

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГАУ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АГРОБИЗНЕСЕ,
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Самусенко В. И.

ОПТИМИЗАЦИЯ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР

Методические указания
для выполнения практической работы № 16
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентам инженерно-технологического института
по направлению подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Брянск 2022

УДК 631.354 (076)

ББК 40.728

С 17

Самусенко, В. И. Оптимизация уборки зерновых колосовых культур: методические указания для выполнения практической работы № 16 по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка» студентам инженерно-технологического института по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / В. И. Самусенко. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. - 44 с.

Методические указания предназначены для освоения современных методов оптимального проектирования производственных процессов по уборке зерновых колосовых культур на основе общих принципов операционной технологии выполнения полевых механизированных работ и вероятностной оценки взаимодействующих звеньев.

Рецензент: к.т.н., доцент Кузюр В.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 4 от 19 января 2022 года.

© Брянский ГАУ, 2022

© Самусенко В.И., 2022

Содержание

ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	4
ПРИМЕР РАСЧЕТА	31
ОТЧЕТ	41
ЛИТЕРАТУРА	43

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 16.1 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 16.1

Варианты задания

№ варианта	Убираемая культура	Объем работы, га	Длина гона, м	Площадь поля, га	Урожайность культуры, т/га	Расстояние транс-порта, 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

Продолжение таблицы 16.1

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
26		Ячмень	500	400	50	4,5	9
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 поля 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 живот-

новодческих 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 16.2 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 16.2

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 16.2 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 16.3.

Таблица 16.3

Основные параметры зерноуборочных комбайнов

Комбайн	Пропускная способность, Π_H , кг/с	Ширина захвата B , м	Объем бункера Ω_B , м ³	Объем копнителя Ω_K , м ³	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 Π_H в таблице 16.3 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

$$B_P = \frac{\Pi_H \cdot \varepsilon_{\Pi}}{0,1 \cdot v \cdot U \cdot (1 + \delta_C)}, \quad (16.1)$$

где ε_{Π} – коэффициент использования пропускной способности комбайна; v – рабочая скорость движения комбайна, м/с; U – урожайность зерна, т/га; δ_C – отношение массы незерновой части урожая к массе зерна.

Приближенно можно принять средние значения $\varepsilon_{\Pi} = 0,8$, $\delta_C = 1,5$ при ско-

рости движения $v = 1,7-2$ м/с. По рассчитанному по формуле (16.1) значению V_p из таблицы 16.3 выбирают соответствующую жатку с конструктивной шириной захвата V_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 $Q_{гнo}$: $l_T = 5$ км, $Q_{гнo} = 4$ т; $l_T = 5-10$ км, $Q_{гнo} = 5$ т; $l_T = 10-15$ км, $Q_{гнo} = 5,5$ т; $l_T = 15-20$ км, $Q_{гнo} = 6,5$ т; $l_T = 20-25$ км, $Q_{гнo} = 7,0$; $l_T = 25-30$ км, $Q_{гнo} = 7,5$ т; $l_T = 30-40$ км, $Q_{гнo} = 8$ т.

На основании приведенных данных из таблицы 16.4 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/м³, ржи – **0,63-0,78**, ячменя – **0,55-0,75**, овса – **0,4-0,5** т/м³. 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 $k_2 = 0,85$).

Таблица 16.4

Основные параметры транспортных средств, используемых на перевозке зерна от комбайнов

Транспортное средство	Номинальная грузоподъемность Q_r , т	Объем кузова $\Omega_{куз}$, м ³	Колесная формула	Мощность двигателя N , кВт	Масса автомобиля без груза или тракторного прицепа M_a , кг
Бортовые автомобили					
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
Автомобили-самосвалы					
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
Тракторный транспорт					
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

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 м³**, масса **3050 кг**); **ГКБ-8527** с автомобилем-самосвалом **КамАЗ-55102** (грузоподъемность **7 т**, вместимость кузова **7,87 м³**, масса **4594 кг**).

Для послеуборочной обработки зерна в хозяйствах применяют зерноочи-

стительные агрегаты **ЗАВ-25**, **ЗАВ-40** и **ЗАВ-50**, а также зерноочистительно-сушильные комплексы **КЗС-50**.

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/м³. 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 16.5. Возможно с учетом местных условий использование агрегатов и других типов.

Таблица 16.5

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 (12.1) рассчитываем нормативное (в расчете на 100 га) число зерноуборочных комбайнов m_n (с точностью до двух знаков после запятой), а затем по формуле (12.8) 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 сроков 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

$$W_m = K_{об} \cdot W_{mn} = 3,6 \cdot K_{об} \cdot \frac{\Pi_n}{U \cdot (1 + \delta_c)} \cdot \tau, \quad (16.2)$$

где W_{mn} – производительность комбайна в нормальных условиях, га/ч; $K_{об}$ – обобщенный поправочный коэффициент, учитывающий отклонение условий уборки от нормальных; Π_n – пропускная способность выбранного комбайна, кг/с; U – урожайность, т/га (см. табл. 9.1); τ – коэффициент использования времени смены.

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

Обобщенный поправочный коэффициент

$$K_{об} = k_B \cdot k_C \cdot k_{II} \cdot k_K, \quad (16.3)$$

где K_B , K_C , K_H , 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_B , 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 $K_H = 0,85$ и $K_H = 0,7$. 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 $m_{см} = 7$ 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 τ можно выбрать по нормативным данным, приведенным в таблице 16.6.

Таблица 16.6

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 τ 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_Σ требуемые числа.

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

$$n_{H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_{CM.m}}{W_n \cdot k_{CM.n}}; n_\Sigma = \frac{m_\Sigma \cdot W_m \cdot U \cdot k_{CM.m}}{W_n \cdot k_{CM.n}}, \quad (16.4)$$

При прямых перевозках зерна от комбайнов (без технологического компенсатора в виде полевого зернотока или другого накопителя зерна) коэффициенты сменности комбайнов $K_{CM.m}$ и транспортных средств K_{CMn} одинаковые: $K_{CMm} = K_{CMn}$. В других случаях следует использовать конкретные данные из хозяйства. Из равенства (16.4) видно, что при наличии технологического компенсатора перевозка зерна может продолжаться после остановки комбайнов. Тогда соответственно возрастает K_{CMn} 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

$$W_n = \frac{Q_{ГН} \cdot k_{Г}}{t_n} = \frac{Q_{ГН} \cdot k_{Г}}{\frac{2 \cdot l_{Г}}{v_{Тех}} + t_{В} + t_{Раз}}, \quad (16.5)$$

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 16.1.

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 (16.2)-(16.5) 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:

$$n_{а.н\Sigma} = \frac{m_{н\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_m \cdot \varepsilon_a}{W_a \cdot k_{см.а}}; \quad n_{а\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_m \cdot \varepsilon_a}{W_a \cdot k_{см.а}}, \quad (16.6)$$

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

Значение W_a можно определить с учетом соответствующей чистой производительности Π_a (см. табл. 16.5):

$$W_a = \Pi_a \cdot \tau_a , \quad (16.7)$$

где τ_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 (16.6), (16.7) можно приближенно принять $\kappa_{см \cdot a} = 3$ 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 (13.1) и (13.2) при $D_{п} = 1-3$, $T_{см} = 7$ ч, $\kappa_{см} = 1,5$ и ранее полученных значений производительности W_m и площади поля (см. табл. 16.1). 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 $D_{п} = 3$ получено $m > 5$, то следует составить два и более уборочно-транспортных зве-

ньев с соблюдением условия $1 < m < 5$ и одно из них рассматривать в последующих расчетах.

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

$$n = \frac{m \cdot W_m \cdot u \cdot k_{см.м}}{W_n \cdot k_{см.н}}, \quad (16.8)$$

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

Основным недостатком упрощенного расчета по формуле (16.8) 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

$$C_{mn} = m_0 \cdot C_m + n_0 \cdot C_n \rightarrow \min, \quad (16.9)$$

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:

$$\overline{C_{mn}} = m_0 \cdot \frac{C_m}{C_n} + n_0 \rightarrow \min. \quad (16.10)$$

Поскольку значения C_m и C_n изменяются примерно пропорционально, то отношение будет оставаться стабильным. Кроме того, C_m и C_n зависят от опто-

вых цен комбайна C_m и транспортного средства C_n , поэтому вместо выражения (16.10) на практике удобнее расчеты проводить по эквивалентному критерию оптимальности:

$$\overline{C_{mn}} = m_0 \cdot \frac{C_m}{C_n} + n_0 \rightarrow \min. \quad (16.11)$$

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

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

$$\overline{C_{mn}} = P_{m0} \cdot \frac{C_m}{C_n} + n_0 \rightarrow \min \quad (16.12)$$

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

Методами теории массового обслуживания получим:

$$P_{m0} = \frac{1}{1+n \cdot \alpha + n \cdot (n-\alpha) \cdot \alpha^2 + n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \alpha^3 + \dots + n \cdot (n-1) \dots 1 \alpha^n}, \quad (16.13)$$

$$n_0 = n - (1 - P_{m0}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \quad (16.14)$$

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

Величины λ и μ можно рассчитать по формулам:

$$\mu = \frac{1}{t_{нв}}; \quad \lambda = \frac{1}{t_m}, \quad (16.15)$$

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:

$$t_{нв} = \frac{2 \cdot l_{\Gamma}}{v_{\text{тех}}} + t_{\text{раз}}, \quad (16.16)$$

$$t_m = n_{\text{б}} \cdot (t_{\text{б}} - t_{\text{в}}) = n_{\text{б}} \left(\frac{l_{\text{б}}}{3600 \cdot v} + n_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} + t_{\text{в}} \right), \quad (16.17)$$

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

Значения L , v и $n_{\text{п}}$ можно определить из равенств:

$$l_{\text{б}} = \frac{10^4 \cdot \Omega_{\text{б}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{б}}}{B_{\text{к}} \cdot \beta \cdot U}; \quad (16.18)$$

$$v = \frac{\Pi_{\text{н}} \cdot \varepsilon_{\text{п}}}{0,1 \cdot B_{\text{к}} \cdot \beta \cdot U \cdot (1 + \delta_{\text{с}})} ; \quad (16.19)$$

$$n_{\text{п}} = \frac{l_{\text{б}}}{L} - 1. \quad (16.20)$$

Значения вместимости бункера комбайна $\Omega_{\text{б}}$, плотности зерна ρ , ширины захвата жатки $B_{\text{к}}$ пропускной способности комбайна $\Pi_{\text{н}}$, урожайности U и длины гона L приведены в таблицах 16.3, 16.4. Кроме того, можно принять следующие средние справочные данные: коэффициент заполнения бункера комбайна $\gamma_{\text{б}} = 0,98$; коэффициент использования конструктивной ширины захвата жатки $\beta = 0,96$; отношение массы незерновой части урожая к массе зерна $\delta_{\text{с}} = 1,5$; коэффициент использования пропускной способности комбайна $\varepsilon_{\text{п}} = 0,8$; продолжительность выгрузки зерна из бункера $t_{\text{в}} = 0,066$ ч; продолжительность одного поворота комбайна $t_{\text{п}} = 0,0147$ ч при $B_{\text{к}} \leq 6$ м и $t_{\text{п}} = 0,0197$ ч при $B_{\text{к}} > 6$ м. Желательно также, чтобы вместимости бункера и кузова транспортного средства были примерно одинаковыми при $n_{\text{б}} = 1$.

На основании формул (16.15)-(16.20) и с учетом перечисленных значений величин можно определить $t_{\text{нб}}$, $t_{\text{м}}$ 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:

$$n_0 = m \cdot n_{01} \cdot \varphi_{\text{к}}. \quad (16.21)$$

В зависимости от числа m комбайнов в звене можно принять следующие средние значения поправочного коэффициента $\varphi_{\text{к}}$: при $m = 1-2 - \varphi_{\text{к}} = 1$; $m = 3 - \varphi_{\text{к}} = 0,83$; $m = 4 - \varphi_{\text{к}} = 0,75$; $m = 5 - \varphi_{\text{к}} = 0,7$. Подставив соответствующее значение $\varphi_{\text{к}}$ в формулу (16.21), 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 $\Omega_6 = 3 \text{ м}^3$.

Требуемое число транспортных средств для одного комбайна найдем упрощенным методом из условия их поточной работы:

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

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:

$$k_m = m_0 / m; \quad k_n = n_0 / n. \quad (16.22)$$

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 Ω_6 .

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

$$\lambda_1 = 1/t_{mб} . \quad (16.23)$$

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

$$t_{mб} = \frac{\Omega_б \cdot \rho \cdot \gamma_б \cdot (1 + \delta_c)}{3,6 \cdot \Pi_H \cdot \varepsilon_\Pi} + \left(\frac{10^4 \cdot \Omega_б \cdot \rho \cdot \gamma_б}{L \cdot B_K \cdot \beta \cdot U} \right) \cdot t_\Pi . \quad (16.24)$$

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

$$\lambda = m \cdot \lambda_1 = m/t_{mб} . \quad (16.25)$$

Интенсивность обслуживания этих требований каждым транспортным средством

$$\mu = \frac{1}{t_n} = \frac{1}{(2 \cdot l_\Gamma / v_{\text{тех}}) + t_B + t_{\text{раз}}} , \quad (16.26)$$

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:

$$P_{\text{отк}} = \frac{\alpha^n}{n!} \cdot P_0, \quad (16.27)$$

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:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}}. \quad (16.28)$$

Задавая приемлемое для заданных условий эффективное значение $P_{\text{отк.э}}$, можно определить эффективное требуемое число транспортных средств n , 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 (16.23)-(16.26) получим: $t_{m\bar{o}} = 0,417$ ч; $t_{n\bar{o}} = 0,519$ ч; $\lambda = 7,194$ ч⁻¹; $\mu = 1,927$ ч⁻¹; $\alpha = \lambda/\mu = 3,732$. Задавшись вероятностью отказа $P_{\text{отк.э}} = 0,05$, можно на основании формул (16.27) и (16.28) с учетом значения α найти эффективное число транспортных средств n . 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 $P_{\text{отк.э}} = 0,05$ соответствует число транспортных средств в звене $n_s = 7$. На основании анализа полученных результатов можно выбрать и другие варианты решения. Например, если принять $P_{\text{отк.э}} = 0,1$, то эффективное число транспортных средств составит $n_s = 6$.

После определения числа транспортных средств n , и соответствующего значения вероятности отказа $P_{\text{отк.э}}$ необходимо для исключения простоя ком-

байнов рассчитать требуемую вместимость межсменного технологического компенсатора $\Omega_{\text{км}}$ по формуле

$$\Omega_{\text{км}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{к}} = m \cdot z_{\text{б1}} \cdot \Omega_{\text{б}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{б}} P_{\text{отк.э}} = \frac{m \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}} \cdot m}{t_{\text{мб}}} \cdot \Omega_{\text{б}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot P_{\text{отк.э}}, \quad (16.29)$$

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

Тогда требуемая вместимость межсменного компенсатора

$$\Omega_{\text{км}} = \frac{m \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см}} \cdot m \cdot \Omega_{\text{б}} \cdot P_{\text{отк.э}}}{\gamma_{\text{к}} \cdot t_{\text{мб}}}. \quad (16.30)$$

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 $\mathbf{m}_{\text{а1}}$, обслуживаемых одним таким агрегатом. При упрощенном расчете значение $\mathbf{m}_{\text{а1}}$ получим по аналогии с формулами (16.6) при $\epsilon_{\text{а}} = 1$:

$$m_{a1} = \frac{W_a \cdot k_{см.а}}{W_m \cdot u \cdot k_{см.м}}. \quad (16.31)$$

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

$$\lambda_a = \frac{1}{t_{na}} = \frac{m_{a1} \cdot W_n \cdot u}{Q_{гн} \cdot k_{г}} = \frac{m_{a1} \cdot \Omega_{б} \cdot \rho \cdot \gamma_{б}}{Q_{гн} \cdot k_{г} \cdot t_{мб}}, \quad (16.32)$$

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

$$\mu_a = \frac{1}{t_{na}} = \frac{W_a}{Q_{гн} \cdot k_{г}}, \quad (16.33)$$

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 (16.27), (16.28) 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 $P_{отк.а}$ отказа в приеме транспортных средств с зерном и $P_{оа}$ простоя агрегата для послеуборочной обработки зерна рассчитываем по формулам:

$$P_{\text{отк.а}} = \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} ; P_{\text{оа}} = \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} . \quad (16.34)$$

Отказ получают те транспортные средства, зерно которых не может быть обработано сразу после разгрузки. Тогда разгрузку производят в резервную емкость, называемую технологическим компенсатором. Вместимость такого компенсатора $\Omega_{\text{км}}$ находим из равенства

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

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

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

$$\Omega_{\text{км}} = \frac{m_{\text{а1}} \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см.т}} \cdot Q_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}}}{\gamma_{\text{км}} \cdot t_{\text{мб}}} \cdot \left(\frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \right), \quad (16.35)$$

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

На основании расчетов по формулам (16.32)-(16.35) 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:

$$W_a = 25 \cdot 0,85 = 21,25 \text{ т/ч}; \lambda_a = 16,244 \text{ ч}^{-1}; \mu_a = 8,5 \text{ ч}^{-1};$$

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

На основании формул (16.32)-(16.35) можно решить и обратную задачу определения возможного числа комбайнов m_{a1} , обслуживаемых одним агрегатом для послеуборочной обработки зерна, с учетом вместимости его бункера для временного хранения зерна $\Omega_{б\cdot x}$, приняв $\Omega_{км} = \Omega_{б\cdot x}$. Углубленный анализ получаемых по формулам (16.31)-(16.35) закономерностей с учетом возможного диапазона изменения действующих факторов и вместимости бункера комбайна $\Omega_{б}$ 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 $l_{б}$, рассчитанной по формуле (16.18). Если $l_{б} < L$, 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 $L = 1,5l_{б}$ и $L = 2l_{б}$ требуется один прокос соответственно на расстоянии $0,5l_{б}$ от одного края загона и по середине загона. При $L = 3l_{б}$ 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 16.7.

Таблица 16.7

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 16.1 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 ком-

байнов из таблицы 16.2 в зависимости от урожайности и длины гона $\Pi_n = 6,6 \dots 10,6$ 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 (16.1), с учетом, что:

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

$V = 1,7 \dots 2,0$ 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 16.3 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 $l_r = 5 \dots 10$ км., $Q_{гнo} = 5$ т.

Из таблицы 16.4 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 $\rho = 0,55 \dots 0,75$ т/м³ (стр.10).

Объем бункера Дон – 1500А, $\Omega_B = 6$ м³.

Тогда масса зерна в бункере,

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

По таблице 16.4 выбираем автомобиль **ЗиЛ-ММЗ-554**, у которого $Q_{гн} = 5,5т$, $\Omega_{куз} = 6м^3$, $k_r = 1$ (коэффициент использования грузоподъемности стр.10).

Тогда масса зерна в кузове

$$\Omega_{ГНК} = 0,65 \cdot 6 = 4т.$$

7. Для послеуборочной обработки зерна в пределах данного задания используем зерноочистительно-сушильный комплекс **КЗС-25Б** из таблицы 16.5.

8. Определяем производительность зерноуборочного комбайна по формуле (16.2), с учетом, что

$k_{об} = 1$ - обобщенный поправочный коэффициент при нормальных условиях;

$\tau = 0,43$ - коэффициент использования времени смены по таблице 16.6.

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

9. Определяем по формуле (12.1) 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.12);

$\alpha_k = 0,8$ – коэффициент использования календарного времени (стр.12);

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

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

$k_{смт} = 1,5$ – коэффициент сменности (стр.13);

$\gamma_{гт} = 0,96$ – коэффициент готовности комбайна (стр.13).

$$m_{н\sigma} = \frac{U \cdot F_{н\sigma}}{D_k \cdot \alpha_k \cdot W_m \cdot T_{см} \cdot k_{смт} \cdot \gamma_{гт}} = \frac{4,6 \cdot 100}{10 \cdot 0,8 \cdot 1,22 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 0,96} = \frac{460}{98} = 4,69$$

10. Определяем по формуле (12.8) 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 (16.5), с учетом, что

$k_r = 1$ - коэффициент использования грузоподъемности (стр.10);

$V_{\text{тех.}} = 28...32$ км/ч – средняя техническая скорость движения автомобиля (стр.15);

$t_b = 0,066$ ч. – продолжительность выгрузки зерна из бункера (стр. 15);

$t_{\text{раз.}} = 0,12$ ч. – время разгрузки зерна (стр. 15).

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

12. Определяем по формуле (16.4) нормативное (на 100 га) $n_{H\Sigma}$ и общее n_{Σ} число транспортных средств, с учетом, что $k_{\text{смм}} = k_{\text{смм}} = 1,5$.

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

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

13. Определяем по формуле (16.7) производительность агрегата для послеуборочной обработки зерна, с учетом, что

$P_a = 20$ т/ч – чистая производительность КЗС-25Б при сушке (таблица 16.5);

$\tau_a = 0,85$ – коэффициент использования времени смены (стр.15).

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

14. Определяем нормативное $n_{aH\Sigma}$ и общее $n_{a\Sigma}$ число КЗС-25Б по формуле (16.6), с учетом, что

$K_{\text{см.а}} = 3$ – коэффициент сменности агрегата (стр. 15);

$\varepsilon_a = 1...1,3$ – 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 (13.1) 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.16);

$T_{см} = 7$ 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

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

16. Определяем по формуле (16.8) 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 (16.18) длину пути, проходимого комбайном за время заполнения бункера, с учетом, что

$\Omega_б = 6 \text{ м}^3$ – объем бункера (см. П.6);

$\rho = 0,65 \text{ т/м}^3$ – плотность зерна ячменя;

$\gamma_б = 0,98$ – коэффициент заполнения бункера (стр.19);

$B_k = 6$ м – ширина захвата жатки;

$\beta = 0,96$ – коэффициент использования ширины захвата (стр.19);

$U = 4,6$ 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 (16.19) 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. 19).

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

19. Определяем по формуле (16.20) 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 (16.16) 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. 15);

траз.= 0,12 ч – время разгрузки зерна (стр. 15).

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

21. Определяем по формуле (16. 17) среднюю продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, с учетом, что

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

$t_{\pi} = 0,0147$ ч – продолжительность одного поворота комбайна (стр. 19);

$t_{\text{в}} = 0,066$ ч – продолжительность выгрузки зерна из бункера (стр. 19).

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

22. Определяем по формуле (16.15) интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном μ и интенсивность прибытия каждого транспортного средства за зерном к комбайну λ

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

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

24. Определяем по формуле (16.13) 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

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

25. Определяем по формуле (16.14) среднее число простаивающих транспортных средств

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

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

26. Определяем по формуле (16.12) критерий оптимальности, с учетом, что

$$\Pi_m / \Pi_n = 2,53 \text{ (стр.17)}$$

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

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

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 (16.21) оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена, с учетом, что

$$n_{opt2} = 2;$$

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

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

28. Определяем по формуле (16.22) 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 (16.24) 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 (16.23) 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 (16.25) плотность суммарного потока требований на обслуживание от всех m комбайнов звена

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

32. Определяем по формуле (16.26) интенсивность этих требований каждым транспортным средством, с учетом формулы (16.5) и пункта 11.

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

33. Определяем по формуле (16.28) 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 (16.27) 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 (16.30) требуемую вместимость межсменного компенсатора с учетом пункта 9 и $\gamma_k = \gamma_b = 0,98$.

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

36. Определяем по формуле (16.31) число комбайнов обслуживаемых одним агрегатом КЗС-25Б, с учетом п.9 и $\gamma_{\text{к}} = \gamma_{\text{б}} = 0,98$.

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

37. Определяем по формуле (16.32) 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 (16.33) интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку

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

39. Определяем по формуле (16.34) 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 (16.35) 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 16.8. По всем пунктам задания записать выводы.

Таблица 16.8

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Зерноуборочный комбайн	Дон – 1500А
2	Пропускная способность, Π_n	9кг/с
3	Рабочая ширина захвата, B_p	4м
4	Конструктивная ширина захвата, B_k	6м
5	Объем бункера Дон – 1500А, Ω_B	6м ³
6	Масса зерна в бункере, $\Omega_{ГНБ}$	4т
7	Автомобиль	ЗиЛ-ММЗ-554
8	Номинальная грузоподъемность, $Q_{ГН}$	5,5т
9	Объем кузова, $\Omega_{куз}$	6м ³
10	Масса зерна в кузове, $\Omega_{ГНК}$	4т
11	Зерноочистительно-сушильный комплекс	КЗС-25Б
12	Производительность зерноуборочного комбайна, W_m	1,22га/ч
13	Нормативное число зерноуборочных комбайнов, $m_{н\Omega}$	4,69
14	Целое число комбайнов для своей площади, m_{Σ}	42
15	Производительность транспортного агрегата, W_n	9,38т/ч
16	Нормативное число транспортных средств, $n_{н\Omega}$	2,82
17	Общее число транспортных средств, n_{Σ}	25
18	Производительность КЗС-25Б	17т/ч
19	Нормативное число КЗС-25Б, $n_{а\Omega}$	1
20	Общее число КЗС-25Б, $n_{а\Sigma}$	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	1442м
24	Рабочая скорость комбайна, V	1,1м/с
25	Число поворотов за время заполнения бункера, n_p	1
26	Средняя продолжительность рейса транспортного средства, $t_{пв.}$	0,52ч
27	Средняя продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, t_m	0,44ч
28	Интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном, μ	1,92 1/ч
29	Интенсивность прибытия каждого транспортного средства за зерном к комбайну, λ	2,27 1/ч

Продолжение таблицы 16.8

30	Отношение $\alpha = \lambda/\mu$	0,85
31	Вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства в момент заполнения бункера зерном, P_{m0}	$P_{m01} = 0,54$ $P_{m02} = 0,23$
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, $t_{mб}$	0,394ч
38	Плотность потока требований в виде порций зерна, соответствующих вместимости бункера, λ_1	2,538 1/ч
39	Плотность суммарного потока требований на обслуживание от всех m комбайнов звена, λ	10,152 1/ч
40	Интенсивность этих требований каждым транспортным средством, μ	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, $\Omega_{км}$	$452м^3$
45	Число комбайнов обслуживаемых одним агрегатом КЗС-25Б, m_{a1}	6
46	Плотность потока транспортных средств, прибывающих с зерном на пункт послеуборочной обработки, λ_a	10 1/ч
47	Интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку, μ_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, $\Omega_{км}$	$738м^3$

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

ОПТИМИЗАЦИЯ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР

Методические указания
для выполнения практической работы № 16
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентам инженерно-технологического института
по направлению подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 02.02.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,55. Тираж 25 экз. Изд. № 7197.

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