4000	1400	140	3,7	10	Сушка
6	Озимые зерновые	1200	200	40	3,4	5	Сушка
7		1500	400	40	3,7	7	Очистка
8		2000	600	80	4,0	5	Сушка
9		2500	800	80	4,5	7	Сушка
10		3000	1000	140	5,0	5	Очистка
11	Ячмень	2500	400	80	4,5	5	Сушка
12		3000	600	100	3,7	7	Сушка
13		3500	800	120	3,4	5	Очистка
14		4000	800	140	3,7	7	Сушка
15		1200	200	40	4,0	10	Сушка
16	Пшеница яровая	1300	400	90	3,4	6	Сушка
17		1400	600	70	3,7	7	Очистка
18		1500	800	150	4,0	8	Сушка
19		1600	1000	130	4,5	9	Очистка
20		1700	1400	140	3,7	10	Сушка
21	Озимые зерновые	1800	200	150	3,4	9	Сушка
22		1900	400	120	3,7	8	Очистка
23		2100	600	130	4,0	6	Сушка
24		300	800	30	4,5	5	Сушка
25		400	1000	40	5,0	10	Очистка

Продолжение таблицы 1.1

№ варианта	Убираемая культура	Объем работы, га	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность культуры, т/га	Расстояние транспорта, км	Последующая уборочная обработка
26	Ячмень	500	400	50	4,5	9	Сушка
27		600	600	60	3,7	8	Сушка
28		700	800	120	3,4	7	Очистка
29		800	800	80	3,7	5	Сушка
30		900	800	90	4,6	6	Сушка

**Примечание.** При необходимости исходные данные могут быть изменены преподавателем с учетом местных природно-производственных условий.

Эффективной считают такую технологическую уборку зерновых колосовых культур, которая обеспечивает в заданных природно-производственных условиях полный сбор всего урожая с высоким качеством при наименьшем расходе используемых ресурсов.

Зерновые колосовые культуры убирают в основном **прямым** (однофазный способ) и **раздельным** (двухфазный способ) комбайнированием.

**Перспективными** являются также различные варианты поточных способов уборки зерновых колосовых культур, при которых весь биологический урожай или основную его часть перевозят на стационарный пункт для последующей обработки.

**Основное преимущество** поточных способов уборки – возможность уборки урожая в сложных погодных условиях. Однако по ряду технико-экономических причин эти способы уборки пока мало используют в хозяйствах.

**Прямое комбайнирование** предусматривает при движении комбайна по полю выполнение следующих операций:

- срезание растений и обмолот хлебной массы с выделением зерна и последующей его очисткой;
- сбор зерна в бункер, а незерновой части урожая (соломы и половы) в копнитель.

Кроме указанной базовой технологии, применяют также очес растений вместо срезания и распределение незерновой части урожая по поверхности по-

ля в различных вариантах — измельчением и без измельчения. Вместо копнителя иногда используют тракторный прицеп с кузовом большой вместимости. Прямое комбайнирование наиболее эффективно на незасоренных участках с равномерно созревшими неполеглыми растениями при влажности зерна до **25%**. Однако при необходимости прямое комбайнирование используют и в более сложных условиях, настраивая соответствующим образом рабочие органы.

**При раздельном комбайнировании** (двухфазном способе уборки) стебли предварительно скашивают и укладывают на поле в валки валковой жаткой (первая фаза), которые подбирают после просыхания через **3-4** дня зерноуборочным комбайном и обмолачивают по описанной выше схеме (вторая фаза). Данный способ эффективен при уборке засоренных участков с неравномерно созревающими высокостебельными растениями, склонными к полеганию.

Преимущество двухфазного способа – возможность начала уборки на **4-12** дней (в зависимости от местных условий) раньше, т. е. при восковой спелости зерна влажностью **25-35%**.

Основное условие применения двухфазного способа уборки – наличие соответствующих погодных условий для своевременного подсыхания валков, в противном случае неизбежны высокие потери урожая. Обычно с учетом погодных условий практикуют комбинированное применение обоих способов уборки в различных пропорциях.

**Незерновую часть** урожая убирают с целью использования на корм животным после соответствующей обработки и для подстилки соломы на животноводческих фермах. Затраты труда и денежных средств на уборку незерновой части урожая в **2-3** раза выше затрат на уборку зерна.

В данном задании изложены методы решения задач, связанных с уборкой только зерновой части урожая, на примере прямого комбайнирования пшеницы. Полученные при этом результаты справедливы и при подборе валков зерноуборочным комбайном.

## Основные агротехнические требования при прямом комбайнировании

пшеницы:

- оптимальная продолжительность уборки – **5-7** дней (в сложных условиях – **10-15** дней);
- влажность зерна – **14-17%**;
- число растений в фазе полной спелости – **95%**;
- чистота зерна в бункере не ниже **95%**;
- потери зерна за жаткой до **1%** для прямостоячих и до **1,5%** для полеглых хлебов;
- потери зерна от недомолота и с соломой до **1,5%**;
- дробление семенного и продовольственного зерна соответственно до **1** и **2%**.

При прямом комбайнировании в качестве основных агрегатов используют зерноуборочные комбайны, транспортные средства и агрегаты для послеуборочной обработки зерна. Эффективные ресурсосберегающие агрегаты указанных типов следует выбрать методами, изложенными ранее. Полученные диапазоны эффективных значений пропускной способности зерноуборочных комбайнов приведены в таблице 1.2 в зависимости от урожайности зерна и длины гона. Первая цифра диапазона соответствует оптимальному значению пропускной способности комбайна по минимуму приведенных затрат  $C_{\Pi} \rightarrow \min$ , а вторая цифра – компромиссному значению пропускной способности при  $C_{\Pi k} = 1,05 C_{\min}$ , обеспечивающей более высокую производительность.

Таблица 1.2 – Диапазоны оптимальных и компромиссных значений пропускной способности зерноуборочных комбайнов

Длина гона, м	Диапазоны пропускной способности, кг/с, при урожайности, т/га			
	2	3	4	5
200	4,3-6,6	4,8-7,6	5,2-8,2	5,7-9,1
400	5,3-8,4	5,7-9,2	6,1-9,7	6,4-9,3
600	5,7-9,1	6,1-9,8	6,4-10,3	6,7-10,7
800	6,0-9,6	6,4-10,2	6,6-10,6	6,8-11,0
1100	6,2-10,0	6,5-10,5	6,7-10,9	6,9-11,2
1400	6,4-10,2	6,6-10,7	6,8-11,0	7,0-11,3

Требованиям ресурсосбережения и высокой производительности соответствуют комбайны, пропускная способность которых находится в первой половине каждого диапазона таблицы 1.2 при нормальных условиях работы. Сложным условиям уборки, включая непогоду, нехватку комбайнеров и другие неблагоприятные факторы, соответствуют комбайны с пропускной способностью во второй половине каждого диапазона. Условия уборки следует выбирать с учетом местных природно-производственных особенностей или в зависимости от вида послеуборочной обработки зерна. Условия, при которых требуется сушка зерна, следует рассматривать как сложные. Комбайны, выбранные по компромиссному варианту решения, т.е. с пропускной способностью второй половины диапазона, обладают повышенной (**на 30-40%**) производительностью при увеличенных (**до 5%**) приведенных затратах по сравнению с минимальными  $C_{Пmin}$ . С учетом изложенных особенностей необходимо выбрать соответствующий эффективный комбайн из таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Основные параметры зерноуборочных комбайнов

Комбайн	Пропускная способность, $P_H$ , кг/с	Ширина захвата В, м	Объем бункера $\Omega_B$ , м <sup>3</sup>	Объем копнителя $\Omega_K$ , м <sup>3</sup>	Мощность двигателя $N_H$ , кВт	$M_k$ , кг
Енисей-900	3	3, 2, 4,1	2,5	—	59	6250
Кедр-1200	5-6	4,1, 5	5	—	118	10 090
«Нива»	5-6	4, 5, 6	3	9	107	8060
Дон-1200	5,5-6,5	6, 7	6	12	125	11 500
Дон-1200Б	7-8	6, 7	6	14	118	11 710
Дон-1500А	8-9	6, 7, 8,6	6	14	162	12 830
Дон-2600Р	10-12	6, 7, 8,6	6	14	206	14 600
СК-10В	10-12	6, 7, 8,6	6	14	184	14 875

Номинальные пропускные способности комбайнов  $P_H$  в таблице 1.3 соответствуют следующим номинальным условиям работы: прямостоящая пшеница при влажности зерна **15-18%** и массе **1000** зерен **40** г; длина срезанных стеблей **70-90** см; засоренность до **5%**; отношение массы зерна к массе соломы **1:1,5**.

Расчетную ширину захвата жатки комбайна определяют по формуле

$$B_p = \frac{\Pi_n \cdot \varepsilon_n}{0,1 \cdot v \cdot U \cdot (1 + \delta_c)}, \quad (1.1)$$

где  $\varepsilon_n$  – коэффициент использования пропускной способности комбайна;  $v$  – рабочая скорость движения комбайна, м/с;  $U$  – урожайность зерна, т/га;  $\delta_c$  – отношение массы незерновой части урожая к массе зерна.

Приближенно можно принять средние значения  $\varepsilon_n = 0,8$ ,  $\delta_c = 1,5$  при скорости движения  $v = 1,7-2$  м/с. По рассчитанному по формуле (1.1) значению  $B_p$  из таблицы 1.3 выбирают соответствующую жатку с конструктивной шириной захвата  $B_k$ . На этом завершается выбор эффективного для заданных условий зерноуборочного комбайна.

Далее следует выбрать эффективные транспортные средства для перевозки зерна от комбайнов, включая грузовые автомобили и тракторный транспорт. При прочих равных условиях наиболее эффективны автомобили-самосвалы, так как для них не требуются специальные разгрузочные устройства типа опрокидывателей, необходимых для бортовых автомобилей. Тракторный транспорт более эффективен при расстояниях перевозки зерна до 5 км в сложных дорожных условиях. Для грузовых автомобилей, включая бортовые и самосвалы, оптимальными по минимуму приведенных затрат являются следующие сочетания расстояния перевозки зерна и грузоподъемности  $Q_{гнo}$ :

$$l_r = 5 \text{ км}, Q_{гнo} = 4 \text{ т}; l_r = 5-10 \text{ км}, Q_{гнo} = 5 \text{ т}; l_r = 10-15 \text{ км}, Q_{гнo} = 5,5 \text{ т}; l_r = 15-20 \text{ км}, Q_{гнo} = 6,5 \text{ т}; l_r = 20-25 \text{ км}, Q_{гнo} = 7,0; l_r = 25-30 \text{ км}, Q_{гнo} = 7,5 \text{ т}; l_r = 30-40 \text{ км}, Q_{гнo} = 8 \text{ т}.$$

На основании приведенных данных из таблицы 1.4 можно выбрать эффективное транспортное средство с номинальной грузоподъемностью  $O_{гн}$ , отвечающей условию  $O_{гн} > O_{гнo}$  и равной или кратной массе зерна в бункере комбайна. Плотность бункерного зерна пшеницы равна **0,6-0,83** т/м<sup>3</sup>, ржи – **0,63-0,78**, ячменя – **0,55-0,75**, овса – **0,4-0,5** т/м<sup>3</sup>. В расчетах можно принять средние значения плотности из указанных диапазонов. Бункерное зерно является грузом первого класса при коэффициенте использования грузоподъемности  $k_2 = 1$  (зерно овса считают грузом второго класса при  $k_2 = 0,85$ ).

При хороших дорожных условиях в составе автопоездов используют также прицепы следующих типов: **ГКБ-819** с автомобилем-самосвалом **ЗИЛ-ММЗ-554М** (грузоподъемность **5 т**, вместимость кузова **6,4 м<sup>3</sup>**, масса **3050 кг**); **ГКБ-8527** с автомобилем-самосвалом **КамАЗ-55102** (грузоподъемность **7 т**, вместимость кузова **7,87 м<sup>3</sup>**, масса **4594 кг**).

Для послеуборочной обработки зерна в хозяйствах применяют зерноочистительные агрегаты **ЗАВ-25**, **ЗАВ-40** и **ЗАВ-50**, а также зерноочистительно-сушильные комплексы **КЗС-50**.

Таблица 1.4 – Основные параметры транспортных средств, используемых на перевозке зерна от комбайнов

Транспортное средство	Номинальная грузоподъемность $Q_r$ , т	Объем кузова $\Omega_{куз}$ , м <sup>3</sup>	Колесная формула	Мощность двигателя $N$ , кВт	Масса автомобиля без груза или тракторного прицепа $M_a$ , кг
<b>Бортовые автомобили</b>					
ГАЗ-5312	4,5	4,7	4x2	88,3	3200
ЗИЛ-433100	6	6	4x2	136	5500
КамАЗ-5320	8	6	6x4	154,6	7080
<b>Автомобили-самосвалы</b>					
ГАЗ-САЗ-53Б	3,5	4	4x2	88,3	3750
ГАЗ-САЗ-3507	4	5	4x2	84,6	3840
ГАЗ-САЗ-4509	4	6	4x2	92,0	4360
ЗИЛ-ММЗ-554	5,5	6	4x2	110,0	5125
КамАЗ-55102	7	7,9	6x4	154,5	8630
<b>Тракторный транспорт</b>					
МТЗ-80 + ПТС-4	4	5	4x2	55,2	1700
МТЗ-80 + 2ПТС-4М	4	4-6	4x2	55,2	1530
МТЗ-80 + 2ПТС-4-887	4	5	4x2	55,2	1755
МТЗ-80 + 2ПТС-6-852	6	6,4	4x2	55,2	2950

Влажность зерна для длительного хранения должна быть не более **14%** при наличии сорной примеси в зерне пшеницы до **1%** и плотности **0,73-0,76 т/м<sup>3</sup>**. Агрегаты типа ЗАВ предназначены для послеуборочной обработки (прием, очистка, временное хранение) зерна с влажностью до **18%** и засоренностью до **20%**. Зерноочистительно-сушильные комплексы типа КЗС предназначены для приема,

очистки и сушки продовольственного и фуражного зерна. При влажности зерна до **20%** используют также естественную сушку путем перелопачивания.

Высокопроизводительные агрегаты **ЗАВ-50** и **КЗС-50** рекомендуют для хозяйств с валовым сбором зерна всех культур более **6000 т**. В пределах данного задания можно использовать агрегаты меньшей производительности типа **ЗАВ-25** и **КЗС-25** с учетом вида заданной послеуборочной обработки зерна в таблице 1.5. Возможно с учетом местных условий использование агрегатов и других типов.

Таблица 1.5 – Производительность агрегатов для послеуборочной обработки зерна

Агрегат	Производительность по зерну за 1 ч работы, т/ч
ЗАВ-25	50 (прием), 25 (очистка)
ЗАВ-40	40 (очистка)
ЗАВ-50	100 (прием), 50 (очистка)
КЗС-25Ш	50 (прием), 25 (очистка), 20 (сушка)
КЗС-25Б	50 (прием), 25 (очистка), 20 (сушка)
КЗС-50	100 (прием), 50 (очистка), 40 (сушка)

После выбора эффективных ресурсосберегающих зерноуборочных комбайнов, транспортных средств и агрегатов для послеуборочной обработки зерна необходимо изложить основные рекомендации по их комплектованию в соответствии с операционной технологией выполнения работ.

Общее требуемое число агрегатов каждого вида получим по аналогии с предыдущими заданиями. Сначала по формуле (4.1 часть 1) рассчитываем нормативное (в расчете на 100 га) число зерноуборочных комбайнов  $m_n$  (с точностью до двух знаков после запятой), а затем по формуле (4.8 часть 1) принимаем округленное целое число комбайнов  $m_z$  для любой другой площади посевов  $F_c$  зерновых колосовых культур. Как указано ранее, оптимальная календарная продолжительность уборки  $D_k = 5-7$  дней. Однако при этом требуется большое число комбайнов, поэтому зональные исследовательские институты рекомендуют следующие значения  $D_k$ : **6** дней – для Северо-Кавказского района, **7** – для Поволжского района, **10** дней – для всех остальных районов. Затягивание сро-

ков уборки связано с большими потерями зерна. Например, для озимой пшеницы эти потери составляют: **4,1%** при  $D_k = 4-7$ , **16,2%** при  $D_k = 11-13$  и **27,3%** при  $D_k = 17-20$ . Коэффициент использования календарного времени уборки можно принять равным **0,9** для Центрально-Черноземного, Поволжского и Северокавказского районов и **0,8** для всех остальных районов.

Производительность зерноуборочного комбайна можно определить по формуле

$$W_m = K_{об} \cdot W_{нн} = 3,6 \cdot K_{об} \cdot \frac{П_n}{U \cdot (1 + \delta_c)} \cdot \tau, \quad (1.2)$$

где  $W_{нн}$  – производительность комбайна в нормальных условиях, га/ч;  $K_{об}$  – обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий отклонение условий уборки от нормальных;  $П_n$  – пропускная способность выбранного комбайна, кг/с;  $U$  – урожайность, т/га (см. табл. 1.1 часть 1);  $\tau$  – коэффициент использования времени смены.

Для  $\delta_c$  отношения массы незерновой части урожая к массе зерна можно принять среднее значение  $\delta_c = 1,5$ .

Обобщенный поправочный коэффициент

$$K_{об} = k_v \cdot k_c \cdot k_n \cdot k_k, \quad (1.3)$$

где  $k_v$ ,  $k_c$ ,  $k_n$ ,  $k_k$  – частные поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно влажность хлебной массы, засоренность, полеглость и вид убираемой культуры.

Так, диапазонам влажности хлебной массы **13-18**, **18-22**, **22-26**, **26-32%** соответствуют значения  $k_v$ , равные **1**, **0,91**, **0,65**, **0,5**. Аналогично при засоренностях **10**, **20**, **30**, **40**, **50**, **60%** значения  $k_c$  следующие: **0,89**, **0,84**, **0,78**, **0,71**, **0,69**, **0,57**. При средней и повышенной полеглостях соответственно принимаем  $k_n = 0,85$  и  $k_n = 0,7$ . Для безостой и остистой пшеницы имеем  $k_k = 0,8$  и  $k_k = 0,9$ .

Из приведенных данных следует выбрать те значения поправочных коэффициентов, которые соответствуют местным условиям. При нормальных условиях работы следует принять  $K_{об} = 1$ . Значения коэффициента сменности  $k_{см}$  при  $t_{см} = 7$  ч и  $\gamma_{гт} = 0,96$  следующие: **1,14-1,71** — для Нечерноземной зоны; **2,57-3,14** — Южно-степной зоны; **1,43-1,71** — Урало-Сибирской зоны.

Значения коэффициента использования времени смены  $\tau$  можно выбрать по нормативным данным, приведенным в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Значения коэффициента использования времени смены для зерноуборочных комбайнов

Длина гона, м	Значения при пропускной способности комбайнов, кг/с				
	4	6	8	10	12
Урожайность 2—3 т/га					
200	0,42-0,45	0,36-0,40	—	—	—
400	0,48-0,49	0,42-0,45	0,38-0,41	—	—
600	0,49-0,51	0,45-0,46	0,41-0,43	0,37-0,39	—
800	0,50-0,51	0,46-0,47	0,42-0,44	0,39-0,41	—
1000	—	0,46-0,48	0,43-0,44	0,39-0,41	—
1400	—	0,47-0,48	0,44-0,45	0,40-0,42	—
Урожайность 4-6 т/га					
200	—	0,42-0,44	0,38-0,39	—	—
400	—	0,46-0,47	0,42-0,43	0,39-0,40	—
600	—	0,47-0,48	0,44-0,45	0,40-0,41	—
800	—	0,48-0,49	0,44-0,45	0,41-0,42	—
1000	—	0,48-0,49	0,45-0,46	0,42-0,43	—
1400	—	0,49-0,50	0,45-0,47	0,42-0,43	0,40-0,41

Эти значения  $\tau$  даны для тех сочетаний длины гона, урожайности и пропускной способности комбайна, при которых удовлетворяются требования ресурсосбережения и высокой производительности.

На основании приведенных данных можно рассчитать производительность зерноуборочного комбайна  $W_m$  а затем их нормативное  $m_{H\Sigma}$  и общее  $m_\Sigma$  требуемые числа.

Нормативное (в расчете на 100 га)  $n_{H\Sigma}$  и общее  $n_\Sigma$  число транспортных средств рассчитаем из условия их взаимосвязанной поточной работы с зерноуборочными комбайнами:

$$n_{H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}}; n_\Sigma = \frac{m_\Sigma \cdot W_m \cdot U \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}}, \quad (1.4)$$

При прямых перевозках зерна от комбайнов (без технологического компенсатора в виде полевого зернотока или другого накопителя зерна) коэффици-

енты сменности комбайнов  $K_{см.м}$  и транспортных средств  $K_{смт}$  одинаковые:  $K_{смт} = K_{см.м}$ . В других случаях следует использовать конкретные данные из хозяйства. Из равенства (1.4) видно, что при наличии технологического компенсатора перевозка зерна может продолжаться после остановки комбайнов. Тогда соответственно возрастает  $K_{смт}$  при меньшей потребности в транспортных средствах. Выгрузку зерна из бункера целесообразно производить при остановленном комбайне в заранее намеченных пунктах. При этом меньше уплотняется почва транспортными средствами и менее напряженной становится работа комбайнера.

При такой форме организации работы производительность транспортного агрегата

$$W_n = \frac{Q_{гн} \cdot k_{г}}{t_n} = \frac{Q_{гн} \cdot k_{г}}{\frac{2 \cdot l_{г}}{v_{тех}} + t_{в} + t_{раз}}, \quad (1.5)$$

где  $t_n$  – общая продолжительность цикла транспортного средства, ч;  $t_{в}$  – продолжительность выгрузки зерна из бункера, ч;  $t_{раз}$  – время разгрузки зерна, включая взвешивание и оформление документов, ч.

Значения  $Q_{гн}$  и  $k_{г}$  приведены ранее, а расстояние  $l_2$  перевозки зерна от комбайна – в таблице 1.1.

Средняя техническая скорость автомобилей  $v_{тех}$  при перевозке зерна составляет примерно **28-32 км/ч** в зависимости от типа автомобиля и дорожных условий. Для тракторов с прицепами по дорогам второй категории рекомендованы следующие значения  $v_{тех}$ : **19, 23, 26 км/ч** соответственно для **МТЗ-80/82, Т-150К и К-701**. По нормативным и статистическим данным можно принять также  $t_{в} = 0,066$  ч,  $t_{раз} = 0,12$  ч. Таким образом, равенства (1.2)-(1.5) с учетом других приведенных данных позволяют определить нормативное и общее потребное число зерноуборочных комбайнов и транспортных средств.

Нормативное  $n_{а.н\Sigma}$  и общее  $n_{а\Sigma}$  потребное число агрегатов для послеуборочной обработки зерна можно определить по формулам:

$$n_{а.н\Sigma} = \frac{m_{н\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_m \cdot \varepsilon_a}{W_a \cdot k_{см.а}};$$

$$n_{a\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_m \cdot \varepsilon_a}{W_a \cdot k_{см.а}}, \quad (1.6)$$

где  $W_a$  – производительность агрегата, т/ч;  $k_{см.а}$  – коэффициент сменности агрегата;  $\varepsilon_a$  – коэффициент, учитывающий одновременную обработку зерна других культур,  $\varepsilon_a > 1$ .

Значение  $W_a$  можно определить с учетом соответствующей чистой производительности  $\Pi_a$  (см. табл. 1.5):

$$W_a = \Pi_a \cdot \tau_a, \quad (1.7)$$

где  $\tau_a$  – коэффициент использования времени смены.

Агрегаты рассматриваемого типа работают непрерывно **5-7** дней, после чего их подвергают очистке и техническому обслуживанию. Исходя из этого, в формулах (1.6), (1.7) можно приближенно принять  $k_{см.а} = 3$  и  $\tau_a = 0,85$ . Можно использовать и более точные местные данные. При отсутствии местных данных можно выбрать  $\varepsilon_a = 1-1,3$ .

В состав уборочно-транспортного звена включают в оптимальных пропорциях зерноуборочные комбайны, транспортные средства и агрегаты для послеуборочной обработки зерна, с учетом указанных ранее преимуществ группового использования агрегатов. Важнейшие из этих преимуществ — более эффективное использование уборочных и транспортных агрегатов, возможность уборки урожая на каждом поле почти в оптимальные сроки (за 1-3 дня) и освобождения его для последующих работ.

В состав уборочно-транспортных комплексов включают **2-3** уборочно-транспортных звена и звенья для уборки незерновой части урожая, послеуборочной обработки почвы, технического и других видов обслуживания техники и механизаторов. В данном задании рассматриваются задачи оптимизации состава только уборочно-транспортного звена и обеспечения его эффективной работы. Число  $m$  комбайнов в звене следует определять на основании формул (1.1 часть2) и (1.2 часть2) при  $D_{п} = 1-3$ ,  $T_{см} = 7$  ч,  $k_{см} = 1,5$  и ранее полученных значений производительности  $W_m$  и площади поля (см. табл. 1.1). Сначала следует принять  $D_{п} = 1$  и если  $m < 5$ , то оставить этот срок уборки одного поля. Если условие не соблюдается, т. е.  $m > 5$ , то следует принять  $D_{п} = 2$  и т. д. Если

при  $D_n = 3$  получено  $m > 5$ , то следует составить два и более уборочно-транспортных звеньев с соблюдением условия  $1 < m < 5$  и одно из них рассматривать в последующих расчетах.

Число транспортных средств в звене (при упрощенном варианте расчета):

$$n = \frac{m \cdot W_m \cdot u \cdot k_{см.м}}{W_n \cdot k_{см.н}}, \quad (1.8)$$

При отсутствии технологического компенсатора следует принять  $k_{см.м} = k_{см.н}$ .

Основным недостатком упрощенного расчета по формуле (1.8) является пренебрежение потерями времени и средств, связанными с взаимным ожиданием комбайнов и транспортных средств. В связи с этим с позиций ресурсосбережения целесообразно определить оптимальное число транспортных средств  $n_0$ , обеспечивающее минимум потерь от взаимного ожидания  $C_{mnmin}$ .

Соответствующий критерий оптимальности в общем случае имеет вид

$$C_{mn} = m_0 \cdot C_m + n_0 \cdot C_n \rightarrow \min, \quad (1.9)$$

где  $m_0, n_0$  – среднее число простаивающих во взаимном ожидании соответственно комбайнов и транспортных средств;  $C_m, C_n$  – стоимость 1 ч простоя соответственно комбайна и транспортного средства, р/ч.

Чтобы исключить влияние изменчивости  $C_m$  и  $C_n$  в рыночных условиях, целесообразно перейти к относительным безразмерным затратам:

$$\overline{C_{mn}} = m_0 \cdot \frac{C_m}{C_n} + n_0 \rightarrow \min. \quad (1.10)$$

Поскольку значения  $C_m$  и  $C_n$  изменяются примерно пропорционально, то отношение будет оставаться стабильным. Кроме того,  $C_m$  и  $C_n$  зависят от оптовых цен комбайна  $Ц_m$  и транспортного средства  $Ц_n$ , поэтому вместо выражения (1.10) на практике удобнее расчеты проводить по эквивалентному критерию оптимальности:

$$\overline{C_{mn}} = m_0 \cdot \frac{Ц_m}{Ц_n} + n_0 \rightarrow \min. \quad (1.11)$$

При этом значения  $Ц_m$  и  $Ц_n$  можно взять за любой один год. При отсутствии более точных данных применительно к местным условиям можно использовать среднее значение отношения  $Ц_m/Ц_n = 2,53$ .

Взаимосвязанную работу зерноуборочных комбайнов и транспортных средств в составе уборочно-транспортного звена можно считать типичной системой массового обслуживания с ожиданием. Поэтому значения  $m_0$  и  $n_0$  можно определить методами теории массового обслуживания. Такая задача предлагается в качестве студенческой исследовательской работы на базе ЭВМ.

Далее изложен упрощенный вариант решения рассматриваемой задачи. При этом сначала определяем оптимальное число транспортных средств для перевозки зерна от одного комбайна, а затем, вводя поправочные коэффициенты, получаем результаты оптимизации для звена в целом.

Критерий оптимальности при  $m=1$  имеет вид

$$\overline{C_{mn}} = P_{m0} \cdot \frac{C_m}{C_n} + n_0 \rightarrow \min \quad (1.12)$$

где  $P_{m0}$  – вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства в момент заполнения бункера зерном.

Методами теории массового обслуживания получим:

$$P_{m0} = \frac{1}{1+n \cdot \alpha + n \cdot (n-\alpha) \cdot \alpha^2 + n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \alpha^3 + \dots + n \cdot (n-1) \dots 1 \alpha^n}; \quad (1.13)$$

$$n_0 = n - (1 - P_{m0}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \quad (1.14)$$

где  $n$  – текущее число транспортных средств;  $\alpha = \lambda/\mu$ ;  $\lambda$  – плотность, или интенсивность, прибытия каждого транспортного средства за зерном к комбайну, 1/ч;  $\mu$  – интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном, 1/ч.

Величины  $\lambda$  и  $\mu$  можно рассчитать по формулам:

$$\mu = \frac{1}{t_{нв}}; \quad \lambda = \frac{1}{t_m}, \quad (1.15)$$

где  $t_{нв}$  – средняя продолжительность рейса транспортного средства, ч;  $t_m$  – средняя продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, ч.

Средняя продолжительность рейса при установившемся процессе уборки:

$$t_{нв} = \frac{2 \cdot l_{\Gamma}}{v_{\text{тех}}} + t_{\text{раз}}, \quad (1.16)$$

$$t_m = n_{\text{б}} \cdot (t_{\text{б}} - t_{\text{в}}) = n_{\text{б}} \left( \frac{l_{\text{б}}}{3600 \cdot v} + n_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + t_{\text{в}} \right), \quad (1.17)$$

где  $n_6$  – число бункеров зерна, выгружаемых в кузов транспортного средства;  $t_6$  – время заполнения бункера зерном, ч;  $t_e$  – время выгрузки зерна из бункера, ч;  $l_6$  – длина пути, проходимого комбайном за время заполнения бункера, м;  $v$  – рабочая скорость комбайна, м/с;  $n_{п}$  – число поворотов комбайна за время заполнения бункера;  $t_{п}$  – продолжительность одного поворота комбайна, ч.

Значения  $l_6$ ,  $v$  и  $n_{п}$  можно определить из равенств:

$$l_6 = \frac{10^4 \cdot \Omega_6 \cdot \rho \cdot \gamma_6}{B_k \cdot \beta \cdot U}; \quad (1.18)$$

$$v = \frac{\Pi_n \cdot \varepsilon_{п}}{0,1 \cdot B_k \cdot \beta \cdot U \cdot (1 + \delta_c)}; \quad (1.19)$$

$$n_{п} = \frac{l_6}{L} - 1. \quad (1.20)$$

Значения вместимости бункера комбайна  $\Omega_6$ , плотности зерна  $\rho$ , ширины захвата жатки  $B_k$  пропускной способности комбайна  $\Pi_n$ , урожайности  $U$  и длины гона  $L$  приведены в таблицах 1.2, 1.3. Кроме того, можно принять следующие средние справочные данные: коэффициент заполнения бункера комбайна  $\gamma_6 = 0,98$ ; коэффициент использования конструктивной ширины захвата жатки  $\beta = 0,96$ ; отношение массы незерновой части урожая к массе зерна  $\delta_c = 1,5$ ; коэффициент использования пропускной способности комбайна  $\varepsilon_{п} = 0,8$ ; продолжительность выгрузки зерна из бункера  $t_b = 0,066$  ч; продолжительность одного поворота комбайна  $t_{п} = 0,0147$  ч при  $B_k \leq 6$  м и  $t_{п} = 0,0197$  ч при  $B_k > 6$  м. Желательно также, чтобы вместимости бункера и кузова транспортного средства были примерно одинаковыми при  $n_6 = 1$ .

На основании формул (1.15)-(1.20) и с учетом перечисленных значений величин можно определить  $t_{n6}$ ,  $t_m$  и  $\alpha = \lambda/\mu$ , после чего рассчитать оптимальное число транспортных средств  $n_0$  для обслуживания одного зерноуборочного комбайна. Оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена получим, вводя поправочный коэффициент:

$$n_0 = m \cdot n_{01} \cdot \varphi_k. \quad (1.21)$$

В зависимости от числа  $m$  комбайнов в звене можно принять следующие средние значения поправочного коэффициента  $\varphi_k$ : при  $m = 1-2$  –  $\varphi_k = 1$ ;  $m = 3$  –  $\varphi_k = 0,83$ ;  $m = 4$  –  $\varphi_k = 0,75$ ;  $m = 5$  –  $\varphi_k = 0,7$ . Подставив соответствующее зна-

чение  $\Phi_k$  в формулу (1.21), получим оптимальное число транспортных средств  $n_0$  для всего звена.

**Например**, для комбайна СК-5М «Нива» и автомобиля ГАЗ-52 на уборке пшеницы при вместимости бункера комбайна  $\Omega_6 = 3 \text{ м}^3$ ; вместимости кузова автомобиля  $\Omega_{ку} = 3,86 \text{ м}^3$ ;  $\Pi_n = 5 \text{ кг/с}$ ;  $\varepsilon_n = 0,8$ ;  $n_6 = 1$ ;  $\rho = 0,72 \text{ т/м}^3$ ;  $\gamma_6 = 0,98$ ;  $\delta_c = 1,5$ ;  $u = 2 \text{ т/га}$ ;  $L = 500 \text{ м}$ ;  $B_k = 5 \text{ м}$ ;  $\beta = 0,96$ ;  $t_n = 0,0147 \text{ ч}$ ;  $t_b = 0,066 \text{ ч}$ ;  $l_r = 5 \text{ км}$ ;  $v_{тех.} = 30 \text{ км/ч}$ ;  $t_{раз} = 0,12 \text{ ч}$  получим  $t_m = 0,483 \text{ ч}$ ,  $t_{нв} = 0,453 \text{ ч}$ ,  $\lambda = 1/0,453 = 2,207 \text{ 1/ч}$ ,  $\mu = 1/0,483 = 2,070 \text{ 1/ч}$ ,  $\alpha = \lambda/\mu = 1,066$ .

Дальнейшее решение на основании формул (1.12)...(1.14) при  $\Pi_m/\Pi_n = 2,53$  выполним в такой последовательности.

Примем  $n_1 = 1$ . Тогда  $P_{m01} = 0,484$ ,  $n_{01} = 0$ ,  $\overline{C_{mn1}} = 1,224$ .

Затем примем  $n_2 = 2$  и получим соответственно  $P_{m02} = 0,185$ ,  $n_{02} = 0,42$ ,  $\overline{C_{mn2}} = 0,888$ .

При  $n_3 = 3$  найдем  $P_{m03} = 0,0547$ ,  $n_{03} = 1,168$ ,  $\overline{C_{mn3}} = 1,306$ .

Из полученных результатов следует, что минимум затрат  $\overline{C_{mn.min}} = \overline{C_{mn2}} = 0,888$  имеет место при  $n_{opt1} = n_2 = 2$ , т.е. при двух автомобилях. Умножив это число на  $m$  и соответствующий поправочный коэффициент  $\Phi_k$ , вычислим по формуле (1.21) оптимальное число транспортных средств для звена.

Для сравнения требуемое число транспортных средств для одного комбайна найдем упрощенным методом из условия их поточной работы:

$$n = t_{нв}/t_m = 0,453/0,483 = 0,94 = 1.$$

Существенное расхождение результатов объясняется пренебрежением в упрощенном варианте расчета неизбежными простоями во взаимном ожидании комбайнов и транспортных средств из-за случайного характера изменения действующих факторов, включая урожайность, дорожные условия, состояние хлебной массы и др.

При оперативных расчетах в качестве упрощенных показателей работы системы массового обслуживания используют также коэффициенты простоя комбайнов  $k_m$  и транспортных средств  $k_n$ , вычисляемые по формулам:

$$k_m = m_0/m; k_n = n_0/n. \quad (1.22)$$

По физическому смыслу  $k_m$  и  $k_n$  соответствуют долям простаивающих комбайнов и транспортных средств или долям времени их простоя. В сложных погодных условиях при ограниченных сроках уборки число транспортных средств следует подбирать таким образом, чтобы значение  $k_m$  было как можно меньше при контролируемом  $k_n$ . Для удобства выбора эффективного соотношения между  $k_m$  и  $k_n$  с учетом местных условий можно построить графики зависимостей от числа транспортных средств  $n$ . Можно проанализировать также влияние на  $k_m$  и  $k_n$  вместимости бункера  $\Omega_b$ .

Упрощенный оперативный метод определения состава уборочно-транспортного звена методами теории массового обслуживания. Допустим, что каждый комбайн уборочно-транспортного звена образует простейший вероятностный поток требований в виде порций зерна, соответствующих вместимости бункера. Плотность потока

$$\lambda_1 = 1/t_{mб}. \quad (1.23)$$

Среднюю продолжительность заполнения бункера  $t_{mб}$  получим с учетом приведенных выше зависимостей:

$$t_{mб} = \frac{\Omega_b \cdot \rho \cdot \gamma_b \cdot (1 + \delta_c)}{3,6 \cdot \Pi_H \cdot \varepsilon_{\Pi}} + \left( \frac{10^4 \cdot \Omega_b \cdot \rho \cdot \gamma_b}{L \cdot B_K \cdot \beta \cdot U} \right) \cdot t_{\Pi}. \quad (1.24)$$

Суммарный поток требований на обслуживание от всех  $m$  комбайнов звена в соответствии с теорией массового обслуживания будет простейшим с плотностью

$$\lambda = m \cdot \lambda_1 = m/t_{mб}. \quad (1.25)$$

Интенсивность обслуживания этих требований каждым транспортным средством

$$\mu = \frac{1}{t_n} = \frac{1}{(2 \cdot l_r / v_{\text{тех}}) + t_{\text{в}} + t_{\text{раз}}}, \quad (1.26)$$

где  $t_{nб}$  – продолжительность одного обслуживания, ч.

Если в момент заполнения бункера не окажется свободного транспортного средства, то требование получает отказ, что соответствует выгрузке зерна в технологический компенсатор. Следовательно, имеем систему массового обслуживания с отказами, основным показателем функционирования которой является вероятность отказа в обслуживании:

$$P_{\text{отк}} = \frac{\alpha^n}{n!} \cdot P_0, \quad (1.27)$$

где  $n$  – число обслуживающих транспортных средств;  $\alpha = \lambda/\mu$ ;  $P_0$  – вероятность одновременного простоя всех транспортных средств из-за отсутствия заполнения бункеров.

Значение  $P_0$  получим на основе теории массового обслуживания для систем с отказами:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} \quad (1.28)$$

Задавая приемлемое для заданных условий эффективное значение  $P_{\text{отк.э}}$ , можно определить эффективное требуемое число транспортных средств  $n_э$  в звене.

Эффективность данного метода расчета можно проверить на основе ранее приведенного примера с комбайном СК-5М «Нива» и автомобилем ГАЗ-52 при тех же исходных данных.

Если принять число комбайнов в звене  $m = 3$ , то на основании выражений (1.23)-(1.26) получим:  $t_{m\bar{0}} = 0,417$  ч;  $t_{n\bar{0}} = 0,519$  ч;  $\lambda = 7,194$  ч<sup>-1</sup>;  $\mu = 1,927$  ч<sup>-1</sup>;  $\alpha = \lambda/\mu = 3,732$ .

Задавшись вероятностью отказа  $P_{\text{отк.э}} = 0,05$ , можно на основании формул (1.27) и (1.28) с учетом значения  $\alpha$  найти эффективное число транспортных средств  $n_э$ .

Задавая последовательно возрастающие значения  $n$ , получим:

при  $n = 1$   $P_0 = 0,211$ ,  $P_{\text{отк}} = 0,788$ ;

$n = 2$   $P_0 = 0,0855$ ,  $P_{\text{отк}} = 0,595$ ;

$n = 3$   $P_0 = 0,0491$ ,  $P_{\text{отк}} = 0,425$ ;

$n = 7$   $P_0 = 0,0248$ ,  $P_{\text{отк}} = 0,0497$ .

Таким образом, значению  $P_{отк.э} = 0,05$  соответствует число транспортных средств в звене  $n_э = 7$ . На основании анализа полученных результатов можно выбрать и другие варианты решения. Например, если принять  $P_{отк.э} = 0,1$ , то эффективное число транспортных средств составит  $n_э = 6$ .

После определения числа транспортных средств  $n_э$  и соответствующего значения вероятности отказа  $P_{отк.э}$  необходимо для исключения простоя комбайнов рассчитать требуемую вместимость межсменного технологического компенсатора  $\Omega_{км}$  по формуле:

$$\Omega_{км} \cdot \rho \cdot \gamma_k = m \cdot z_{б1} \cdot \Omega_б \cdot \rho \cdot \gamma_б P_{отк.э} = \frac{m \cdot T_{см} \cdot k_{см.м}}{t_{мб}} \cdot \Omega_б \cdot \rho \cdot \gamma_б \cdot P_{отк.э}, \quad (1.29)$$

где  $\gamma_k$  – коэффициент заполнения компенсатора;  $z_{б1}$  – число бункеров зерна, намолоченного одним комбайном в течение рабочего дня.

Тогда требуемая вместимость межсменного компенсатора

$$\Omega_{км} = \frac{m \cdot T_{см} \cdot k_{см.м} \cdot \Omega_б \cdot P_{отк.э}}{\gamma_k \cdot t_{мб}}. \quad (1.30)$$

Межсменный компенсатор характеризуется тем, что зерно из него вывозят после завершения работы комбайна до начала следующего рабочего дня. Однако создание межсменных технологических компенсаторов также связано с определенными затратами, поэтому в каждом конкретном случае следует находить ресурсосберегающий компромиссный вариант совместного использования зерноуборочных комбайнов, транспортных средств и компенсаторов. В качестве межсменных компенсаторов с учетом местных условий можно использовать различные бункеры на колесах, транспортные прицепы, полевые токи и другие емкости. Выбор эффективного варианта использования межсменных компенсаторов с учетом местных условий можно рекомендовать в качестве темы студенческой исследовательской работы путем анализа на ЭВМ действия всех факторов.

Следующая важная задача – обеспечить эффективную взаимосвязанную работу комбайнов всех звеньев с ранее выбранным агрегатом для послеуборочной обработки зерна. В связи с этим необходимо определить число комбайнов

$m_{a1}$ , обслуживаемых одним таким агрегатом. При упрощенном расчете значение  $m_{a1}$  получим по аналогии с формулами (1.6) при  $\varepsilon_a = 1$ :

$$m_{a1} = \frac{W_a \cdot k_{cm.a}}{W_m \cdot u \cdot k_{cm.m}}. \quad (1.31)$$

Более точный результат можно получить методами теории массового обслуживания с учетом вероятностного потока транспортных средств, прибывающих с зерном от комбайнов на пункт послеуборочной обработки. Интенсивность (плотность) этого потока

$$\lambda_a = \frac{1}{t_{na}} = \frac{m_{a1} \cdot W_n \cdot u}{Q_{гн} \cdot k_{г}} = \frac{m_{a1} \cdot \Omega_6 \cdot \rho \cdot \gamma_6}{Q_{гн} \cdot k_{г} \cdot t_{m6}}, \quad (1.32)$$

где  $t_{na}$  – средний промежуток времени между моментами прибытия транспортных средств на пункт послеуборочной обработки зерна, ч;  $Q_{гн}$  – средняя грузоподъемность используемых транспортных средств, т.

При этом порция зерна с массой  $Q_{гн} k_{г}$  соответствует одному требованию на послеуборочную обработку с интенсивностью

$$\mu_a = \frac{1}{t_{na}} = \frac{W_a}{Q_{гн} \cdot k_{г}}, \quad (1.33)$$

где  $t_{na}$  – средняя продолжительность послеуборочной обработки зерна одного требования, ч.

Взаимосвязанную работу зерноуборочных комбайнов и транспортных средств всех уборочно-транспортных звеньев, а также агрегата для послеуборочной обработки зерна можно рассматривать как систему массового обслуживания с отказами по аналогии с выражениями (1.27), (1.28) при  $n = n_a = 1$  и  $\alpha_a = \lambda_a / \mu_a$ .

В данном случае под  $n_a$  следует подразумевать число обслуживающих агрегатов для послеуборочной обработки зерна. Вероятности  $P_{отк.a}$  отказа в приеме транспортных средств с зерном и  $P_{oa}$  простоя агрегата для послеуборочной обработки зерна рассчитываем по формулам:

$$P_{отк.a} = \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} ; P_{oa} = \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a}. \quad (1.34)$$

Отказ получают те транспортные средства, зерно которых не может быть обработано сразу после разгрузки. Тогда разгрузку производят в резервную ем-

кость, называемую технологическим компенсатором. Вместимость такого компенсатора  $\Omega_{\text{км}}$  находим из равенства

$$\Omega_{\text{км}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{км}} = m_{\text{а1}} \cdot z_{\text{Q1}} \cdot Q_{\text{ГН}} \cdot k_{\text{Г}} \cdot P_{\text{отк.а}} = \frac{m_{\text{а1}} \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}}}{t_{\text{mq}}} Q_{\text{ГН}} \cdot k_{\text{Г}} \cdot P_{\text{отк.а}}$$

где  $z_{\text{Q1}}$  - число кузовов зерна, намолоченных одним комбайном в течение рабочего дня;  $t_{\text{mq}}$  - время заполнения кузова транспортного средства, ч.

Значение времени заполнения транспортного средства можно выразить через время заполнения бункера комбайна, тогда

$$\Omega_{\text{км}} = \frac{m_{\text{а1}} \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}} \cdot m \cdot Q_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}}}{\gamma_{\text{км}} \cdot t_{\text{mb}}} \cdot \left( \frac{\lambda_{\text{а}}}{\lambda_{\text{а}} + \mu_{\text{а}}} \right), \quad (1.35)$$

где  $\gamma_{\text{км}}$  - коэффициент использования вместимости компенсатора,  $\gamma_{\text{км}} = 0,98$ .

На основании расчетов по формулам (1.32) - (1.35) можно обеспечить эффективную взаимосвязанную работу всех уборочно-транспортных звеньев и агрегатов для послеуборочной обработки зерна. Например, для взаимосвязанной работы двух звеньев при  $m_{\text{а1}} = 8$  из комбайнов СК-5М «Нива» и автомобилей ГАЗ-52 ( $Q_{\text{ГН}} k_{\text{Г}} = 2,5$  т) с учетом ранее приведенных данных получим:

$$W_{\text{а}} = 25 \cdot 0,85 = 21,25 \text{ т/ч}; \lambda_{\text{а}} = 16,244 \text{ ч}^{-1}; \mu_{\text{а}} = 8,5 \text{ ч}^{-1};$$

$$P_{\text{отк.а}} = 0,656; P_{0\text{а}} = 0,343; Q_{\text{км}} = 396,4 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$$

На основании формул (1.32) - (1.35) можно решить и обратную задачу определения возможного числа комбайнов  $m_{\text{а1}}$ , обслуживаемых одним агрегатом для послеуборочной обработки зерна, с учетом вместимости его бункера для временного хранения зерна  $\Omega_{\text{б.х}}$ , приняв  $\Omega_{\text{км}} = \Omega_{\text{б.х}}$ . Углубленный анализ получаемых по формулам (1.31) - (1.35) закономерностей с учетом возможного диапазона изменения действующих факторов и вместимости бункера комбайна  $\Omega_{\text{б}}$  можно выполнить на базе ЭВМ в качестве студенческой исследовательской работы.

Дальнейшее повышение эффективности работы уборочно-транспортного звена достигается за счет соответствующей подготовки полей и правильной организации движения агрегатов по загону. Подготовка полей предусматривает их обкашивание по краям, разбивку на загоны с учетом выбранного способа

движения и прокладку разгрузочных магистралей применительно к прямому комбайнированию. На полях длиной гона до **500** м рекомендуют **круговой** способ движения комбайнов от периферии к центру по направлению хода часовой стрелки с учетом выгрузки зерна из бункера в левую сторону. При длинах гона **более 500** м применяют способ движения **вразвал** (загонный) по направлению хода часовой стрелки.

Схемы указанных способов движения и методы определения размеров загона приведены в данном задании. При этом каждый комбайн должен работать на отдельном загоне. Места выгрузки зерна из бункера комбайна следует определить в зависимости от соотношения между длиной гона  $L$  и длиной пути  $l_6$ , рассчитанной по формуле (16.18). Если  $l_6 < L$ , то зерно выгружают на концах загона. При больших длинах гона прокладывают разгрузочные магистрали в виде прокосов шириной **6-8** м поперек длины гона таким образом, чтобы зерно выгружать на этих прокосах. Благодаря этому уменьшается холостой пробег транспортных средств по полю при меньшем уплотнении почвы. При  $L = 1,5l_6$  и  $L = 2l_6$  требуется один прокос соответственно на расстоянии  $0,5l_6$  от одного края загона и по середине загона. При  $L = 3l_6$  требуются два прокоса и т. д.

Необходимо графически изобразить разбивки поля на загоны и схемы движения комбайна.

Качество работы зерноуборочного комбайна в условиях хозяйства при прямом комбайнировании оценивают балльным способом в соответствии с данными таблицы 1.7.

Таблица 1.7 – Результаты балльной оценки качества работы зерноуборочных комбайнов при прямом комбайнировании

Показатель	Условия работы		Балл
	благоприятные	неблагоприятные	
Общие потери зерна, %	До 2	До 3	5
	2-3	3-4	4
	3,1-4	4-5	3
	Более 4	Более 5	0
Дробление зерна, %	До 2	До 2	1
	Более 2	Более 2	0
Засоренность бункерного зерна	До 3	До 3	1
	Более 3	Более 3	0
Высота стерни	Соответствует требованиям		1
	Не соответствует требованиям		0
Укладка копен	Прямолинейная		1
	Непрямолинейная		0

Баллам **8, 9** соответствует оценка «отлично», **6, 7** – «хорошо», **4, 5** – «удовлетворительно», **3 и ниже** – «неудовлетворительно».

Показатели качества работы зерноуборочного комбайна при прямом комбайнировании можно принять по опытным или справочным данным.

### Пример расчета уборки ячменя (вариант №30)

1. Выписываем из таблицы 1.1 исходные данные варианта №30.

№ варианта	Убираемая культура	Объем работы, га	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность культуры, т/га	Расстояние транспорта, км	Послеуборочная обработка
30	Ячмень	900	800	90	4,6	6	Сушка

2. Выбираем эффективную технологию уборки зерновых колосовых культур, в нашем случае прямое комбайнирование, которое предусматривает выполнение следующих операций:

- срезание растений и обмолот хлебной массы с выделением зерна и последующей его очисткой;
- сбор зерна в бункер, а незерновой части урожая (соломы и половы) в копнитель.

**3. Основные агротехнические требования при прямом комбайнировании ячменя:**

- оптимальная продолжительность уборки – **5-7** дней (в сложных условиях – **10-15** дней);
- влажность зерна – **14-17%**;
- число растений в фазе полной спелости – **95%**;
- чистота зерна в бункере не ниже **95%**;
- потери зерна за жаткой до **1%** для прямостоячих и до **1,5%** для полеглых хлебов;
- потери зерна от недомолота и с соломой до **1,5%**;
- дробление семенного и продовольственного зерна соответственно до **1 и 2%**.

**4. Выбираем диапазоны пропускной способности зерноуборочных комбайнов из таблицы 1.2 в зависимости от урожайности и длины гона  $\Pi_n = 6,6...10,6$  кг/с.**

При нормальных условиях работы пропускную способность необходимо выбирать в первой половине диапазона. Условия, при которых требуется сушка зерна, рассматривают как сложные. Поэтому пропускную способность выбираем во второй половине диапазона. Принимаем  $\Pi_n = 9$  кг/с.

**5. Расчетную ширину захвата жатки комбайна определяем по формуле (1.1), с учетом, что:**

$\varepsilon_n = 0,8$ - коэффициент использования пропускной способности;

$V = 1,7...2,0$  м/с – скорость движения;

$U = 4,6$  т/га – урожайность зерна;

$\delta_c = 1,5$  – отношение массы незерновой части урожая к массе зерна.

$$B_p = \frac{9 \cdot 0,8}{0,1 \cdot 1,7 \cdot 4,6 \cdot (1 + 1,5)} = \frac{7,2}{0,1 \cdot 7,82 \cdot 2,5} = \frac{7,2}{1,9} = 4 \text{ м.}$$

По рассчитанному значению  $B_p$  и принятой пропускной способностью из таблицы 1.3 выбираем зерноуборочный комбайн **Дон – 1500А** конструктивной шириной захвата жатки  $B_k = 6$  м.

6. Выбираем транспортные средства для перевозки зерна от комбайнов, с учетом расстояния перевозки зерна  $l_r$  (из задания) и оптимальной грузоподъемности  $Q_{гнo}$ . Так как, у нас  $l_r = 6$  км., то при  $l_r = 5...10$  км.,  $Q_{гнo} = 5$  т.

Из таблицы 1.4 выбираем транспортное средство с номинальной грузоподъемностью  $Q_{гн}$ , отвечающей условию  $Q_{гн} \geq Q_{гнo}$  и равной или кратной массе зерна в бункере комбайна.

Плотность бункерного зерна ячменя  $\rho = 0,55...75$  т/м<sup>3</sup> (стр.11).

Объем бункера Дон – 1500А,  $\Omega_B = 6$  м<sup>3</sup>.

Тогда масса зерна в бункере,

$$\Omega_{гнб} = 0,65 \cdot 6 = 4 \text{ т.}$$

По таблице 1.4 выбираем автомобиль ЗиЛ-ММЗ-554, у которого  $Q_{гн} = 5,5$  т,  $\Omega_{куз} = 6$  м<sup>3</sup>,  $k_r = 1$  (коэффициент использования грузоподъемности стр.11).

Тогда масса зерна в кузове

$$\Omega_{гнк} = 0,65 \cdot 6 = 4 \text{ т.}$$

7. Для послеуборочной обработки зерна в пределах данного задания используем зерноочистительно-сушильный комплекс КЗС-25Б из таблицы 1.5.

8. Определяем производительность зерноуборочного комбайна по формуле (1.2), с учетом, что  $k_{об} = 1$ - обобщенный поправочный коэффициент при нормальных условиях;  $\tau = 0,43$ - коэффициент использования времени смены по таблице 1.6.

$$W_m = 3,6 \cdot 1 \cdot \frac{9}{4,6 \cdot (1 + 1,5)} \cdot 0,43 = \frac{14}{11,5} = 1,22 \text{ га/ч.}$$

9. Определяем по формуле (4.1 часть 1) нормативное (на 100га) число зерноуборочных комбайнов  $m_{н\Sigma}$  (с точностью до двух знаков после запятой), с учетом, что

$F_{н\Sigma} = 100$  га – нормативная площадь;

$D_k = 10$  – число календарных дней (стр.13);

$\alpha_k = 0,8$  – коэффициент использования календарного времени (стр.13);

$W_m = 1,22$  га/ч – производительность;

$T_{см} = 7$  ч – продолжительность смены;

$k_{смн} = 1,5$  – коэффициент сменности (стр.15);

$\gamma_{гтм} = 0,96$  – коэффициент готовности комбайна (стр.15).

$$m_{H\Sigma} = \frac{U \cdot F_{H\Sigma}}{D_{к} \cdot \alpha_{к} \cdot W_m \cdot T_{см} \cdot k_{смн} \cdot \gamma_{гтм}} = \frac{4,6 \cdot 100}{10 \cdot 0,8 \cdot 1,22 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 0,96} = \frac{460}{98} = 4,69$$

**10.** Определяем по формуле (4.8 часть 1) целое число комбайнов для своей площади, с учетом, что  $F_{\Sigma} = 900$  га – суммарный объем работ (в задании).

$$m_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} \cdot m_{H\Sigma} = \frac{900}{100} \cdot 4,69 = 42.$$

**11.** Определяем производительность транспортного агрегата по формуле (1.5), с учетом, что

$k_r = 1$  - коэффициент использования грузоподъемности (стр.11);

$V_{тех.} = 28...32$  км/ч – средняя техническая скорость движения автомобиля (стр.16);

$t_b = 0,066$  ч. – продолжительность выгрузки зерна из бункера (стр. 17);

$t_{раз.} = 0,12$  ч. – время разгрузки зерна (стр. 17).

$$W_n = \frac{5,5 \cdot 1}{\frac{2 \cdot 6}{30} + 0,066 + 0,12} = \frac{5,5}{0,4 + 0,066 + 0,12} = \frac{5,5}{0,586} = 9,38 \text{ т/ч.}$$

**12.** Определяем по формуле (1.4) нормативное (на 100 га)  $n_{H\Sigma}$  и общее  $n_{\Sigma}$  число транспортных средств, с учетом, что  $k_{смн} = k_{смн} = 1,5$ .

$$n_{H\Sigma} = \frac{4,69 \cdot 1,22 \cdot 4,6 \cdot 1,5}{9,38 \cdot 1,5} = \frac{39,5}{14} = 2,82$$

$$n_{\Sigma} = \frac{42 \cdot 1,22 \cdot 4,6 \cdot 1,5}{9,38 \cdot 1,5} = \frac{353,55}{14} = 25.$$

**13.** Определяем по формуле (1.7) производительность агрегата для послеуборочной обработки зерна, с учетом, что

$\Pi_a = 20$  т/ч – чистая производительность КЗС-25Б при сушке (таблица 1.5);

$\tau_a = 0,85$  – коэффициент использования времени смены (стр.17).

$$W_a = 20 \cdot 0,85 = 17 \text{ т/ч.}$$

**14.** Определяем нормативное  $n_{ан\Sigma}$  и общее  $n_{а\Sigma}$  число КЗС-25Б по формуле (1.6), с учетом, что

$K_{см.а} = 3$  – коэффициент сменности агрегата (стр. 17);

$\varepsilon_a = 1...1,3$  – коэффициент, учитывающий обработку зерна других культур.

$$n_{ан\Sigma} = \frac{4,69 \cdot 1,22 \cdot 4,6 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{17 \cdot 3} = \frac{47,4}{51} = 0,93 = 1;$$

$$n_{а\Sigma} = \frac{42 \cdot 1,22 \cdot 4,6 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{17 \cdot 3} = \frac{424}{51} = 8.$$

**15.** Определяем по формуле (4.1 часть 1) число комбайнов  $m$  уборочно-транспортном звене, с учетом, что

$F_a = 90$  га – площадь одного поля (в задании);

$D_{п} = 1...3$  дня – продолжительность обработки одного поля (стр.18);

$T_{см} = 7$  ч – продолжительность смены;

$k_{см.м} = 1,5$  – коэффициент сменности.

Сначала следует принять  $D_{п} = 1$  и если  $m < 5$ , то оставить этот показатель, а если  $m > 5$ , то увеличить число дней.

$$m = \frac{F_{п}}{D_{п} \cdot W_m \cdot T_{см} \cdot k_{см.м}} = \frac{90}{1 \cdot 1,22 \cdot 7 \cdot 1,5} = \frac{90}{13} = 7$$

Увеличиваем число дней до 2

$$m = \frac{90}{2 \cdot 1,22 \cdot 7 \cdot 1,5} = \frac{90}{26} = 4.$$

Принимаем это количество.

**16.** Определяем по формуле (1.8) число транспортных средств в звене

$$n = \frac{4 \cdot 1,22 \cdot 4,6 \cdot 1,5}{9,38 \cdot 1,5} = \frac{34}{14} = 2.$$

**17.** Определяем по формуле (1.18) длину пути, проходимого комбайном за время заполнения бункера, с учетом, что

$\Omega_б = 6$  м<sup>3</sup> – объем бункера (см. п.6);

$\rho = 0,65$  т/м<sup>3</sup> – плотность зерна ячменя;

$\gamma_б = 0,98$  – коэффициент заполнения бункера (стр.21);

$B_k = 6$  м – ширина захвата жатки;

$\beta = 0,96$  – коэффициент использования ширины захвата (стр.21);

$U = 4,6$  т/га – урожайность.

$$l_6 = \frac{10^4 \cdot 6 \cdot 0,65 \cdot 0,98}{6 \cdot 0,96 \cdot 4,6} = \frac{38220}{26,5} = 1442 \text{ м.}$$

**18.** Определяем по формуле (1.19) рабочую скорость комбайна, с учетом, что  $\Pi_n = 9$  кг/с – пропускная способность (см. п. 4);

$\varepsilon_n = 0,8$  – коэффициент использования пропускной способности (стр. 21).

$$V = \frac{9 \cdot 0,8}{0,1 \cdot 6 \cdot 0,96 \cdot (1 + 1,5)} = \frac{7,2}{6,6} = 1,1 \text{ м/с.}$$

**19.** Определяем по формуле (1.20) число поворотов за время заполнения бункера, с учетом, что

$L = 800$  м – длина гона (в задании).

$$n_n = \frac{1442}{800} - 1 = 1,8 - 1 = 0,8.$$

Принимаем 1.

**20.** Определяем по формуле (1.16) среднюю продолжительность рейса транспортного средства, с учетом, что

$l_r = 6$  км – расстояние перевозки (в задании);

$V = 30$  км/ч – средняя техническая скорость автомобиля (стр. 16);

траз. = 0,12 ч – время разгрузки зерна (стр. 17).

$$t_{нв.} = \frac{2 \cdot 6}{30} + 0,12 = 0,4 + 0,12 = 0,52 \text{ ч.}$$

**21.** Определяем по формуле (1.17) среднюю продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, с учетом, что

$n_6 = 1$  – число бункеров зерна, выгружаемых в кузов автомобиля (см. п.6);

$t_n = 0,0147$  ч – продолжительность одного поворота комбайна (стр. 21);

$t_b = 0,066$  ч – продолжительность выгрузки зерна из бункера (стр. 21).

$$\begin{aligned} t_m &= 1 \cdot \left( \frac{1442}{3600 \cdot 1,1} + 1 \cdot 0,0147 + 0,066 \right) = 1 \cdot \left( \frac{1442}{3960} + 0,0147 + 0,066 \right) = \\ &= 0,364 + 0,0147 + 0,066 = 0,44 \text{ ч.} \end{aligned}$$

**22.** Определяем по формуле (1.15) интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном  $\mu$  и интенсивность прибытия каждого транспортного средства за зерном к комбайну  $\lambda$

$$\mu = 1/0,52 = 1,92 \text{ 1/ч}; \quad \lambda = 1/0,44 = 2,27.$$

**23.** Определяем  $\alpha = \lambda/\mu = 1,92/2,27 = 0,85$ .

**24.** Определяем по формуле (1.13) вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства в момент заполнения бункера зерном. Так как в нашем звене 2 автомобиля (см.п.16), то расчеты выполняем два раза.

Принимаем  $n = 1$ , тогда

$$P_{m01} = \frac{1}{1 + 1 \cdot 0,85} = \frac{1}{1,85} = 0,54.$$

Принимаем  $n = 2$ , тогда

$$\begin{aligned} P_{m02} &= \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,85 + 2 \cdot (2 - 1) \cdot 0,85^2} = \frac{1}{1 + 1,7 + 2 \cdot 1,15 \cdot 0,722} \\ &= \frac{1}{2,7 + 1,66} = \frac{1}{4,36} = 0,23. \end{aligned}$$

**25.** Определяем по формуле (1.14) среднее число простаивающих транспортных средств

$$\begin{aligned} n_{01} &= 1 - (1 - 0,54) \cdot \left(1 + \frac{1}{0,85}\right) = 1 - 0,46 \cdot (1 + 1,176) = 1 - 0,46 \cdot 2,176 \\ &= 1 - 1 = 0. \end{aligned}$$

$$n_{02} = 2 - (1 - 0,23) \cdot 2,176 = 2 - 0,77 \cdot 2,176 = 2 - 1,675 = 0,324.$$

**26.** Определяем по формуле (1.12) критерий оптимальности, с учетом, что  $C_m / C_n = 2,53$  (стр.19)

$$\overline{C_{mn1}} = 0,54 \cdot 2,53 + 0 = 1,366$$

$$\overline{C_{mn2}} = 0,23 \cdot 2,53 + 0,324 = 0,582 + 0,324 = 0,906.$$

Из полученных результатов следует, что минимум затрат  $C_{mn.min} = C_{mn2} = 0,906$  имеет место при  $n_{opt} = n_2 = 2$ , то есть при двух автомобилях.

**27.** Определяем по формуле (1.21) оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена, с учетом, что

$$n_{opt2} = 2;$$

$\varphi_k = 0,75$  – поправочный коэффициент при  $m = 4$  (см. п. 15)

$$n_0 = 4 \cdot 2 \cdot 0,75 = 6.$$

**28.** Определяем по формуле (1.22) коэффициент простоя комбайна  $k_m$  и транспортных средств  $k_n$ ,

$$k_m = 0,23/4 = 0,06; \quad k_n = 0,324/2 = 0,162.$$

**29.** Определяем по формуле (1.24) среднюю продолжительность заполнения бункера, с учетом пунктов 17 и 18.

$$\begin{aligned} t_{mб} &= \frac{6 \cdot 0,65 \cdot 0,98 \cdot (1 + 1,5)}{3,6 \cdot 9 \cdot 0,8} + \frac{10^4 \cdot 6 \cdot 0,65 \cdot 0,98}{800 \cdot 6 \cdot 0,96 \cdot 4,6} \cdot 0,0147 \\ &= \frac{9,55}{25,92} + \frac{38220 \cdot 0,0147}{21197} = 0,368 + 0,026 = 0,394 \text{ ч.} \end{aligned}$$

**30.** Определяем по формуле (1.23) плотность потока требований в виде порций зерна, соответствующих вместимости бункера

$$\lambda_1 = \frac{1}{0,394} = 2,538 \text{ 1/ч}$$

**31.** Определяем по формуле (1.25) плотность суммарного потока требований на обслуживание от всех  $m$  комбайнов звена

$$\lambda = 4/0,394 = 10,152 \text{ 1/ч}$$

**32.** Определяем по формуле (1.26) интенсивность этих требований каждым транспортным средством, с учетом формулы (1.5) и пункта 11.

$$\mu = 1/0,586 = 1,706 \text{ 1/ч.}$$

**33.** Определяем по формуле (1.28) вероятность одновременного простоя всех транспортных средств из-за отсутствия заполнения бункеров, с учетом, что

$$\alpha = \lambda/\mu = 10,152/1,706 = 5,95$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{5,95}{1} + \frac{5,95^2}{2}} = \frac{1}{1 + 5,95 + 17,7} = \frac{1}{24,65} = 0,04.$$

**34.** Определяем по формуле (1.27) вероятность отказа в обслуживании

$$P_{\text{отк}} = \frac{5,95^2}{1 \cdot 2} \cdot 0,04 = 17,7 \cdot 0,04 = 0,708.$$

**35.** Определяем по формуле (1.30) требуемую вместимость межсменного компенсатора с учетом пункта 9 и  $\gamma_k = \gamma_6 = 0,98$ .

$$\Omega_{\text{км}} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 0,98 \cdot 0,708}{0,98 \cdot 0,394} = \frac{174,8}{0,386} = 452 \text{ м}^3$$

**36.** Определяем по формуле (1.31) число комбайнов, обслуживаемых одним агрегатом КЗС-25Б, с учетом п.9 и  $\gamma_k = \gamma_6 = 0,98$ .

$$m_{a1} = \frac{17 \cdot 3}{1,22 \cdot 4,6 \cdot 1,5} = \frac{51}{8,418} = 6$$

**37.** Определяем по формуле (1.32) плотность потока транспортных средств, прибывающих с зерном от комбайнов на пункт послеуборочной обработки

$$\lambda_a = \frac{6 \cdot 6 \cdot 0,65 \cdot 0,98}{5,5 \cdot 1 \cdot 0,394} = \frac{22,932}{2,167} = 10 \text{ 1/ч}$$

**38.** Определяем по формуле (1.33) интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку

$$\mu_a = \frac{17}{5,5 \cdot 1} = 3 \text{ 1/ч.}$$

**39.** Определяем по формуле (1.34) вероятности  $P_{\text{отк.а}}$  отказа в приеме транспортных средств с зерном и  $P_{\text{оа}}$  простоя агрегата для послеуборочной обработки зерна

$$P_{\text{отк.а}} = \frac{10}{10 + 3} = \frac{10}{13} = 0,769;$$

$$P_{\text{оа}} = \frac{3}{10 + 3} = \frac{3}{13} = 0,23.$$

**40.** Определяем по формуле (1.35) вместимость технологического компенсатора

$$\Omega_{\text{км}} = \frac{6 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 0,98}{0,98 \cdot 0,394} \cdot \left( \frac{10}{10 + 3} \right) = \frac{370,44}{0,386} \cdot 0,769 = \frac{285}{0,386} = 738 \text{ м}^3$$

### Отчет

Результаты расчетов для удобства оперативного анализа представить в виде таблицы 1.8. По всем пунктам задания записать выводы

Таблица 1.8

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Зерноуборочный комбайн	Дон – 1500А
2	Пропускная способность, $P_n$	9 кг/с
3	Рабочая ширина захвата, $B_p$	4 м
4	Конструктивная ширина захвата, $B_k$	6 м
5	Объем бункера Дон – 1500А, $\Omega_B$	6 м <sup>3</sup>
6	Масса зерна в бункере, $\Omega_{ГНБ}$	4 т
7	Автомобиль	ЗиЛ-ММЗ-554
8	Номинальная грузоподъемность, $Q_{ГН}$	5,5 т
9	Объем кузова, $\Omega_{куз}$	6 м <sup>3</sup>
10	Масса зерна в кузове, $\Omega_{ГНК}$	4 т
11	Зерноочистительно-сушильный комплекс	КЗС-25Б
12	Производительность зерноуборочного комбайна, $W_m$	1,22 га/ч
13	Нормативное число зерноуборочных комбайнов, $n_{н\sum}$	4,69
14	Целое число комбайнов для своей площади, $m_{\sum}$	42
15	Производительность транспортного агрегата, $W_n$	9,38 т/ч
16	Нормативное число транспортных средств, $n_{н\sum}$	2,82
17	Общее число транспортных средств, $n_{\sum}$	25
18	Производительность КЗС-25Б	17 т/ч
19	Нормативное число КЗС-25Б, $n_{аН\sum}$	1
20	Общее число КЗС-25Б, $n_{а\sum}$	8
21	Число комбайнов уборочно-транспортном звене, $m$	4
22	Число транспортных средств в звене, $n$	2
23	Длина пути, проходимого комбайном за время заполнения бункера, $l_b$	1442 м
24	Рабочая скорость комбайна, $V$	1,1 м/с
25	Число поворотов за время заполнения бункера, $n_p$	1
26	Средняя продолжительность рейса транспортного средства, $t_{нв.}$	0,52 ч
27	Средняя продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, $t_m$	0,44 ч
28	Интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном, $\mu$	1,92 1/ч
29	Интенсивность прибытия каждого транспортного средства за зерном к комбайну, $\lambda$	2,27 1/ч
30	Отношение $\alpha = \lambda/\mu$	0,85
31	Вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства в момент заполнения бункера зерном, $P_{m0}$	$P_{m01} = 0,54$ $P_{m02} = 0,23$

1	2	3
32	Среднее число простаивающих транспортных средств, $n_0$	$n_{01} = 0$ $n_{02} = 0,324$
33	Критерий оптимальности, $\overline{C_{mn}}$	$\overline{C_{mn1}} = 1,366$ $\overline{C_{mn2}} = 0,906$
34	Оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена, $n_{opt}$	6
35	Коэффициент простоя комбайна, $k_m$	0,06
36	Коэффициент простоя транспортных средств, $k_n$	0,162
37	Средняя продолжительность заполнения бункера, $t_{mb}$	0,394 ч
38	Плотность потока требований в виде порций зерна, соответствующих вместимости бункера, $\lambda_1$	2,538 1/ч
39	Плотность суммарного потока требований на обслуживание от всех $m$ комбайнов звена, $\lambda$	10,152 1/ч
40	Интенсивность этих требований каждым транспортным средством, $\mu$	1,706 1/ч
41	Отношение $\alpha = \lambda/\mu$	5,95
42	Вероятность одновременного простоя всех транспортных средств из-за отсутствия заполнения бункеров, $P_0$	0,04
43	Вероятность отказа в обслуживании, $P_{отк}$	0,708
44	Требуемая вместимость межсменного компенсатора, $\Omega_{км}$	452 м <sup>3</sup>
45	Число комбайнов, обслуживаемых одним агрегатом КЗС-25Б, $m_{a1}$	6
46	Плотность потока транспортных средств, прибывающих с зерном на пункт послеуборочной обработки, $\lambda_a$	10 1/ч
47	Интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку, $\mu_a$	3 1/ч
48	Вероятность отказа в приеме транспортных средств с зерном, $P_{отк,a}$	0,769
49	Вероятность простоя агрегата для послеуборочной обработки зерна, $P_{oa}$	0,23
50	Вместимость технологического компенсатора на КЗС, $\Omega_{км}$	738 м <sup>3</sup>

## 2. ОПТИМИЗАЦИЯ УБОРКИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО И НА СИЛОС

**Цель задания** – освоить современные методы оптимального проектирования основных производственных процессов по уборке кукурузы, как на зерно, так и на силос.

### Содержание задания

1. Выписать из таблицы 2.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

Таблица 2.1 – Варианты заданий

№ варианта	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность, т/га (початки)	Влажность зерна, %	Расстояние перевозки, км		Вид уборки
					початки	стебли	
1	200	20	3	25	7	4	На зерно
2	300	25	4	27	8	5	Початки
3	400	30	5	23	9	6	На зерно
4	500	30	6	24	8	7	Початки
5	600	40	7	25	7	5	На зерно
6	700	50	8	26	6	8	Початки
7	800	80	7	27	7	7	На зерно
8	1000	100	6	30	8	9	Початки
9	900	90	8	28	9	8	На зерно
10	800	120	6	27	10	7	Початки
1	250	30	2	30	6	10	На зерно
2	300	55	3	31	7	9	Початки
3	350	60	4	32	8	8	На зерно
4	400	65	5	33	9	7	Початки
5	450	70	6	34	10	6	На зерно
6	500	75	7	35	9	5	Початки
7	550	80	8	29	8	4	На зерно
8	600	85	7	28	7	5	Початки
9	650	90	6	27	6	6	На зерно
10	700	95	5	26	5	7	Початки
1	800	110	6	25	6	6	На зерно
2	850	115	7	27	8	5	Початки
3	900	120	5	22	9	6	На зерно
4	950	125	6	24	8	7	Початки

Продолжение таблицы 2.1

№ варианта	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность, т/га (початки)	Влажность зерна, %	Расстояние перевозки, км		Вид уборки
					початки	стебли	
5	1100	90	7	25	7	5	На зерно
6	700	70	8	26	6	8	Початки
7	800	80	7	27	7	7	На зерно
8	1000	130	6	30	8	9	Початки
9	900	90	8	28	9	8	На зерно
30	280	80	2	27	3	5	Початки

Примечание. Отдельные исходные данные могут быть изменены преподавателем дисциплины с учетом местных природно-производственных условий.

2. Выбрать эффективные технологии уборки кукурузы на зерно и на силос.
3. Изложить основные агротехнические требования.
4. Выбрать эффективные ресурсосберегающие агрегаты и дать рекомендации по их комплектованию.
5. Определить общее требуемое число агрегатов каждого вида.
6. Определить оптимальные составы уборочно-транспортных звеньев и обеспечить их эффективную работу.
7. Кратко изложить методику контроля качества работы кукурузо- и силосоуборочных комбайнов.

### Методические указания

Кукуруза является одной из важнейших зерновых культур продовольственного и технического назначения. Зерно кукурузы содержит 60-80% крахмала, 10-14% белков, 6-8% жиров, а в зародыше – до 40%. В процессе переработки из зерна кукурузы получают муку, крупу, хлопья, консервы, крахмал, спирт, патоку, уксусную кислоту, ацетон, глицерин, красители и множество других полезных продуктов. Широко используют кукурузу и на корм животным, включая зерно и листостебельную массу.

Однако кукуруза является теплолюбивой культурой, поэтому возделывают ее на зерно в южных регионах страны, включая Центрально-Черноземный и Северо-Кавказский районы. На силос и зеленый корм кукурузу возделывают почти повсеместно, за исключением северных районов страны.

С учетом широкого распространения кукурузы и высокой ресурсоемкости уборочных работ актуальное значение имеет разработка современных методов оптимального проектирования соответствующих производственных процессов с позиций ресурсосбережения и высокой производительности.

### **Уборка кукурузы на зерно**

Уборку кукурузы на зерно в нашей стране проводят по двум технологиям:

- **в початках** – специальными кукурузоуборочными комбайнами;
- **в зерне** – переоборудованными зерноуборочными комбайнами.

**По первой технологии** в процессе движения рабочие органы комбайна отрывают початки кукурузы от стеблей, очищают их и подают в кузов сменяемого тракторного прицепа, присоединяемого к комбайну сзади. Стебли кукурузы срезаются режущим аппаратом комбайна, измельчаются измельчающим барабаном и подаются в кузов идущего рядом с комбайном транспортного средства. Початки доставляют на ток тракторным транспортом, дорабатывают, включая доочистку и сортирование, сушат при необходимости до влажности **16-18%** и закладывают на хранение или отправляют по назначению.

Измельченную листостебельную массу доставляют к местам силосования или скармливания животным. В некоторых странах, включая США, собирают только початки кукурузы, а измельченные стебли разбрасывают по полю в качестве органического удобрения.

**При уборке кукурузы в зерне** переоборудованными зерноуборочными комбайнами початки отрываются от стеблей специальной приставкой, подаются в молотильный аппарат, обмолачиваются и очищенное зерно подается в бункер комбайна с последующей выгрузкой в кузов транспортного средства по аналогии с уборкой зерновых колосовых культур. Доставленное на ток зерно в зависимости от его состояния подвергают послеуборочной обработке, включая

очистку и сушку. Стебли по аналогии с предыдущей технологией срезаются на ходу, измельчаются с последующей выгрузкой в кузов идущего рядом транспортного средства и доставляются по назначению к месту силосования или скармливания животным.

С позиций ресурсосбережения выгоднее применять уборку в зерне, так как в **1,8-2** раза уменьшаются затраты труда и денежных средств и на **20-25%** снижается расход топлива для сушки зерна. Однако использование зерноуборочных комбайнов с соответствующими приставками для уборки кукурузы в зерне возможно только при влажности зерна **30-35%** (не более). При большей влажности уборку рекомендуют проводить в початках. При выборе технологии уборки кукурузы, кроме влажности зерна, следует учитывать также местные природно-производственные условия, последующее хозяйственное использование урожая (на семена, корм животным, техническую переработку и др.). При отсутствии конкретных местных рекомендаций вид уборки следует выбрать из таблицы 2.1.

**Основные агротехнические требования** при уборке кукурузы на зерно:

- оптимальные сроки уборки для одного гибрида **5-7** дней;
- оптимальная влажность зерна при уборке в початках **35-45%**, а при уборке в зерне **25-35%**;
- полнота сбора зерна не менее **97%** и полнота сбора зерна не менее **97** и **98%** соответственно при уборке в початках и в зерне;
- полнота сбора листостебельной массы не менее **95%**;
- степень очистки початков не менее **95%**;
- повреждение зерна в початках не более **1%**;
- степень очистки зерна от примесей не менее **97%**;
- содержание поврежденного зерна **до 2%**.

При уборке кукурузы по обеим технологиям используют следующие основные типы агрегатов: специальные кукурузоуборочные комбайны, прицепные и самоходные; зерноуборочные комбайны с приставками; транспортные средства для перевозки зерна, початков и листостебельной массы; агрегаты для

послеуборочной обработки початков. Для обработки зерна используют агрегаты, рассмотренные в задании 1. Эффективные варианты указанных агрегатов с позиций ресурсосбережения и высокой производительности выбирают рассмотренными ранее методами по их пропускной способности с учетом длины гона, урожайности и других условий работы.

Основные параметры используемых на уборке кукурузы комбайнов, включая специальные **ККП-3** (прицепной) и **КСКУ-6** (самоходный), а также зерноуборочные с приставками, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Основные параметры комбайнов, используемых на уборке кукурузы

Комбайн и приставка	Пропускная способность, кг/с	Число рядков	Ширина захвата, м	Объем бункера, м <sup>3</sup>	Мощность двигателя, кВт
ККП-3 прицепной	До 6	3	2,1	–	Класс 2-3
КСКУ-6	До 4	6	4,2	–	147
СК-5М + ППК-4	До 4	4	2,8	3	107
«Дон-1500» + КДМ-6	До 6	6	4,2	6	162
СК-10В + КМР-6	До 8	6	4,2	6	184
John Deere + Kemper206	До 8	6	4,5	6,800	185

Специальных кукурузоуборочных комбайнов всего два типоразмера, включая трехрядный прицепной **ККП-3**, агрегируемый с тракторами класса **2** или **3** (чаще с трактором Т-150К), и самоходный **КСКУ-6**. Рабочие органы указанных комбайнов унифицированы. Их применяют практически во всех зонах возделывания кукурузы на зерно.

Комбайн **КСКУ-6**, оборудованный молотилкой, может убирать кукурузу и в зерне, однако чаще его используют для уборки в початках. С точки зрения ресурсосбережения более эффективен прицепной комбайн **ККП-3**, так как он дешевле и после уборки кукурузы освободившийся трактор можно использовать на других работах. Кроме того, и производительность у него высокая.

Эффективные зерноуборочные комбайны с приставками можно выбрать по аналогии с заданием 1 на основании данных таблиц 1.2 и 2.2 с учетом ограниченного числа типоразмеров комбайнов с приставками. При урожайности

кукурузы в зерне до **4 т/га** (примерно **5 т/га** в початках) и длине гона до **600 м** более эффективным с позиций ресурсосбережения является комбайн **СК-5М + ППК-4**. Большим значениям урожайности кукурузы в зерне и длины гона соответствуют «**Дон-1500**» + **КМД-6** и **СК-10В + КМР-6**. Более точный выбор эффективных кукурузоуборочных комбайнов можно сделать на основе самостоятельных исследований. При отсутствии в хозяйстве комбайнов «**Дон-1500**» и **СК-10В** с приставками уборку кукурузы в зерне во всех случаях проводят с использованием **СК-5М + ППК-4** или **КСКУ-6**, оборудованного молотилкой. Практическая настройка кукурузоуборочных комбайнов на соответствующий режим осуществляется в соответствии с операционной технологией выполнения рассматриваемой работы. Необходимые рекомендации следует составить на основе специальной литературы.

При использовании комбайнов **ККП-3** и **КСКУ-6** для сбора и перевозки початков чаще применяют сменяемый тракторный прицеп **2ПТС-4-887А** с номинальной грузоподъемностью  $Q_{гн}=4$  т. Фактическая грузопместимость прицепа зависит от влажности зерна убираемой кукурузы и наличия надставных бортов. Нормальной вместимости кузова прицепа (без надставных бортов)  $Q_{ку}=5$  м<sup>3</sup> и влажности зерна кукурузы **40, 35, 30** и **25%** соответствуют фактические значения грузоподъемности прицепа в початках: **4,0, 3,2, 2,6, 2,0** т. Тем же значениям влажности зерна при наличии надставных бортов и  $Q_{ку} = 6$  м<sup>3</sup> соответствуют грузоподъемности: **4,6, 4,0, 3,3, 2,6** т. Фактическое значение грузоподъемности прицепа следует выбрать в зависимости от заданной в таблице 2.1 влажности зерна. Для буксирования указанного прицепа с початками чаще используют тракторы типа **МТЗ-80/82**. При этом кукуруза в початках относится к грузам второго класса плотностью  $\rho_{п}=0,55$  т/м<sup>3</sup> и коэффициентом использования грузоподъемности  $k_{г}=0,85$ . Для перевозки зерна от зерноуборочных комбайнов с приставками используют как тракторы с прицепами, так и грузовые автомобили, необходимые для расчетов данные по которым приведены ранее в таблице 1.4. Из указанных транспортных средств чаще всего используют **МТЗ-80/82+2ПТС-4-887А** и автомобили (за исключением КамАЗов). При использовании бортовых

автомобилей необходимы средства для ускоренной разгрузки типа опрокидывателей. Зерно кукурузы считают грузом первого класса с плотностью  $\rho=0,70-0,75$  т/м<sup>3</sup> и коэффициентом использования грузоподъемности  $k_r=1$ .

Оптимальные сочетания грузоподъемности транспортного средства  $Q_r$  и расстояния перевозки зерна  $l_z$ , указанные в задании 1, применимы и в данном случае. На основании этих данных и таблицы 1.4 можно выбрать эффективное ресурсосберегающее транспортное средство для перевозки зерна кукурузы от комбайна. Для перевозки листостебельной массы от комбайнов всех типов также используют тракторный транспорт и автомобили-самосвалы с наращенными бортами (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Основные параметры транспортных средств для перевозки листостебельной массы от кукурузоуборочных комбайнов

Транспортное средство	Объем кузова, м <sup>3</sup>	Фактическая грузоподъемность, т, при влажности массы	
		65-70%	30-40%
МТЗ-80/82 + 2ПТС-4-887А	9,8	3,0	1,2
ГАЗ-САЗ-53Б	13,4	3,3	1,3
ЗИЛ-ММЗ-554М	12,7	3,2	1,3

На основании данных таблицы 2.3 можно выбрать и другие транспортные средства. При этом влажность листостебельной массы **65-75** и **30-40%** примерно соответствует влажности зерна более **35%** и менее **35%**. Тракторный транспорт предпочтительнее использовать при расстояниях перевозки листостебельной массы  $l_r \leq 5$  км, а автомобили – при больших расстояниях. Измельченная листостебельная масса относится к грузам третьего класса с плотностью  $\rho_{л.м} = 0,25$  т/м<sup>3</sup> и коэффициентом использования грузоподъемности  $k_r = 0,6$ . При силосовании листостебельной массы для ее уплотнения в силосохранилищах чаще всего используют гусеничные тракторы **ДТ-75М** или **Т-150**, примерно по одному трактору на каждое силосохранилище.

Наиболее эффективным для послеуборочной обработки початков кукурузы является стационарный механизированный пункт **ПМУ-15**, обеспечиваю-

ший доочистку початков, их сортирование, подсушивание при влажности зерна **38-40%** и обмолот. Влажность зерна кукурузы при хранении в початках должна быть не более **16%**, а при хранении в зерне – не более **13%**. Чистая производительность пункта **ПМУ-15** составляет **15** и **12** т/ч соответственно на очистке и обмолоте початков. Для доочистки початков после уборки комбайном используют также передвижной очиститель початков **ОП-15П**, навешиваемый на трактор **МТЗ-80**, или стационарный очиститель початков **ОП-15С** с приводом от электродвигателя с мощностью **13 кВт**.

В условиях хозяйства более эффективен **ОП-15П** благодаря его маневренности при чистой производительности **10-15** т/ч. Стационарный агрегат **ПМУ-15** целесообразно применять при уборке кукурузы с влажностью зерна более **32%**, а агрегат типа **ОП-15** – при меньшей влажности. В пределах данного задания рассматривается выбор одного из агрегатов **ПМУ-15** или **ОП-15П**.

Зерно кукурузы от зерноуборочных комбайнов, а так же после обмолота початков на пункте **ПМУ-15** подвергается в зависимости от его состояния обработке на зерноочистительных агрегатах **ЗАВ-25** и **ЗАВ-50** или на зерноочистительно-сушильных комплексах **КЗС-25** и **КЗС-50**, обеспечивающих сушку зерна до влажности **13-14%**. Методы определения требуемого числа агрегатов типа **ЗАВ** и **КЗС** рассмотрены в задании 1.

Практические рекомендации по комплектованию и настройке на требуемый режим работы выбранных уборочных и других типов агрегатов следует изложить в соответствии с имеющимися литературными источниками.

Нормативное (в расчете на 100 га)  $m_{н\Sigma}$  и общее  $m_{\Sigma}$  потребное число кукурузоуборочных комбайнов следует рассчитать по формулам (4.1 часть1) и (4.8 часть1) по аналогии с предыдущими заданиями. Оптимальная продолжительность уборки кукурузы  $D_k = 5-7$  дней. Однако с учетом зональных природно-производственных особенностей рекомендуют в расчетах принять  $D_k = 12$  дней при коэффициенте использования календарного времени  $\alpha_k = 0,87$ . Следует также принять  $T_{см} = 7$  ч,  $k_{см.м} = 1,5$ ,  $\gamma_{гм} = 0,9$ .

Часовую производительность кукурузоуборочных агрегатов всех типов (га/ч) удобнее рассчитать по упрощенной формуле:

$$W_m = 0,36 \cdot B \cdot v \cdot \tau \quad (2.1)$$

с учетом ширины захвата  $B$  из таблицы 2.2, рабочей скорости  $v$  и коэффициента использования времени смены  $\tau$ . Рекомендуемые значения  $v$  приведены в таблице 17.4 в зависимости от урожайности кукурузы в початках  $U_n$  (т/га). Переход к урожайности в зерне  $U$  выполняют с учетом соотношения  $U = 0,78U_n$ .

Таблица 2.4 – Рекомендуемые рабочие скорости кукурузоуборочных комбайнов

Комбайн	Скорость движения комбайна, м/с, при урожайности кукурузы в початках, т/га						
	<b>2,5</b>	<b>5</b>	<b>7,5</b>	<b>10</b>	<b>12,5</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
Т-150К + ККП-3	2,6	2,4	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0
КСКУ-6	2,5	1,8	1,5	1,2	1,1	1,0	0,8
СК-5М + ППК-4	2,7	2,2	1,7	1,5	1,2	1,1	1,0
«Дон-1500» + КДМ-6	2,6	2,2	1,7	1,5	1,2	1,1	1,04
СК-10В + КМР-6	2,7	2,3	1,8	1,6	1,3	1,2	1,1

Убывание рабочих скоростей комбайнов с ростом урожайности связано с их ограниченной пропускной способностью. Коэффициент использования времени смены  $\tau$  в формуле (2.1) по аналогии с зерноуборочными комбайнами также зависит от пропускной способности  $\epsilon_n$ , урожайности  $U_n$  и длины гона  $L$ . На основе нормативных данных установлено, что при уборке кукурузы влияние урожайности  $U_n$  на  $\tau$  в пределах каждого класса длины гона незначительно и можно ограничиться определением  $\tau$  при постоянном среднем значении  $U_n$ . Погрешность определения  $\tau$  при этом не превышает **3-5%**. Полученные на основе такого подхода значения  $\tau$  для всех рассматриваемых кукурузоуборочных комбайнов приведены в таблице 2.5 для всех классов длины гона.

Таблица 2.5 – Значения коэффициента использования времени смены агрегатов и кукурузоуборочных комбайнов в зависимости от длины гона

Агрегат комбайн	Значения $\tau$ при длине гона, м					
	150– ...200	200– ...300	300– ...400	400– ...600	600– ...1000	Более 1000
Т-150К + ККП-3	0,429	0,500	0,539	0,562	0,580	0,593
КСКУ-6	0,389	0,467	0,493	0,511	0,528	0,537
СК-5М + ППК-4	0,433	0,519	0,548	0,568	0,587	0,597
«Дон-1500» + КДМ-6	0,392	0,469	0,496	0,514	0,531	0,540
СК-10В + КМР-6	0,370	0,442	0,468	0,485	0,501	0,510

После определения производительности выбранного комбайна  $W_m$  по формуле (2.1) с учетом значения  $\tau$  из таблицы 4.5 можно рассчитать на основании выражений (4.1 часть1) и (4.8 часть1) нормативное  $m_{н\Sigma}$  и общее  $m_{\Sigma}$  требуемое число комбайнов. Нормативное  $n_{н\Sigma}$  и общее  $n_{\Sigma}$  число транспортных средств каждого вида, включая перевозку початков, зерна и листостебельной массы, вычислим по формулам (1.4), подразумевая под  $U$  урожайность перевозимой фракции (т/га). При перевозке початков от комбайнов **ККП-3** и **КСКУ-6** в формулы (1.4) подставляем урожайность из таблицы 2.1  $U_{п}$  в початках. При перевозке зерна кукурузы от зерноуборочных комбайнов следует подставить урожайность зерна  $U = 0,78U_{п}$ . При перевозке листостебельной массы подставляем урожайность этой фракции  $U_{л.м}$ , связанную с урожайностью початков  $U_{п}$  и зерна кукурузы  $U$  соотношениями:

$$U_{л.м} = 1,70 \cdot U = 1,326 \cdot U_{п}. \quad (2.2)$$

Для коэффициентов сменности следует принять средние значения  $k_{см}$  -  $k_{см.м}$ .

Производительность соответствующего транспортного средства можно рассчитать по формуле (1.5) с учетом следующих особенностей. При перевозке початков от комбайнов **ККП-3** и **КСКУ-6** на тракторном прицепе, выбранном ранее, под  $Q_{гн}$ ,  $k_{г}$  следует подразумевать ранее приведенные фактические значения грузоподъемности прицепа в зависимости от заданной влажности зерна кукурузы. При использовании других транспортных средств следует учитывать,

что кукуруза в початках является грузом второго класса с плотностью  $\rho_n = 0,550 \text{ т/м}^3$  и  $k_r = 0,85$ . Перевозке зерна кукурузы соответствуют значения плотности  $\rho = 0,70-0,75 \text{ т/м}^3$  и  $k_r = 1$ . Значения  $Q_{гн}$ ,  $k_r$  для перевозки листостебельной массы указаны в таблице 2.3. Скорость движения рекомендуется принять  $v_{\text{тех}} = 28-32 \text{ км/ч}$  для автомобилей и  $v_{\text{тех}} = 19 \text{ км/ч}$  для тракторов с прицепами.

Время заполнения кузова листостебельной массой определяется по формуле

$$t_{\text{в}} = t_{\text{зап}} = \frac{Q_{гн} \cdot k_r}{0,36 \cdot B \cdot u_{\text{л.м}} \cdot V} + \left( \frac{10^4 \cdot Q_{гн} \cdot k_r}{L \cdot B \cdot u_{\text{л.м}}} \right) \cdot t_{\text{п}} \quad (2.3)$$

где  $V_{\text{т}}$  – емкость кузова транспортного агрегата,  $\text{м}^3$ ;  $K_3$  – коэффициент заполнения емкости (**0,9**);  $\gamma$  – объемный вес измельченной массы травы,  $\text{кг/м}^3$ , при влажности 50% – 180-200, 40% – 120-160, силосной массы – 470-680;  $v$ ,  $B_p$ ,  $U$  – скорость,  $\text{м/с}$ , ширина захвата,  $\text{м}$ , и урожайность,  $\text{кг/м}^2$ .

Под  $t_{\text{в}}$  при перевозке початков следует подразумевать по нормативным данным общее время замены заполненного прицепа на порожний:  $t_{\text{в}} = 0,066 \text{ ч}$ . Такое же значение  $t_{\text{в}}$  следует принять для выгрузки зерна кукурузы из бункера комбайна. Нормативная продолжительность одного поворота  $t_n$  агрегата **T-150K + ККП-3** составляет **0,018** ч. Для других агрегатов и комбайнов можно принять  $t_n = 0,0147$  ч. Значения остальных слагаемых в формуле (2.3) приведены ранее, включая таблицы 2.2-2.4 и соотношение (2.2), а также фактическую грузоподъемность  $Q_r = Q_m$  транспортного средства из таблицы 2.3. Продолжительность разгрузки транспортного средства (при отсутствии более точных данных) приближенно можно принять одинаковой для всех транспортных средств:  $t_{\text{раз}} = 0,12 \text{ ч}$ .

Нормативное  $n_{\Sigma}$  и общее  $n_{\Sigma}$  число агрегатов для послеуборочной обработки початков кукурузы **ПМУ-15** или **ОП-15П** можно рассчитать по формулам (1.6) при  $\epsilon_a = 1$ . Значения  $u_a$  и  $W_a$ , при этом соответствуют урожайности и производительности в початках, причем

$$W_a = \Pi_a \cdot \tau_a \quad (2.4)$$

Ранее получены значения чистой производительности для **ПМУ-15**  $\Pi_a = 15 \text{ т/ч}$  и  $\Pi_a = 12 \text{ т/ч}$  соответственно на очистке и обмолоте початков, а для **ОП-**

$15\Pi - \Pi_a = 15$  т/ч (на очистке початков). Для коэффициента использования времени смены приблизительно можно принять среднее значение  $\tau = 0,9$ . Принимаем также  $k_{см.м} = 1,5$  для кукурузоуборочных комбайнов и  $k_{см.а} = 2$  для ПМУ-15 и ОП-15П. С учетом перечисленных данных определяем нормативную  $n_{н\Sigma}$  и общую  $n_{\Sigma}$  потребности в агрегатах для послеуборочной обработки початков кукурузы.

Оптимальные составы уборочно-транспортных звеньев также можно определить по аналогии с ранее выполненными заданиями. При этом в состав звена следует включать в оптимальных пропорциях уборочные и транспортные средства, а также агрегаты для послеуборочной обработки початков кукурузы. Число комбайнов  $m$  в звене следует рассчитать по формулам (1.1 часть2), (1.2 часть2) с учетом ранее приведенных значений площади одного поля  $F_n$  (см. табл. 2.1), производительности комбайна  $W_m$ , вычисленной по формуле (2.1),  $T_{см} = 7$  ч,  $k_{см.м} = 1,5$  и продолжительности обработки одного поля  $D_n = 1...3$  дня. Ограничение  $m < 5$  также остается в силе.

Число транспортных средств  $n$  каждого вида в звене при упрощенном варианте расчета получим на основании выражения (1.8), подразумевая под  $U$  значения урожайности початков  $U_n$ , зерна  $U$  и листостебельной массы  $U_{л.м}$  с учетом соотношения (2.2) между ними. Производительности соответствующих транспортных средств  $W_n$  определены ранее при  $k_{см.н} = 1,5$ .

По формуле (1.8) в упрощенном варианте можно рас- считать также число агрегатов ПМУ-15 и ОП-15П, подразумевая под  $U$  урожайность початков, а под  $W_n$  производительность соответствующего агрегата при  $k_{см.м} = 1,5$  и  $k_{см.н} = k_{см.а} = 2$ . При необходимости можно рассчитать также число комбайнов, обслуживаемых одним ПМУ-15 или ОП-15П.

Оптимальное число  $n$  транспортных средств каждого вида в звене можно определить также методами теории массового обслуживания по минимуму потерь от взаимного ожидания с комбайнами  $C_{mn} \rightarrow \min$  на основе равенств (1.9)-(1.15). Необходимо определить только соответствующие значения времени  $t_{нс}$  и  $t_m$  в (1.15) и соотношения  $C_m/C_n$  между ценами уборочных  $C_m$  и транспортных

$\Pi_n$  средств. Значение  $t_{нв}$  для каждого транспортного средства в (1.15) можно рассчитать по формуле (1.16) с учетом расстояния перевозки  $L_r$  в таблице 2.1 и ранее принятых  $t_{раз} = 0,120$  ч, а также  $v_{тех} = 28-32$  км/ч для автомобилей,  $v_{тех} = 19$  км/ч – для тракторного транспорта. Время обслуживания комбайном транспортного средства  $t_m$  в (1.15) следует определить с учетом особенностей работы кукурузоуборочных и зерноуборочных комбайнов с приставками, а также вида перевозимой фракции урожая и используемого транспортного средства.

При перевозке на сменяемом тракторном прицепе початков кукурузы от комбайнов **ККП-3** и **КСКУ-6** значение  $t_m$  получим в виде суммы

$$t_m = t_{ку} + t_{зам}, \quad (2.5)$$

где  $t_{ку}$ ,  $t_{зам}$  – соответственно время заполнения кузова прицепа початками и замены заполненного прицепа порожним, ч.

Ранее принято  $t_{зам} = 0,066$  ч, а значение  $t_{ку}$  можно рассчитать по формуле (2.3) с учетом приведенных выше значений фактической грузоподъемности прицепа в початках  $Q_r = Q_{гн} \cdot k_r$ , в зависимости от влажности зерна. Следует также подставить вместо  $U$  значение урожайности  $U_n$  в початках при  $t_n = 0,0147$  ч. При перевозке зерна кукурузы от зерноуборочных комбайнов значение  $t_m$  вместо (2.5) получим с учетом (1.17)-(1.20) в виде

$$t_m = n_б \cdot \left[ \frac{\Omega_б \cdot \rho \cdot \gamma_б}{0,36 \cdot B \cdot U \cdot v} + \left( \frac{10^4 \cdot \Omega_б \cdot \rho \cdot \gamma_б}{L \cdot B \cdot U} - 1 \right) \cdot t_n + t_b \right]. \quad (2.6)$$

Значения вместимости бункера комбайна  $\Omega_б$ , плотности зерна кукурузы  $\rho$ , ширины захвата  $B$ , скорости  $v$  комбайна в (2.6) приведены ранее. Для коэффициента заполнения бункера  $\gamma_б$ , времени одного поворота комбайна  $t_n$  и времени выгрузки зерна из бункера  $t_b$  следует принять нормативные значения:  $\gamma_б = 0,98$ ;  $t_n = 0,0147$  ч;  $t_b = 0,066$  ч. Значение  $U$  в формуле (2.6) соответствует урожайности кукурузы в зерне, приведенной ранее. Более эффективными, как указано ранее, являются транспортные средства, грузоподъемность которых соответствует массе одного бункера зерна при  $n_б = 1$ . При перевозке листостебельной массы во всех случаях с учетом выражения (2.3) имеем  $t_m = t_b$ .

При отсутствии более точных данных приближенно для соотношений  $C_m/C_n$  между оптовыми ценами уборочного  $C_m$  и транспортного  $C_n$  средств можно принять следующие значения:

**2,76** и **2,85** – при перевозке соответственно автомобилями и тракторным транспортом зерна кукурузы, а также листостебельной массы от комбайна **СК-5М** с приставкой **ППК-4**;

**7,45** – при перевозке автомобилями зерна кукурузы и листостебельной массы от комбайна «**Дон-1500**» с приставкой **КМД-6**.

На основании приведенных данных можно определить численным методом по формулам (1.12) и (1.13) оптимальное число транспортных средств  $n_{opt1}$  для обслуживания одного кукурузоуборочного комбайна. Для обслуживания всех  $m$  комбайнов звена оптимальное число транспортных средств  $n_{opt1}$  получим на основании (1.21) с учетом приведенных в задании 1 значений поправочных коэффициентов:  $m = 1... 2 - \varphi_k = 1$ ;  $m = 3 - \varphi_k = 0,83$ ;  $m = 4 - \varphi_k = 0,75$ ;  $m = 5 - \varphi_k = 0,7$ . По формуле (1.22) можно определить и соответствующие коэффициенты простоя  $k_m$  комбайнов и  $k_n$  транспортных средств.

Упрощенный метод определения потребного числа транспортных средств методами теории массового обслуживания на основе равенств (1.23)-(1.28) применим и в данном случае. При этом в зависимости от способа уборки каждый кукурузоуборочный комбайн создает простейший вероятностный поток требований в виде порций початков, зерна и листостебельной массы с плотностью  $\lambda_1$  (1/ч), определяемой из формулы (1.23).

Значение  $t_{m\delta}$  при этом соответствует времени заполнения кузова прицепа початками  $t_{mkn}$  при уборке кукурузы комбайнами ККП-3 и КСКУ-6, или времени заполнения зерном кукурузы бункера зерноуборочного комбайна с приставкой  $t_{m\delta}$ , или времени заполнения кузова транспортного средства листостебельной массой  $t_{mkl}$

Значение  $t_{mkn} = t_{ky}$  получим на основании (2.5) с учетом приведенных выше данных. Время заполнения бункера зерноуборочного комбайна  $t_{m\delta}$  получим из (2.6) при  $n_6 = 1$  и  $t_b = 0$ . С учетом выражения (2.3) для перевозки листосте-

бильной массы от любого комбайна получим  $t_{mkl} = t_{зан}$ . После определения  $t_{mkn}$ ,  $t_{mkb}$  и  $t_{mkl}$  рассчитаем по формуле (1.5) плотность суммарного потока требований на транспортное обслуживание каждого вида:  $\lambda = m\lambda_L$ .

Интенсивность  $\mu$  каждого из трех видов транспортного обслуживания получим на основании (1.26). При перевозке початков  $t_b$  соответствует времени замены  $t_{зам}$  заполненного прицепа на порожний, а при перевозке зерна от комбайна – времени  $t_b$  выгрузки зерна из бункера комбайна. Ранее получено  $t_{зам} = t_b = 0,066$  ч.

Для случая перевозки листостебельной массы значение  $t_b$  в формуле (1.26) соответствует времени смены транспортных средств, которым можно пренебречь из-за его малости, принимая  $t_b = 0$ . Время разгрузки  $t_{раз} = 0,12$  ч в (1.26) для всех трех случаев перевозки принято одинаковым.

После определения  $\alpha = \lambda/\mu$  для каждого из трех видов транспортного обслуживания на основании (1.27) и (1.28) можно рассчитать соответствующие показатели работы системы массового обслуживания (СМО) по аналогии с предыдущим заданием. В частности, на основании (1.29) и (1.30) можно определить эффективные сочетания вероятности отказа  $P_{отк.э}$  в транспортном обслуживании и вместимости технологического компенсатора  $\Omega_{км}$ . При перевозке початков от комбайнов ККП-3 и КСКУ- 6, а также листостебельной массы от комбайнов любого вида, значение  $\Omega_b$  в (1.30) равно вместимости кузова  $\Omega_{ку}$  соответствующего транспортного средства при  $\gamma_b = \gamma_k 0,98$ ,  $K_{см} = 1,5$ . В качестве межсменных технологических компенсаторов во всех случаях можно использовать резервные транспортные прицепы, число которых  $n_{рп}$  получим с учетом (1.30):

$$n_{рп} = \Omega_{км}/\Omega_{ку} ,$$

где  $\Omega_{ку}$  – объем кузова одного резервного прицепа, м<sup>3</sup>.

Анализ различных вариантов использования резервных прицепов с учетом влияния действующих факторов можно выполнить в качестве студенческой исследовательской работы на базе ЭВМ. Эффективную взаимосвязанную работу комбайнов, транспортных средств и агрегатов для послеуборочной обработ-

ки урожая с учетом влияния вероятностных факторов можно обеспечить по аналогии с (1.31)-(1.35).

Как указано ранее, послеуборочную обработку зерна кукурузы производят по аналогии с заданием 1 на агрегатах типа ЗАВ и КЗС, поэтому равенства (1.31)-(1.35) будут справедливы и в данном случае. Указанные равенства можно использовать и при послеуборочной обработке початков кукурузы на агрегатах ПМУ-15П и ОП-15П или ОП-15С после соответствующих подстановок, рассматриваемых ниже.

Число  $m_{a1}$  комбайнов ККП-3 или КСКУ-6, обслуживаемых одним агрегатом типа ПМУ-15 или ОП-15, при упрощенном варианте расчета получим из (1.31) с учетом значений  $W_a$  из (2.4),  $k_{cm \cdot a} = 2$ , а также производительности комбайна  $W_m$  из (2.1), урожайности початков  $u_n$  (см. табл. 2.1) и  $k_{cm \cdot m} = 1,5$ . Более точное решение и в данном случае можно получить по аналогии с (1.32)-(1.35) методами теории массового обслуживания с учетом вероятностного характера потока прибывающих с початками транспортных средств. Среднюю плотность этого потока  $\lambda_a$  получим по аналогии с (1.32) с учетом (2.5):

$$\lambda_a = m_{a1}/t_{ky}. \quad (2.7)$$

Интенсивность обслуживания  $\mu_a$  указанных требований в виде порций початков с массой  $Q_{гн}k_{г}$  агрегатами ПМУ-15 или ОП-15П получим из (1.33) с учетом их производительности  $W_a$  из (2.4). Затем при известных значениях  $\lambda_a$  и  $\mu_a$  можно определить на основании (1.34) вероятность отказа  $P_{отк}$  в обслуживании требований из-за перегрузки и простоя самих агрегатов  $P_{0a}$  из-за отсутствия початков (требований).

Затем в зависимости от значения  $P_{отк}$  можно определить требуемую вместимость технологического компенсатора:

$$\Omega_{км} = \frac{m_{a1} \cdot T_{cm} \cdot k_{cm} \cdot Q_{гн} \cdot k_{г}}{\gamma_{км} \cdot t_{ky} \cdot \rho} \cdot \left( \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \right). \quad (2.8)$$

Значение  $\rho$  в формуле (2.8) равно плотности кукурузы в початках (**0,550** т/м<sup>3</sup>) при  $\gamma_{км} = 0,98$ , а  $Q_{гн}k_{г}$  соответствует ранее приведенной фактической грузоподъемности используемого прицепа в зависимости от заданной влажности

зерна кукурузы. Указанное значение приближенно можно получить и с учетом грузоподъемности прицепа  $Q_{гн}$  и  $k_{г} = 0,85$ .

Потребную площадь технологического компенсатора  $F_{км}$  получим из (2.8) с учетом допустимой толщины  $h_{км}$  слоя початков:

$$F_{км} = \Omega_{км} / h_{км}. \quad (2.9)$$

Аналогичное решение можно получить на основе теории массового обслуживания и соответствующих равенств (1.31) - (1.35) для случая силосования листостебельной массы. При этом значение  $W_a$  в формуле (1.31) соответствует интенсивности или темпу силосования (т/ч) с учетом коэффициента сменности  $k_{см}$  и урожайности  $U = U_{лм}$ .

Плотность потока транспортных средств с листостебельной массой  $\lambda_a$  получим из (2.7) путем подстановки вместо  $t_{ку}$  значения времени  $t_{вл}$  заполнения кузова из (2.3).

Интенсивность приема транспортных средств с листостебельной массой  $\mu_a$  получим из (1.33) с учетом фактической грузоподъемности  $Q_{гн}k_{г}$  из таблицы 2.3. В общем случае можно воспользоваться и значениями номинальной грузоподъемности  $Q_{гн}$  и  $k_{г} = 0,6$ . После этого можно определить вероятность отказа  $P_{отк}$  в приеме транспортных средств и простоя  $P_{0a}$  средств силосования.

Потребную вместимость технологического компенсатора по объему  $\Omega_{км}$  и по площади  $F_{км}$  получим из (2.8) и (2.9) с учетом плотности листостебельной массы  $\rho_{лм} = 0,25$  т/м<sup>3</sup> при  $k_{г} = 0,6$ . Для обеспечения эффективной работы всех агрегатов УТЗ необходимо подготовить поле и организовать взаимосвязанное движение агрегатов в соответствии с методами, изложенными в задании 1 (часть 2 «Эксплуатационные свойства мобильных энергетических средств, рабочих машин и агрегатов»).

Основной способ движения для всех комбайнов – **вразвал** и различные варианты чередования **всвал** и **вразвал**. При этом направление движения комбайна выбирают таким, чтобы убранный поле находилось со стороны выгрузки листостебельной массы, т. е. слева. Оптимальная ширина загона должна быть такой, чтобы число рядков было кратным числу убираемых комбайном рядков

(см. табл. 2.2). Каждый агрегат при этом должен работать на отдельном загоне. Разгрузочные магистрали прокладывают по аналогии с предыдущим заданием на расстоянии, равном пути заполнения прицепа початками или бункера зерном. Для более углубленного освещения данной задачи следует использовать специальную литературу по операционной технологии уборки кукурузы.

**Качество уборки кукурузы в початках** оценивают балльным способом по следующим основным показателям:

- потерям початков и зерна;
- повреждению початков;
- степени очистки початков от оберток;
- степени измельчения листостебельной массы;
- высоте среза стеблей.

**При уборке кукурузы в зерне** определяют:

- потери зерна на земле;
- недомолот и недовытряс;
- чистоту зерна;
- повреждение зерна;
- степень измельчения листостебельной массы;
- высоту среза стеблей.

Оценку качества уборки выставляют по числу набранных баллов.

### **Особенности уборки кукурузы на силос**

При уборке кукурузы на силос в стадии молочно-восковой спелости для отдельного силосования початков без их очистки также используют кукурузоуборочные комбайны ККП-3 и КСКУ-6. Методы оптимального проектирования такого технологического процесса аналогичны уборке кукурузы в початках и не требуют самостоятельного рассмотрения. Исходя из этого, далее изложены только особенности проектирования производственных процессов по уборке кукурузы на силос специальными силосоуборочными агрегатами. Соответствующие варианты заданий можно составить на основе таблицы 17.1 при тех

же значениях длины гона, площади поля и расстояниях перевозки листостебельной массы. Значения урожайности можно выбрать в диапазоне **20-160** т/га. Технология уборки кукурузы на силос аналогична описанной выше технологии уборки листостебельной части урожая.

#### Основные агротехнические требования:

- продолжительность уборки до **10** дней;
- длина резки **2-3** и **1-2** см соответственно при влажности **65-75** и более **75%**;
- высота среза растений **8-10** см (толстостебельных) и **5-6** см (тонкостебельных);
- общие потери урожая до **3%**;
- продолжительность заполнения одного силосохранилища **3-4** дня (не более).

Эффективные ресурсосберегающие силосоуборочные агрегаты следует выбирать с учетом их основных эксплуатационных параметров, приведенных в таблице 2.6, и условий работы, включая длину гона  $L$  и урожайность  $U$ . Значениям  $L \leq 500$  м и  $U = 40$  т/га примерно соответствуют агрегаты с двигателем мощностью  $N_H = 100$  кВт, а при  $L > 500$  м и  $U > 40$  т/га – с двигателем мощностью  $N_H > 100$  кВт.

Таблица 2.6 – Основные эксплуатационные параметры силосоуборочных агрегатов и комбайнов

Агрегат, комбайн	Номинальная мощность двигателя $N_H$ , кВт	Пропускная способность рабочих органов $P_n$ , кг/с	Ширина захвата $B$ , м	Наибольшая допустимая по агротехническим требованиям скорость $v_d$ , м/с
МТЗ-80(82) + КС-1,8	55,22	15	1,8	2,77
ДТ-75М + КС-1,8	66,25	15	1,8	2,77
Т-150 + КСС-2,6А	111,03	27	2,6	3,33
Т-150К + КСС-2,6А	121,47	27	2,6	3,33
ДТ-75М + КСС-2,6А	66,25	27	2,6	3,33
МТЗ-80(82) + КСС-2,6А	55,22	15	2,6	3,33
КСК-100А самоходный	150	20	3,4	3,33
«Полесье» самоходный	184	25	3,0	3,33

Для уплотнения силосной массы в траншеях чаще всего используют гусеничные тракторы ДТ-75М и Т-150.

Транспортные средства для перевозки силосной массы следует выбрать из таблицы 2.3 для влажности **65–...75%**. Рекомендации по подготовке всех агрегатов к работе необходимо составить в соответствии с имеющимися правилами. При определении нормативного и общего требуемых чисел агрегатов по аналогии с предыдущими заданиями следует принять:  $F_{км} = 100$  га;  $D_k = 4-10$  дней;  $\alpha_k = 0,85$ ;  $T_{см} = 7$  ч;  $k_{см.м} = 1,5$ ;  $\gamma_{гм} = 0,9$ .

Производительность силосоуборочного агрегата  $W_m$  рассчитаем по формуле (2.1) с учетом ширины захвата  $B$  из таблицы 2.6.

Значение рабочей скорости движения агрегата следует определить с учетом допустимого значения  $v_d$  и пропускной способности  $\Pi_n$ :

$$v = \frac{\Pi_n \cdot \varepsilon_n}{0,1 \cdot B \cdot U} \leq v_d ,$$

где  $\varepsilon_n = 0,85$  – коэффициент использования пропускной способности.

Например, для комбайна **КСС-2,6** при  $U = 40$  т/га,  $B = 2,6$  м,  $\Pi_n = 27$  кг/с,  $\varepsilon_n = 0,85$  получим  $v = 2,21$  м/с.

Для коэффициента использования времени смены  $\tau$  можно использовать следующие приближенные значения:  $L < 150$  м –  $\tau = 0,42$ ;  $L = 300-400$  м –  $\tau = 0,53$ ;  $L > 1000$  м –  $\tau = 0,61$ .

Нормативное  $n_{н\Sigma}$  и общее  $n_{\Sigma}$  потребное число транс–портных средств можно рассчитать по формулам (1.4) при  $k_{см.м} = k_{см.п} = 1,5$ . Производительность транспортного средства определяют по аналогии с перевозкой листостебельной массы при уборке кукурузы на зерно. Аналогично следует определить и оптимальные составы уборочно-транспортных звеньев, как в упрощенном варианте, так и на основе методов теории массового обслуживания.

Основные способы движения агрегатов – **круговой** при длине гона  $L \leq 400$  м и **вразвал** (загонный) при  $L > 400$  м по ходу часовой стрелки с учетом выгрузки силосной массы в левую сторону. Задачи подготовки поля и организации движения агрегатов решают методами, изложенными в задании 1 (часть 2 «Эксплуатационные свойства мобильных энергетических средств, рабочих ма-

шин и агрегатов»). При соответствующих длинах гона прокладывают разгрузочные магистрали, расстояние между которыми определяют изложенными ранее методами с учетом длины пути заполнения кузова транспортного средства силосной массой.

**Качество** работы силосоуборочных агрегатов также оценивают балльным способом по следующим показателям: высота среза до 10 см – 2 балла, более 10 см – 0; потери листостебельной массы 1-3% – 5 баллов, 3-6% – 3, более 6% – 0; степень измельчения на частицы требуемой длины – 2 балла, отклонение от требуемой длины частиц – 0.

### Пример расчета варианта задания №30

1. Выписываем из таблицы 2.1 исходные данные варианта №30.

№ варианта	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность, т/га (початки)	Влажность зерна, %	Расстояние перевозки, км		Вид уборки
					початки	стебли	
30	280	80	2	27	3	5	Початки

2. В соответствии с заданием излагаем технологию уборки кукурузы в початках.

Уборку кукурузы на зерно в нашей стране проводят по двум технологиям:

- **в початках** – специальными кукурузоуборочными комбайнами;
- **в зерне** – переоборудованными зерноуборочными комбайнами.

**По первой технологии** в процессе движения рабочие органы комбайна отрывают початки кукурузы от стеблей, очищают их и подают в кузов сменного тракторного прицепа, присоединяемого к комбайну сзади. Стебли кукурузы срезаются режущим аппаратом комбайна, измельчаются измельчающим барабаном и подаются в кузов идущего рядом с комбайном транспортного средства. Початки доставляют на ток тракторным транспортом, дорабатывают, включая доочистку и сортирование, сушат при необходимости до влажности **16-18%** и закладывают на хранение или отправляют по назначению.

Измельченную листостебельную массу доставляют к местам силосования или скармливания животным.

### 3. Основные агротехнические требования при уборке кукурузы:

- оптимальные сроки уборки для одного гибрида **5-7** дней;
- оптимальная влажность зерна при уборке в початках **35-45%**, а при уборке в зерне **25-35%**;
- полнота сбора зерна не менее **97%** и полнота сбора зерна не менее **97** и **98%** соответственно при уборке в початках и в зерне;
- полнота сбора листостебельной массы не менее **95%**;
- степень очистки початков не менее **95%**;
- повреждение зерна в початках не более **1%**;
- степень очистки зерна от примесей не менее **97%**;
- содержание поврежденного зерна **до 2%**.

### 4. Выбираем эффективные агрегаты для уборки в початках, (стр.48...51).

Для уборки кукурузы в початках выбираем самоходный комбайн КСКУ-6 (таб. 2.2).

Для сбора и перевозки початков используем тракторный прицеп 2ПТС-4-887А+МТЗ-80/82. Нормальной вместимости кузова при наличии надставных бортов  $\Omega_{ку} = 6\text{ м}^3$  при влажности 27% и плотности кукурузы в початках  $\rho_{п} = 0,55\text{ т/м}^3$  соответствует грузоподъемность  $\Omega_{гн} = 6 \cdot 0,55 = 3,3\text{ т}$ .

Коэффициент использования грузоподъемности в початках  $k_r = 0,85$ .

Для перевозки листостебельной массы при расстояниях перевозки  $l_r \leq 5$  км из таблицы (2.3) выбираем агрегат МТЗ-80/82+2ПТС-4-887А.

$\rho_{п} = 0,55 \text{ т/м}^3$  - плотность листостебельной массы;

$k_r = 0,6$  - коэффициент использования грузоподъемности.

Для послеуборочной обработки початков, при влажности кукурузы 27% выбираем агрегат ОП-15П+МТЗ-80, (стр. 51).

Для уплотнения массы в силосохранилищах используем трактор Т-150.

5. Определяем по формуле (2.1) часовую производительность КСКУ-6, с учетом, что

$B = 4,2$  м – ширина захвата комбайна (таб.2.2);

$V = 2,5$  м/с – скорость движения комбайна при урожайности  $u = 2$  т/га, (таб. 2.4);

$\tau = 0,467$  – коэффициент использования времени смены при  $L = 280$  м, (таб. 2.5).

$$W_m = 0,36 \cdot 4,2 \cdot 2,5 \cdot 0,467 = 1,765 \text{ га/ч.}$$

6. Определяем по формуле (4.1 часть 1) нормативное число комбайнов, с учетом, что

$u_{\Pi} = 2$  т/га – урожайность в початках, (в задании);

$F_{H\Sigma} = 100$  га – нормативная площадь;

$D_k = 12$  дн. – продолжительность уборки (стр.51);

$\alpha_k = 0,87$  – коэффициент использования календарного времени;

$k_{cm.m} = 1,5$  – коэффициент сменности;

$\gamma_{Гтм} = 0,9$  – коэффициент готовности комбайна.

$$m_{H\Sigma} = \frac{u_{\Pi} \cdot F_{H\Sigma}}{D_k \cdot \alpha_k \cdot W_m \cdot T_{cm} \cdot k_{cm.m} \cdot \gamma_{Гтм}} = \frac{2 \cdot 100}{12 \cdot 0,87 \cdot 1,765 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 0,9} = \frac{200}{174,13} = 1,15$$

7. Определяем по формуле (4.8 часть 1) общую потребность в комбайнах, с учетом, что  $F_{\Sigma} = 80$ га, (в задании).

$$m_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} \cdot m_{H\Sigma} = \frac{80}{100} \cdot 1,15 = 0,8 \cdot 1,15 = 0,92 \approx 1$$

8. Определяем по формуле (1.5) часовую производительность транспортного агрегата, с учетом, что

$Q_{Гн} = 3,3$  т – фактическая грузоподъемность прицепа, (п.4);

$k_r = 0,85$  - коэффициент использования грузоподъемности, (п.4);

$V_{тех.} = 19$  км/ч – скорость движения трактора с прицепом, (стр.54);

$l_{\Gamma} = 3$  км – расстояние перевозки початков, (в задании);

$t_{\text{в}} = 0,066$  ч – время замены заполненного прицепа на порожний, (стр. 55);

$t_{\text{раз.}} = 0,12$  ч – продолжительность разгрузки.

$$W_{\text{нп}} = \frac{Q_{\text{ГН}} \cdot k_{\Gamma}}{\frac{2 \cdot l_{\Gamma}}{V_{\text{тех.}}} + t_{\text{в}} + t_{\text{раз.}}} = \frac{3,3 \cdot 0,85}{\frac{2 \cdot 3}{19} + 0,066 + 0,12} = \frac{2,8}{0,32 + 0,066 + 0,12} = \frac{2,8}{0,506} = 5,53 \text{ т/ч.}$$

**9.** Определяем по формуле (1.4) нормативное  $n_{\text{н}\Sigma}$  и общее число  $n_{\Sigma}$  транспортных средств для перевозки початков от комбайнов, с учетом, что

$u_{\text{п}} = 2$  т/га – урожайность в початках, (в задании);

$k_{\text{см.п}} = k_{\text{см.м}} = 1,5$  – коэффициент сменности;

$W_{\text{нп}} = 5,53$  т/ч - часовая производительность транспортного агрегата.

$$n_{\text{н}\Sigma} = \frac{m_{\text{н}\Sigma} \cdot W_{\text{м}} \cdot u \cdot k_{\text{см.м}}}{W_{\text{н}} \cdot k_{\text{см.н}}} = \frac{1,5 \cdot 1,765 \cdot 2 \cdot 1,5}{5,53 \cdot 1,5} = \frac{6,089}{8,295} = 0,73;$$

$$n_{\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_{\text{м}} \cdot u \cdot k_{\text{см.м}}}{W_{\text{н}} \cdot k_{\text{см.н}}} = \frac{1 \cdot 1,765 \cdot 2 \cdot 1,5}{5,53 \cdot 1,5} = \frac{5,295}{8,295} = 0,63 \approx 1.$$

**10.** Определяем по формуле (2.2) урожайность листостебельной массы

$$u_{\text{л.м}} = 1,326 \cdot 2 = 2,65 \text{ т/га.}$$

**11.** Определяем по формуле (2.3) время заполнения кузова листостебельной массой, учитывая, что влажность листостебельной массы 30...40% при влажности зерна менее 35% (в задании). Поэтому в соответствии с таблицей 2.3

$Q_{\text{ГН}} = 9,8$  м<sup>3</sup> – объем кузова прицепа;

$\rho = 0,25$  т/м<sup>3</sup> – плотность листостебельной массы (стр. 51);

$Q_{\text{ГН}} = 9,8 \cdot 0,25 = 2,45$  т - грузоподъемность прицепа при перевозке массы;

$V_{\text{тех.}} = 19$  км/ч – скорость движения трактора с прицепом, (стр. 54);

$k_{\Gamma} = 0,6$  - коэффициент использования грузоподъемности, (стр. 51)

$$\begin{aligned}
t_{\text{в}} = t_{\text{зап}} &= \frac{2,45 \cdot 0,6}{0,36 \cdot 4,2 \cdot 2,65 \cdot 19} + \left( \frac{10^4 \cdot 2,45 \cdot 0,6}{280 \cdot 4,2 \cdot 2,65} - 1 \right) \cdot 0,0147 \\
&= \frac{1,47}{76,13} + \left( \frac{14700}{3116} - 1 \right) \cdot 0,0147 = 0,02 + (4,72 - 1) \cdot 0,0147 = \\
&= 0,02 + 3,72 \cdot 0,0147 = 0,02 + 0,055 = 0,075 \text{ч.}
\end{aligned}$$

**12.** Определяем по формуле (1.5) производительность транспортного агрегата для перевозки листостебельной массы, учитывая, что  $l_{\text{г}} = 5$  км – расстояние перевозки листостебельной массы, (в задании).

$$W_{\text{н.л.м}} = \frac{2,45 \cdot 0,6}{\frac{2 \cdot 5}{19} + 0,075 + 0,12} = \frac{1,47}{0,53 + 0,075 + 0,12} = \frac{1,47}{0,725} = 2,03 \text{т/ч.}$$

**13.** Определяем по формуле (1.4) нормативное  $n_{\text{н}\Sigma}$  и общее число  $n_{\Sigma}$  транспортных средств для перевозки листостебельной массы от комбайнов, с учетом, что урожайность листостебельной массы  $u_{\text{л.м}} = 2,65$  т/га.

$$\begin{aligned}
n_{\text{н}\Sigma} &= \frac{1,15 \cdot 1,765 \cdot 2,65 \cdot 1,5}{2,03 \cdot 1,5} = \frac{8,07}{3,04} = 2,65 \\
n_{\Sigma} &= \frac{1 \cdot 1,765 \cdot 2,65 \cdot 1,5}{2,03 \cdot 1,5} = \frac{7,01}{3,04} = 2,3 \approx 3.
\end{aligned}$$

**14.** Определяем по формуле (2. 4) часовую производительность ОП-15П для очистки початков, учитывая, что

$P_{\text{а}} = 15$  т/ч – чистая производительность агрегата, (стр. 55);

$\tau_{\text{а}} = 0,9$  коэффициент использования времени смены.

$$W_{\text{а}} = 15 \cdot 0,9 = 13,5 \text{ т/ч.}$$

**15.** Определяем по формуле (1.6) нормативное  $n_{\text{н}\Sigma}$  и общее число  $n_{\Sigma}$  агрегатов для послеуборочной обработки початков ОП-15П, с учетом, что

$u_{\text{п}} = 2$  т/га – урожайность в початках, (в задании);

$k_{\text{с.м.а}} = 2$  – коэффициент сменности для ОП-15П, (стр. 55);

$\varepsilon_a = 1$  - коэффициент, учитывающий одновременную обработку зерна других культур, (стр. 55).

$$n_{a.H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot u \cdot k_{CM.m} \cdot \varepsilon_a}{W_a \cdot k_{CM.a}} = \frac{1,15 \cdot 1,765 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 1}{13,5 \cdot 2} = \frac{6,089}{27} = 0,22;$$

$$n_{a\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot u \cdot k_{CM.m} \cdot \varepsilon_a}{W_a \cdot k_{CM.a}} = \frac{1 \cdot 1,765 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 1}{13,5 \cdot 2} = \frac{5,295}{27} = 0,196 \approx 1.$$

**16.** Определяем по формуле (4.1 часть 1) число комбайнов в уборочно-транспортном звене, учитывая, что

$F_{\Pi} = 80$  га – площадь поля, (в задании);

$D_{\Pi} = 1...3$  дн. – продолжительность обработки поля, (стр. 56);

$W_m = 1,765$  га/ч – производительность комбайна (п.5).

$$m_{ЗВ} = \frac{F_{\Pi}}{D_{\Pi} \cdot W_m \cdot T_{CM} \cdot k_{CM}} = \frac{80}{3 \cdot 1,765 \cdot 7 \cdot 1,5} = \frac{80}{55,6} = 1,43 \approx 2.$$

Число комбайнов в звене должно удовлетворять условию  $1 \leq m \leq 5$ . Если получено  $m > 5$ , то следует организовать два и более однотипных звена.

**17.** Определяем по формуле (1.8) число транспортных средств  $n$  каждого вида в звене, учитывая, что

$u_{\Pi} = 2$  т/га – урожайность в початках, (в задании);

$u_{Л.М} = 2,65$  т/га - урожайность листостебельной массы, (п.10);

$W_{\Pi\Pi} = 5,53$  т/ч - часовая производительность транспортного агрегата при перевозке початков, (п.8);

$W_{n.Л.М} = 2,03$ т/ч –производительность транспортного агрегата для перевозки листостебельной массы, (п.12).

$$n_{\Pi.ЗВ} = \frac{m_{ЗВ} \cdot W_m \cdot u_{\Pi} \cdot k_{CM.m}}{W_{n.\Pi} \cdot k_{CM.n}} = \frac{2 \cdot 1,765 \cdot 2 \cdot 1,5}{5,53 \cdot 1,5} = \frac{10,59}{8,29} = 1,3 \approx 2;$$

$$n_{Л.М.ЗВ} = \frac{2 \cdot 1,765 \cdot 2,65 \cdot 1,5}{2,03 \cdot 1,5} = \frac{14,03}{3,04} = 4,61 \approx 5.$$

**18.** Определяем по формуле (1.8) число ОП-15П, учитывая, что

$W_{\text{на}} = 13,5$  т/ч - производительность ОП-15П, (п. 14);

$k_{\text{см.а}} = 2$  – коэффициент сменности транспортного агрегата, (стр.51).

$$n_{\text{а.зв}} = \frac{2 \cdot 1,765 \cdot 2 \cdot 1,5}{13,5 \cdot 2} = \frac{10,59}{27} = 0,39 \approx 1.$$

**19.** Определяем по формуле (1.16) среднюю продолжительность рейса, учитывая, что

$l_{\text{гп}} = 3$  км – расстояние перевозки початков, (в задании);

$l_{\text{г}} = 5$  км – расстояние перевозки листостебельной массы, (в задании);

$V_{\text{тех.}} = 19$  км/ч – скорость движения трактора с прицепом, (стр. 54);

$t_{\text{раз.}} = 0,12$  ч – продолжительность разгрузки.

$$t_{\text{н.вп}} = \frac{2 \cdot l_{\text{г}}}{V_{\text{тех.}}} + t_{\text{раз.}} = \frac{2 \cdot 3}{19} + 0,12 = 0,315 + 0,12 = 0,435\text{ч};$$

$$t_{\text{н.в.л.м}} = \frac{2 \cdot 5}{19} + 0,12 = 0,526 + 0,12 = 0,646\text{ч}.$$

**20.** Определяем по формуле (2.3) время заполнения кузова початками  $t_{\text{ку}}$ , учитывая, что

$Q_{\text{гп}} = 3,3$  т – фактическая грузоподъемность прицепа с початками, (п. 4);

$k_{\text{г}} = 0,85$  - коэффициент использования грузоподъемности, (п. 4);

$B = 4,2$  м – ширина захвата комбайна (таб. 2.2);

$u_{\text{п}} = 2$  т/га – урожайность в початках, (в задании);

$V_{\text{тех.}} = 19$  км/ч – скорость движения трактора с прицепом.

$$\begin{aligned} t_{\text{ку}} &= \frac{3,3 \cdot 0,85}{0,36 \cdot 4,2 \cdot 2 \cdot 19} + \left( \frac{10^4 \cdot 3,3 \cdot 0,85}{280 \cdot 4,2 \cdot 2} - 1 \right) \cdot 0,0147 = \\ &= \frac{2,805}{57,45} + \left( \frac{28050}{2352} - 1 \right) \cdot 0,0147 = 0,048 + (11,926 - 1) \cdot 0,0147 \\ &= 0,048 + 10,926 \cdot 0,0147 = 0,048 + 0,16 = 0,21\text{ч}. \end{aligned}$$

При перевозке листостебельной массы принимаем  $t_{\text{ку.лм}} = t_{\text{в}} = 0,075\text{ч}$ , (п.11).

**21.** Определяем по формуле (2.5) среднюю продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, с учетом,  $t_{зам.} = 0,066ч$ , (стр. 57).

$$t_{m.п} = 0,21 + 0,066 = 0,276ч;$$

$$t_{m.лм} = 0,075 + 0,066 = 0,141ч.$$

**22.** Определяем по формуле (1.15) интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном  $\mu$  и интенсивность прибытия каждого транспортного средства к комбайну  $\lambda$

$$\mu_{п} = \frac{1}{t_{н.вп}} = \frac{1}{0,435} = 2,29 \text{ 1/ч}; \quad \lambda_{п} = \frac{1}{t_{m.п}} = \frac{1}{0,276} = 3,62 \text{ 1/ч.}$$

$$\mu_{лм} = \frac{1}{0,646} = 1,54 \text{ 1/ч}; \quad \lambda_{лм} = \frac{1}{0,141} = 7,09 \text{ 1/ч.}$$

$$\text{Тогда } \alpha_{п} = \lambda_{п}/\mu_{п} = 3,62/2,29 = 1,58; \quad \alpha_{лм} = 7,09/1,54 = 4,6.$$

**23.** Определяем по формуле (1.13) вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства в момент заполнения бункера зерном. Так как в нашем звене два транспортных агрегата (п.17) для перевозки початков, то расчеты выполняем два раза.

При  $n_{п} = 1$

$$P_{m0} = \frac{1}{1 + n \cdot \alpha + n \cdot (n - \alpha) \cdot \alpha^2 + n \cdot (n - 1) \cdot (n - 2)\alpha^3 + \dots + n \cdot (n - 1) \dots 1\alpha^n}$$

$$P_{m01п} = \frac{1}{1 + 1 \cdot 1,58} = \frac{1}{2,58} = 0,38.$$

$$P_{m02п} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 1,58 + 2 \cdot (2 - 1) \cdot 1,58^2} = \frac{1}{1 + 3,16 + 2 \cdot 2,49} = \frac{1}{1 + 3,16 + 4,98} = \frac{1}{9,14} = 0,12.$$

Для перевозки листостебельной массы в звене 5 транспортных агрегатов (п. 17), поэтому расчет выполняем пять раз.

$$P_{m01.лм} = \frac{1}{1 + 1 \cdot 4,6} = \frac{1}{5,6} = 0,18;$$

$$P_{m02.лм} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 4,6 + 2 \cdot (2 - 1) \cdot 4,6^2} = \frac{1}{1 + 9,2 + 2 \cdot 21,16} = \frac{1}{10,2 + 42,32} = \frac{1}{52,52} = 0,019;$$

$$\begin{aligned}
P_{m03.лм} &= \frac{1}{1 + 3 \cdot 4,6 + 3 \cdot (3 - 1) \cdot 4,6^2 + 3 \cdot (3 - 1) \cdot (3 - 2) \cdot 4,6^3} = \\
&= \frac{1}{1 + 13,8 + 6 \cdot 21,16 + 6 \cdot 97,33} = \frac{1}{14,8 + 126,96 + 584} = \frac{1}{725,76} = 0,0013; \\
P_{m04.лм} &= \\
&= \frac{1}{1 + 4 \cdot 4,6 + 4 \cdot (4 - 1) \cdot 4,6^2 + 4 \cdot (4 - 1) \cdot (4 - 2) \cdot 4,6^3 + 4 \cdot (4 - 1) \cdot (4 - 2)(4 - 3) \cdot 4,6^4} \\
&= \frac{1}{1 + 18,4 + 12 \cdot 21,16 + 24 \cdot 97,33 + 24 \cdot 448} = \frac{1}{19,4 + 254 + 2336 + 10752} \\
&= \frac{1}{13361} = 0,00007; \\
P_{m05.лм} &\approx 0
\end{aligned}$$

**24.** Определяем по формуле (1.14) среднее число простаивающих транспортных средств обоих видов

$$\begin{aligned}
n_0 &= n - (1 - P_{m0}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = n_{01п} = 1 - (1 - 0,38) \cdot \left(1 + \frac{1}{1,58}\right) \\
&= 1 - 0,62 \cdot (1 + 0,63) = 1 - 1,01 \approx 0; \\
n_{02п} &= 2 - (1 - 0,12) \cdot \left(1 + \frac{1}{1,58}\right) = 2 - 0,88 \cdot 1,63 = 2 - 1,43 = 0,57. \\
n_{01.лм} &= 1 - (1 - 0,18) \cdot \left(1 + \frac{1}{4,6}\right) = 1 - 0,82 \cdot (1 + 0,22) = 1 - 1,0 = 0; \\
n_{02.лм} &= 2 - (1 - 0,019) \cdot 1,22 = 2 - 0,981 \cdot 1,22 = 2 - 1,547 = 0,453; \\
n_{03.лм} &= 3 - (1 - 0,0013) \cdot 1,22 = 3 - 0,99 \cdot 1,22 = 3 - 1,208 = 1,792; \\
n_{04.лм} &= 4 - (1 - 0,00007) \cdot 1,22 = 4 - 0,999 \cdot 1,22 = 4 - 1,218 = ,782; \\
n_{05.лм} &= 5 - (1 - 0) \cdot 1,22 = 5 - 1,22 = 3,78.
\end{aligned}$$

**25.** Определяем по формуле (1.12) критерий оптимальности, с учетом, что  $\Pi_m/\Pi_n = 2,85$ , (стр. 57)

$$\begin{aligned}
\overline{C_{mn}} &= P_{m0} \cdot \frac{\Pi_m}{\Pi_n} + n_0 \rightarrow \min = \overline{C_{mn1п}} = 0,38 \cdot 2,85 + 0 = 1,083; \\
\overline{C_{mn2п}} &= 0,12 \cdot 2,85 + 0,57 = 0,342 + 0,57 = 0,912.
\end{aligned}$$

Из полученных результатов видно, что минимум затрат  $\overline{C_{mn.min}} = \overline{C_{mn2п}} = 0,912$  имеет место при  $n_{opt} = n_2 = 2$ , т.е. при двух транспортных агрегатах для перевозки початков.

$$\overline{C_{mn1.лм}} = 0,18 \cdot 2,85 + 0 = 0,513;$$

$$\overline{C_{mn2.лм}} = 0,019 \cdot 2,85 + 0,803 = 0,054 + 0,453 = 0,507;$$

$$\overline{C_{mn3.лм}} = 0,0013 \cdot 2,85 + 1,792 = 0,004 + 1,792 = 1,796;$$

$$\overline{C_{mn4.лм}} = 0,00007 \cdot 2,85 + 2,782 = 0,002 + 2,782 = 2,784;$$

$$\overline{C_{mn5.лм}} = 0 \cdot 2,85 + 3,78 = 3,78.$$

Из полученных результатов видно, что минимум затрат  $\overline{C_{mn.min}} = \overline{C_{mn2.лм}} = 0,507$  имеет место при  $n_{opt} = n_2 = 2$ , т.е. при двух транспортных агрегатах для перевозки листостебельной массы.

**26.** Определяем по формуле (1.21) оптимальное число транспортных средств обоих видов для всего уборочно-транспортного звена, с учетом  $n_{opt.п} = 2$ ;  $n_{opt.лм} = 2$ ;

$\varphi_k = 1$  – поправочный коэффициент при  $m = 2$  (стр. 58).

$$n_0 = m \cdot n_{01} \cdot \varphi_k = n_{opt.п} = 2 \cdot 2 \cdot 1 = 4;$$

$$n_{opt.лм} = 2 \cdot 2 \cdot 1 = 4.$$

**27.** Определяем по формуле (1.22) коэффициенты простоя комбайнов  $k_m$  и транспортных средств  $k_n$ , с учетом, что  $m_{оп} = P_{mo2п} = 0,12$ ;  $m_{о.лм} = P_{mo2.лм} = 0,12$ ;  $m = 2$ ;

$$n = 2; n_{о.п} = 0,57; n_{о.лм} = 0,453.$$

$$k_m = m_0/m; k_n = n_0/n$$

$$k_{m.п} = 0,12/2 = 0,06; k_{n.п} = 0,57/2 = 0,06;$$

$$k_{m.лм} = 0,12/2 = 0,0095; k_{n.лм} = 0,453/2 = 0,226;$$

**28.** Определяем по формуле (1.23) плотность потока требований в виде порций початков и листостебельной массы, учитывая, что

$t_{m.б} = t_{m.кп} = 0,21$  ч – время заполнения кузова початками одного транспортного средства, (п.20);

$t_{m.б} = t_{m.клм} = 0,075$  ч – время заполнения кузова листостебельной массой одного транспортного средства, (п.11).

$$\lambda_{1п} = 1/t_{m.кп} = 1/0,21 = 4,76 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_{1лм} = 1/t_{m.клм} = 1/0,075 = 13,33 \text{ 1/ч}.$$

**29.** Определяем по формуле (1.25) плотность суммарного потока требований на обслуживание от всех  $m$  комбайнов звена на транспортное обслуживание каждого вида,  $m = 2$ , (п.16).

$$\lambda_{п} = m \cdot \lambda_{1п} = m/t_{m.б} = 2 \cdot 4,76 = 9,52 \text{ 1/ч};$$

$$\lambda_{лм} = m \cdot \lambda_{1лм} = m/t_{m.б} = 2 \cdot 13,33 = 26,66 \text{ 1/ч}.$$

**30.** Определяем по формуле (1.26) интенсивность обслуживания этих требований каждым транспортным средством, с учетом формулы (1.5), п.8 и п.12.

$$t_{п.п} = 0,506 \text{ ч}; \quad t_{п.лм} = 0,725 \text{ ч}$$

$$\mu_{п} = \frac{1}{t_n} = \frac{1}{(2 \cdot l_{г}/v_{тех}) + t_{в} + t_{раз}} = \frac{1}{0,506} = 1,97 \text{ 1/ч};$$

$$\mu_{лм} = \frac{1}{t_n} = \frac{1}{(2 \cdot l_{г}/v_{тех}) + t_{в} + t_{раз}} = \frac{1}{0,725} = 1,37 \text{ 1/ч}.$$

С учетом полученных результатов

$$\alpha_{п} = \lambda_{п}/\mu_{п} = 9,52/1,97 = 4,83;$$

$$\alpha_{лм} = \lambda_{лм}/\mu_{лм} = 26,66/1,37 = 19,46$$

**31.** Определяем по формуле (1.28) вероятность одновременного простоя всех транспортных средств звена, из-за отсутствия заполнения прицепов, с учетом, что

$$n_{opt.п} = 4; \quad n_{opt.лм} = 4; \quad \alpha_{п} = 4,83; \quad \alpha_{лм} = 19,46.$$

$$P_o = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} = P_{оп} = \frac{1}{1 + \frac{4,83}{1} + \frac{4,83^2}{1 \cdot 2} + \frac{4,83^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{4,83^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{4,83}{1} + \frac{4,83^2}{2} + \frac{4,83^3}{6} + \frac{4,83^4}{24}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 4,83 + 11,66 + 18,77 + 22,67} = \frac{1}{58,93} = 0,017;$$

$$P_{олм} = \frac{1}{1 + \frac{19,46}{1} + \frac{19,46^2}{2} + \frac{19,46^3}{6} + \frac{19,46^4}{24}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 19,46 + 189,34 + 1228,2 + 143406} = \frac{1}{144844} = 0,000006.$$

**32.** Определяем по формуле (1.27) вероятность отказа в обслуживании

$$P_{отк} = \frac{\alpha^n}{n!} \cdot P_o = P_{отк.п} = \frac{4,38^4}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} \cdot 0,017 = 22,67 \cdot 0,017 = 0,385;$$

$$P_{отк.лм} = \frac{19,46^4}{24} \cdot 0,000006 = 143406 \cdot 0,000006 = 0,86.$$

**33.** Определяем по формуле (1.30) вместимость межсменного компенсатора, с учетом пункта б и

$$\Omega_б = \Omega_{ку} = 6M^3; \quad k_{см} = 1,5; \quad t_{мкп} = 0,21, \quad (\text{п.20});$$

$\gamma_б = \gamma_k = 0,98$  – коэффициент заполнения компенсатора, (стр.59).

$$\Omega_{км.п} = \frac{m \cdot T_{см} \cdot k_{см.м} \cdot \Omega_б \cdot P_{отк.э}}{\gamma_k \cdot t_{мб}} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 0,385}{0,98 \cdot 0,21} = \frac{47,54}{0,205} = 232M^3.$$

**34.** Определяем число резервных прицепов

$$n_{рп} = \frac{\Omega_{км.п}}{\Omega_{ку}} = \frac{232}{6} = 38.$$

**35.** Определяем по формуле (1.31) число комбайнов  $m_{а1}$ , обслуживаемых одним агрегатом ОП-15П, с учетом, что  $W_a = 13,5$ т/ч – производительность агрегата, (п.14);  $k_{см.а} = 2$  – (п.18);  $k_{см} = 1,5$   $W_m = 1,765$ га/ч – (п.5).

$$m_{a1} = \frac{W_a \cdot k_{cm.a}}{W_m \cdot u \cdot k_{cm.m}} = \frac{13,5 \cdot 2}{1,765 \cdot 2 \cdot 1,5} = \frac{27}{5,3} = 5$$

**36.** Определяем по формуле (2.7) среднюю плотность потока  $\lambda_a$  транспортных средств, прибывающих с початками, с учетом формулы (2.5) и (п.21).

$$\lambda_a = \frac{m_{a1}}{t_{ку}} = \frac{5}{0,21} = 23,8 \text{ 1/ч.}$$

**37.** Определяем по формуле (1.33) интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку:  $Q_{ГН} = 3,3\text{т}$ ;  $k_{Г} = 0,85$ , (п.4).

$$\mu_a = \frac{1}{t_{на}} = \frac{W_a}{Q_{ГН} \cdot k_{Г}} = \frac{13,5}{3,3 \cdot 0,85} = 4,82 \text{ 1/ч.}$$

**38.** Определяем по формуле (1.34) вероятности  $P_{отк.а}$  отказа в приеме транспортных средств с початками и  $P_{оа}$  простоя агрегата для послеуборочной обработки

$$P_{отк.а} = \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} = \frac{23,8}{23,8 + 4,82} = \frac{23,8}{28,62} = 0,831;$$

$$P_{оа} = \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} = \frac{4,82}{28,62} = 0,168.$$

**39.** Определяем по формуле (2.8) требуемую вместимость технологического компенсатора:

$$\begin{aligned} \Omega_{км} &= \frac{m_{a1} \cdot T_{см} \cdot k_{см} \cdot Q_{ГН} \cdot k_{Г}}{\gamma_{км} \cdot t_{ку} \cdot \rho} \cdot \left( \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \right) = \frac{5 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 3,3 \cdot 0,85}{0,98 \cdot 0,21 \cdot 0,55} \cdot \left( \frac{23,8}{23,8 + 4,82} \right) \\ &= \frac{147,26}{0,113} \cdot 0,831 = 1303 \cdot 0,831 = 1083\text{м}^3. \end{aligned}$$

**40.** Определяем по формуле (2.9) потребную площадь технологического компенсатора  $F_{км}$ , с учетом допустимой толщины  $h_{км}$  слоя початков.

Принимаем  $h_{км} = 1,5\text{м}$ .

$$F_{км} = 1083/1,5 = 722\text{м}^2.$$

## Отчет

Результаты расчетов и выводы представить в виде таблицы 17.7.

Таблица 17.7

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Кукурузоуборочный комбайн	КСКУ - 6
2	Пропускная способность в початках, $P_H$	До 4кг/с
3	Рабочая ширина захвата, $B_p$	4,2м
4	Скорость движения комбайна, $V$	2,5м/с
5	Коэффициент использования времени смены, $\tau$	0,467
6	Урожайность в початках, $u$	2т/га
7	Транспортный агрегат	МТЗ-80+2ПТС-4-887
8	Номинальная грузоподъемность, $Q_{гн}$	3,3т
9	Объем кузова, $\Omega_{куз}$	6м <sup>3</sup>
10	Коэффициент использования грузоподъемности, $k_{г}$	0,85
11	Агрегат для послеуборочной обработки початков	ОП-15П
12	Производительность кукурузоуборочного комбайна, $W_m$	1,765га/ч
13	Нормативное число комбайнов, $m_{н\sum}$	1,15
14	Целое число комбайнов для своей площади, $m_{\sum}$	1
15	Производительность транспортного агрегата, $W_{пп}$	5,53т/ч
16	Производительность транспортного агрегата, $W_{п.лм}$	2,03т/ч
17	Нормативное число транспортных средств, $n_{н\sum п}$	0,73
18	Общее число транспортных средств, $n_{\sum п}$	1
19	Нормативное число транспортных средств, $n_{н\sum.лм}$	2,65
20	Общее число транспортных средств, $n_{\sum.лм}$	3
21	Производительность ОП-15П	13,5т/ч
22	Нормативное число ОП-15П, $n_{аН\sum}$	0,22
23	Общее число ОП-15П, $n_{а\sum}$	1
24	Число комбайнов уборочно-транспортном звене, $m_{зв.}$	2
25	Число транспортных средств в звене, $n_{п.зв}$	2
26	Число транспортных средств в звене, $n_{лм.зв}$	5
27	Общее число ОП-15П, $n_{а.зв}$	1
28	Средняя продолжительность рейса транспортного средства, $t_{пв.п.}$	0,435ч
29	Средняя продолжительность рейса транспортного средства, $t_{пв.лм}$	0,646
30	Время заполнения кузова початками, $t_{ку.п}$	0,21ч

Продолжение таблицы 17.7

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
31	Время заполнения кузова початками, $t_{ку.лм}$	0,075ч
32	Средняя продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, $t_{м.п}$	0,276ч
33	Средняя продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, $t_{м.лм}$	0,141ч
34	Интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном, $\mu_{п}$	2,29 1/ч
35	Интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном, $\mu_{лм}$	1,54 1/ч
36	Интенсивность прибытия каждого транспортного средства за початками к комбайну, $\lambda_{п}$	3,62 1/ч
37	Интенсивность прибытия каждого транспортного средства за листостебельной массой к комбайну, $\lambda_{лм}$	7,09 1/ч
38	Отношение $\alpha_{п} = \lambda_{п}/\mu_{п}$	1,58
39	Отношение $\alpha_{лм} = \lambda_{лм}/\mu_{лм}$	4,6
40	Вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства для початков, $P_{m0п}$	$P_{m01п} = 0,38$ $P_{m02п} = 0,12$
41	Вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства для листостебельной массы, $P_{m0лм}$	$P_{m01лм} = 0,18$ $P_{m02лм} = 0,019$ $P_{m03лм} = 0,0013$ $P_{m04лм} = 0,00007$ $P_{m05лм} = 0$
42	Среднее число простаивающих транспортных средств, $n_{0п}$	$n_{01п} = 0$ $n_{02п} = 0,57$
43	Среднее число простаивающих транспортных средств, $n_{0лм}$	$n_{01лм} = 0$ $n_{02лм} = 0,453$ $n_{03лм} = 1,792$ $n_{04лм} = 2,782$ $n_{05лм} = 3,78$
44	Критерий оптимальности, $\overline{C_{mnп}}$	$\overline{C_{mn1п}} = 1,083$ $\overline{C_{mn2п}} = 0,912$
45	Критерий оптимальности, $\overline{C_{mnлм}}$	$\overline{C_{mn1лм}} = 0,513$ $\overline{C_{mn2лм}} = 0,507$ $\overline{C_{mn3лм}} = 1,796$ $\overline{C_{mn4лм}} = 2,784$ $\overline{C_{mn5лм}} = 3,78$
46	Оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена, $n_{opt}$	$n_{opt.п} = 4$ $n_{opt.лм} = 4$

Окончание таблицы 17.7

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
47	Коэффициент простоя комбайна, $k_m$	$k_{m.п} = 0,06$ $k_{m.лм} = 0,0095$
48	Коэффициент простоя транспортных средств, $k_n$	$k_{n.п} = 0,285$ $k_{n.лм} = 0,4$
49	Плотность потока требований в виде порций зерна, соответствующих вместимости бункера, $\lambda_1$	$\lambda_{1.п} = 4,76$ 1/ч $\lambda_{1.лм} = 13,33$ 1/ч
50	Плотность суммарного потока требований на обслуживание от всех $m$ комбайнов звена, $\lambda$	$\lambda_{п} = 9,52$ 1/ч $\lambda_{лм} = 26,26$ 1/ч
51	Интенсивность этих требований каждым транспортным средством, $\mu$	$\mu_{п} = 1,97$ 1/ч $\mu_{п} = 1,37$ 1/ч
52	Отношение $\alpha = \lambda/\mu$	$\alpha_{п} = 4,83$ ; $\alpha_{лм} = 19,46$
53	Вероятность одновременного простоя всех транспортных средств из-за отсутствия заполнения прицепов, $P_0$	$P_{0п} = 0,017$ $P_{0лм} = 0,000006$
54	Вероятность отказа в обслуживании, $P_{отк}$	$P_{отк.п} = 0,385$ $P_{отк.лм} = 0$
55	Требуемая вместимость межсменного компенсатора, $\Omega_{км.п}$	$232\text{м}^3$
56	Число комбайнов обслуживаемых одним агрегатом ОП-15П, $m_{a1}$	5
57	Плотность потока транспортных средств, прибывающих с початками на пункт послеуборочной обработки, $\lambda_a$	23,8 1/ч
58	Интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку, $\mu_a$	4,82 1/ч
59	Вероятность отказа в приеме транспортных средств с початками, $P_{отк.a}$	0,831
60	Вероятность простоя агрегата для послеуборочной обработки зерна, $P_{oa}$	0,168
61	Вместимость технологического компенсатора на КЗС, $\Omega_{км}$	$1083\text{м}^3$
62	Потребная площадь технологического компенсатора, $F_{км}$	$722\text{м}^2$

## Контрольные вопросы

1. Основные способы уборки зерновых культур.
2. В каких случаях применяют отдельный способ уборки зерновых культур?
3. В каких случаях применяют прямое комбайнирование?
4. Основные агротехнические требования, предъявляемые к уборке зерновых культур?
5. Основные способы движения агрегатов при скашивании хлебов в валки.
6. Основные способы движения агрегатов при прямом комбайнировании.
7. Основные задачи организации работы уборочных агрегатов.
8. Основные технологии уборки незерновой части урожая.
9. Особенности технологии уборки в сложных условиях.
10. По каким основным показателям контролируют качество уборки зерновых колосовых культур?
11. Основные технологии убоки кукурузы на зерно.
12. Основные агротехнические требования предъявляемые к уборке кукурузы на зерно.
13. Основные операции подготовки поля для уборки кукурузы.
14. Основные способы движения агрегатов при уборке кукурузы на зерно.
15. Какими агрегатами убирают кукурузу на зерно?
16. По каким основным показателям контролируют качество уборки кукурузы на зерно?
17. Основные агротехнические требования предъявляемые к уборке кукурузы на силос.
18. Основные способы движения агрегатов при уборке кукурузы на силос.
19. Какими агрегатами убирают кукурузу на силос?
20. По каким основным показателям контролируют качество уборки кукурузы на силос?

## 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 III**

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 Адылина Е.С.

---

Подписано к печати 18.04.2023 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,42. Тираж 25 экз. Изд. №7520

---

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