

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 КАРТОФЕЛЯ

Методические указания для выполнения
практической работы № 18
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»
студентам инженерно-технологического института
по направлению подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Брянск 2022

УДК 631.356.4 (076)

ББК 40.728

С 17

Самусенко, В. И. Оптимизация уборки картофеля: методические указания для выполнения практической работы № 18 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. – 38 с.

Методические указания предназначены для освоения современных методов оптимизации уборки картофеля. Для студентов инженерно-технологического института.

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	6
ПРИМЕР РАСЧЕТА	23
ОТЧЕТ	34
ЛИТЕРАТУРА	37

Цель задания – освоить современные методы оптимизации уборки картофеля.

Содержание задания

1. Выписать из таблицы 18.1 исходные данные по соответствующему варианту задания. Эти данные могут быть скорректированы с учетом местных природно-производственных условий.

Таблица 18.1

Варианты заданий

№ варианта	Длина гона, м	Площадь поля и общая (Σ), га	Урожайность, т/га	Расстояние транспортировки, км	Способ уборки
1	200	4 (50)	18	2	Комбайновый
2	250	6 (60)	19	3	Раздельный
3	300	8 (70)	12	4	Комбинированный
4	350	11 (80)	20	5	Комбайновый
5	400	14 (90)	18	6	Раздельный
6	500	23 (105)	14	7	Комбинированный
7	600	33 (117)	22	8	Комбайновый
8	1000	91 (210)	15	10	Комбинированный
9	420	16 (125)	24	6	Комбайновый
10	360	12 (86)	21	5	Раздельный
11	320	9 (74)	13	4	Комбинированный
12	220	4,4 (44)	26	2	Комбайновый
13	240	5,2 (83)	22	3	Раздельный
14	340	10,6 (115)	13	4	Комбинированный

Продолжение таблицы 18.1

15	370	12,5 (120)	28	5	Комбайновый
16	427	16,6 (130)	23	6	Раздельный
17	490	22 (120)	12	7	Комбинированный
18	590	32 (130)	30	8	Комбайновый
19	775	55 (140)	24	9	Раздельный
20	899	74 (180)	15	10	Комбинированный
21	989	89 (170)	21	10	Комбайновый
22	839	64 (160)	25	9	Раздельный
23	694	44 (150)	16	8	Комбинированный
24	479	21 (110)	23	7	Комбайновый
25	389	13,8 (90)	26	6	Раздельный
26	377	13 (80)	15	5	Комбинированный
27	344	11 (60)	25	4	Комбайновый
28	279	7 (50)	23	3	Раздельный
29	217	4,3 (40)	12	2	Комбинированный
30	550	6 (30)	17	4	Комбинированный

2. Выбрать эффективную технологию уборки картофеля.
3. Изложить основные агротехнические требования.
4. Выбрать эффективные ресурсосберегающие агрегаты и записать основные 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 картофелеуборочных агрегатов.

Методические указания

Картофель является одной из важнейших продовольственных культур, в клубнях которого содержится 14-22% крахмала, 2-3% белка и много других полезных элементов. Широко используют картофель и в качестве ценного корма для животных, как в чистом, так и в переработанном виде. В качестве корма используют также отходы производства из картофеля – крахмал (мезгу) и спирт (барду). Картофель в нашей стране производят почти повсеместно, за исключением южных районов и районов Крайнего Севера. Отличительная особенность производства картофеля – высокая трудоемкость и ресурсоемкость всех операций по его возделыванию, особенно уборочных работ, часто приходящихся на период сложных погодных условий осени. В связи с этим чрезвычайно важно оптимизировать работы по его уборке с позиций ресурсосбережения и высокой производительности.

Технология уборки картофеля определяется закономерностями выполнения следующих основных операций:

- удаления ботвы;
- выкапывания клубней;
- транспортировки клубней;
- сортирования клубней;
- закладки клубней на хранение (с учетом местных природно-производственных условий).

Применяемые технологии уборки картофеля классифицируют по двум основным признакам:

- по применяемым формам организации уборочных работ;
- по принципу извлечения или выкапывания клубней из почвы.

По первому признаку различают поточную технологию с сортированием и без сортирования клубней, а также поточно-прерывистую технологию.

Поточная технология уборки предусматривает непрерывную взаимосвязанную работу всех машин и агрегатов от выкапывания клубней до их закладки на хранение.

Поточно-прерывистая технология, в отличие от поточной, предусматривает временное хранение картофеля на крытых площадках с целью улучшения его качества, включая подсушивание и улучшение сохранности.

По второму признаку (принципу извлечения или выкапывания клубней) различают три способа уборки картофеля:

- комбайновый, или прямое комбайнирование;
- отдельный;
- комбинированный.

Выбор эффективной технологии уборки зависит от местных природно-производственных условий.

Комбайновый способ уборки наиболее эффективен в следующих условиях:

- почвы твердостью **1,4** МПа при влажности до **18-20%**;
- засоренность камнями диаметром до **150** мм в пахотном слое до **8** т/га;
- урожайность картофеля более **15** т/га;
- глубина залегания нижних клубней **18-20** см;
- ширина гнезда до **40** см.

Отдельный способ уборки, включая подкапывание клубней картофелекопателем с укладкой в виде вала на поверхность поля для подсушивания и последующий их подбор комбайном, рекомендуют при повышенной влажности почвы.

Комбинированный способ уборки картофеля целесообразно применять на легких почвах при урожайности до **18** т/га. При этом клубни из двух или четырех рядков укладывают картофелекопателем-валкоукладчиком в междурядье двух соседних рядков соответственно по схемам **2 + 2** и **2 + 4**, а затем убирают комбайном.

Перед уборкой картофеля любым способом предусматривается удаление ботвы (если она сохранена до начала уборки) косилками-измельчителями или химическим способом путем опрыскивания соответствующим раствором. В условиях хозяйств чаще используют способ удаления ботвы косилками-измельчителями, который следует применить и в задании. В общем случае спо-

соб уборки следует выбрать из таблицы 18.1 в соответствии с заданным вариантом задания.

Уборку картофеля рекомендуют проводить при соблюдении следующих агротехнических требований:

- сроки уборки до **15** календарных дней при среднесуточной температуре воздуха более **5°C**;
- уборка ботвы за **4-5** дней до уборки продовольственного картофеля;
- потери клубней после прохода комбайна до **3%**;
- чистота клубней не менее **80%**;
- механические повреждения клубней до **10%**;
- высота среза ботвы не более **20** см.

Эффективные ресурсосберегающие агрегаты, включая ботвоуборочные, картофелекопатели, комбайны, транспортные средства и сортировальные пункты, выбирают по аналогии с предыдущими заданиями. Для уборки ботвы чаще используют косилки-измельчители типа КИР- 1,5 и КИР-1,5Б (с бункером объемом **4,3 м³**), агрегируемые с тракторами типа **МТЗ-80/82**. Нормативная производительность таких агрегатов составляет примерно **0,3-0,5 га/ч** при ширине захвата **1,5 м** и скорости движения **2,22 м/с** (табл. 18.2).

Таблица 18.2

Основные характеристики ботводробителей

Марка, наименование	Класс трактора	Производительность, га/ч	Захват, м	Назначение
БД-4	1,4	1,4-2,1	2,8	Скашивание с измельчением
КИР-1,5Б	1,4	До 0,5	1,4	Скашивание с измельчением
БДЗ-140	1,4	1,9-2,8	4,2	На грядах
БД-6	1,4	1,9-2,8	4,2	Скашивание с измельчением

Для уборки картофеля используют комбайны одно-, двух-, трех- и четырехрядные, включая прицепные, полунавесные и самоходные. Из двухрядных отечественных комбайнов в хозяйствах наиболее распространены полунавесные комбайны типа **ККУ-2А** в различных модификациях с активным и пассивным лемехами. Такие комбайны обычно агрегируют с тракторами **МТЗ-80/82**, а в более сложных условиях – с тракторами **ДТ-75М** и **Т-150К**. Двухрядный комбайн **КПК-2** отличается от **ККУ-2А** наличием дискосопниковых подкапывающих рабочих органов и другими конструктивными изменениями, что позволяет работать на почвах влажностью до 30% с теми же тракторами. Трехрядный комбайн **КПК-3** того же назначения агрегируют с аналогичными тракторами. Четырехрядный самоходный картофелеуборочный комбайн **КСК-4** разработан на базе **ККУ-2А** как с бункером (**КСК-4А-1**), так и без него (**КСК-4-1**). Основные эксплуатационные параметры картофелеуборочных комбайнов приведены в таблицах 18.3-18.4.

Таблица 18.3

Характеристики картофелеуборочных комбайнов

Наименование показателей	Марки комбайнов	
	AVR220B	AVR220BK - вариант
Ширина междурядий, см	70 и 75	70, 75 и 90
Рабочая площадь сепарации, м ²	6,7	8,25
Вместимость бункера, т	4,5	5,0
Масса, кг	7100	7030

Таблица 18.4

Эксплуатационные параметры картофелеуборочных комбайнов

Марка комбайна	Тип комбайна	Агрегатируемый трактор	Ширина захвата комбайна В, м	Рабочая скорость v, м/с	Чистая производительность комбайна П _ч , га/ч	Объем бункера (вместимость) Q _б , м ³ (т)
ККУ-2А	Полунавесной	МТЗ-80/82, ДТ-75М, Т-150К	1,4	0,50 1,11	0,4	1 (0,8)
КПК-2	Полунавесной	МТЗ-80/82, ДТ-75М, Т-150К	1,4	0,55 1,66	0,6	2,2 (1,5)
КПК-3	Полунавесной	МТЗ-80/82, ДТ-75М, Т-150К	2,1	0,55 1,66	0,7	2,2 (1,5)
КСК-4А-1	Самоходный	—	2,8	0,5 1,8	1,2	2,5 (1,7)

Примечание. Мощность двигателя самоходного комбайна КСК-4 А-1 равна 110,3 кВт.

С позиций ресурсосбережения двухрядные комбайны наиболее эффективны при длине гона до **400** м, трехрядные – **400-600** м, четырехрядные – при длине гона более **400** м.

При раздельном и комбинированном способах уборки используют полунавесные картофелекопатели УКВ-2. При раздельном способе уборки в зависимости от состояния почвы и урожайности картофеля копатель формирует валок из клубней двух, четырех или шести рядков.

В качестве транспортных средств при прямой транспортировке клубней от комбайнов используют агрегаты типа МТЗ-80/82 + 2ПТС-4-887Б и МТЗ-80/82 + 2ПТС-6- 8526 грузоподъемностью соответственно 4 и 6 т, а также автомобили-самосвалы типа ГАЗ-САЗ и ЗИЛ-ММЗ-554М грузоподъемностью 4 и 5,5 т. По литературным данным, тракторный транспорт более эффективен при следующих сочетаниях урожайности картофеля и расстояниях перевозки: 20-22 т/га, 3-5 км/ч; менее 20 т/га, 5-6 км. При урожайности картофеля более 20 т/га и расстояниях перевозки свыше 5 км целесообразно использовать автомобильный транспорт.

Возможны различные варианты комбинированного применения транспорта обоих видов с резервными прицепами, перемещаемыми в пределах поля тракторами, а за пределами поля – автомобилями (табл. 18.5). Выбор эффективного варианта такой работы в различных условиях можно рекомендовать для студенческой исследовательской работы на базе ЭВМ.

Таблица 18.5

Уборочно-транспортные средства и их характеристики

Показатели	Уборка	Транспорт		Сортирование на хранение		Закладка на хранение
		тракторный	автомобильный			
Состав агрегата	Б1221 + AVR220В	Б1221 + 2ПТС-6	ГАЗ-3102	КСП-15В	КСП-25	ТЗК-30
Ширина захвата, м	1,4	–	–	–	–	–
Скорость, м/с	1,0	4,0	8,0	–	–	–
Коэффициент использования времени смены	0,6	–	–	–	–	–
Грузоподъемность, т	–	6,0	4,0	–	–	–

Продолжение таблицы 18.5

Коэффициент использования грузоподъемности	–	0,9	0,9	–	–	–
Продолжительность выгрузки, сут/т	–	20	20	–	–	–
Техническая производительность, т/ч	–	–	–	15	25	30
Число механизаторов	1	1	1	1	1	1
Число вспомогательных рабочих	4	–	–	8	15	2

Картофель свежий навалом считают грузом первого класса со средней плотностью $\rho = 0,68 \text{ т/м}^3$ при $k_r = 1$. Для перевозки картофеля от сортировального пункта используют в основном те же транспортные средства в тех же диапазонах эффективности. Если при этом картофель перевозят в мешках, то средняя плотность составляет $0,6 \text{ т/м}^3$. Учитывая идентичность процесса перевозки, в пределах данного задания рассматриваются только прямые перевозки клубней от комбайнов до сортировального пункта. Контейнерные перевозки картофеля в основном используют при доставке на реализацию в торговую сеть или для закладки на хранение от сортировального пункта, поэтому в данном задании они не рассматриваются.

Послеуборочная доработка доставленного от комбайнов картофеля до требуемых кондиций производится на сортировальных пунктах, обеспечивающих отделение посторонних примесей и дефектных клубней, а также разделение оставшихся клубней на три фракции:

- крупную (продовольственную) – масса клубней более **80** г;
- среднюю (семенную) – **40-80** г;
- мелкую (кормовую) – масса клубней **20-40** г.

Клубни первой фракции отправляют на хранение или в торговую сеть для реализации, средней фракции хранят в хозяйстве на семенные и другие цели, а мелкой фракции используют на корм животным.

Для послеуборочной доработки клубней используют картофелесортировальные пункты, к которым предъявляют следующие агротехнические требования:

- присутствие примесей смежных фракций не более **10%** по массе;
- наличие посторонних примесей до **1%** в крупной и средней фракциях и до **5%** в мелкой фракции;
- высота падения клубней при погрузке и разгрузке не более **25-30** см.

Основные эксплуатационные показатели используемых в хозяйствах картофелесортировальных пунктов приведены в таблице 18.6.

Таблица 18.6

Эксплуатационные показатели картофелесортировальных пунктов

Пункт	Чистая производительность W_m , т/ч	Объем (вместимость) бункера Ω , м ³ (т)	Численность обслуживающего персонала	Привод
КСП-15Б	15	4,5 (3)	7-9	Трактор Т-25А или электродвигатель
КСП-25	25	6 (4)	6-19	Электродвигатель
К-750	30	12,6 (8)	8-18	Электродвигатель

Сортировальный пункт следует выбрать таким образом, чтобы за период уборки (до 15 дней) всеми пунктами полностью обработать урожай при коэффициенте сменности $k_{см} = 1,5-2$.

Заключительная послеуборочная операция – закладка картофеля на хранение с помощью транспортера-загрузчика ТЗК-30, у которого чистая производительность 30 т/ч и вместимость приемного бункера 6 м³ или 4 т. При контейнерном способе хранения используют соответствующие электропогрузчики (табл. 18.7, 18.8).

Таблица 18.7

Машины для послеуборочной обработки картофеля

Показатели	Картофелесортировальные пункты			Машины для хранилищ	
	КСП-15Б	КСП-15В	КСП-25	ТЗК-30	ТХБ-20
Производительность, т/ч	15	До 20	До 30	30	20
Количество элементов, наименов./шт.	4/6	5/9	11/18	4/4	3/3
Установленная мощность, кВт	5,0	17,5	56,3	12,0	11,5
Обслуживающий персонал, чел.	8-12	8-10	8-20	1-2	1-3
Габариты ДхШхВ, м	10,9х	20,0х	36,0х	13,0х	15,0х
	х8,3х	х11,0х	х12,0х	х2,8х	х1,6х
	х2,5	х2,6	х7,2	х3,5	х1,8
Масса, кг	2100	5300	30 000	4000	3380

Таблица 18.8

Технические характеристики загрузчиков хранилищ серии МЛ

Показатели	Марки загрузчиков		
	ML 1370	ML 1670	ML 1970
Длина (max/min), м	12,45/7,6	16,45/9,1	19,45/10,6
Ширина, м	2,31	2,45	2,45
Вылет стрелы (max/min), м	9,45/4,3	11,65/5,3	14,1/6,25
Ширина зоны загрузки, м	8-24	10-30	12-36
Высота загрузки max, м	6,2	7,6	8,9
Масса, кг	3760	4060	4360

Скважность и плотность необходимо учитывать при обеспечении требований к условиям хранения (табл. 18.9).

Таблица 18.9

Скважность и плотность насыпи клубней

Средняя масса клубня, г	Скважность, %		Плотность, кг/м ³	
	загрузка	выгрузка	загрузка	выгрузка
150	41-44	38-42	610-615	615
100	38-40	36,3-38,7	642-650	646
80	37-39,5	35,1-37,5	653-655	654
40	37-39	34,3-38,9	653-656	656

Закладка картофеля на хранение в пределах данного задания с учетом ограниченного объема не рассматривается. Рекомендации по комплектованию выбранных агрегатов и их настройке на требуемый режим работы даны в специальной литературе.

Общее требуемое число агрегатов каждого вида следует определить по аналогии с предыдущими заданиями. Нормативное (в расчете на 100 га) $m_{н\Sigma}$ и общее m_{Σ} число картофелеуборочных комбайнов следует рассчитывать по

формулам (12.1) и (12.8) при календарной продолжительности уборки $D_k = 15$ дней. Можно принять средние значения величин: $\alpha_k = 0,83$; $T_{см} = 7$ ч; $\kappa_{смт} = 1,5$; $\gamma_{г.м} = 0,95$ для двухрядных и $\gamma_{г.м} = 0,93$ для трех- и четырехрядных комбайнов. Общую площадь посадок $F_{п}$ следует выбирать с учетом местных условий или по заданию преподавателя.

Производительность картофелеуборочного агрегата рассчитывают по формуле

$$W_m = 0,36 \cdot B \cdot v \cdot \tau = P_T \cdot \tau, \quad (18.1)$$

Значения ширины захвата B , рабочей скорости v и чистой производительности комбайна P_m даны в таблицах 18.3 и 18.4. Практические расчеты по формуле (18.1) удобнее выполнять с использованием P_m .

Коэффициент использования времени смены τ каждого комбайна в основном зависит от длины гона. Средние нормативные значения τ указаны в таблице 18.10. Применительно к однорядным комбайнам значения τ в первой строке таблицы следует увеличить в среднем на **0,035**.

Таблица 18.10

Значения коэффициента использования времени смены для картофелеуборочных комбайнов

Комбайн	τ при длине гона, м					
	150-200	200-300	300-400	400-600	600-1000	более 1000
ККУ-2А	0,443	0,468	0,489	0,503	0,518	0,528
КПК-2	0,422	0,446	0,466	0,479	0,493	0,503
КПК-3	0,410	0,433	0,453	0,466	0,479	0,489
КСК-4А-1	0,402	0,424	0,444	0,456	0,469	0,479

Нормативные $n_{и\Sigma}$, $m_{и\Sigma}$ и общие n_{Σ} , m_{Σ} требуемые числа соответственно косилок-измельчителей КИР-1,5 и картофелекопателей УКВ-2 можно рассчитать по формулам (16.4) с учетом поточной работы их с картофелеуборочными

агрегатами при $\kappa_{см.м} = \kappa_{см.п} = 1,5$. Для косилки-измельчителя КИР-1,5 можно принять среднее значение производительности $W_k = 0,4$ га/ч, а для картофелекопателя УКВ-2 производительность W_m выбрать из таблицы 18.11 в зависимости от длины гона и способа уборки.

Таблица 18.11

Значения производительности картофелекопателя УКВ-2 при разных способах уборки

Способ уборки	W_m , га/ч, при длине гона, м					
	150-200	200-300	300-400	400-600	600-1000	более 1000
Раздельный	0,206	0,221	0,234	0,244	0,253	0,26
Комбинированный	0,408	0,443	0,467	0,487	0,507	0,52

Нормативное $n_{н\Sigma}$ и общее n_{Σ} числа транспортных средств для перевозки картофеля от комбайнов на сортировальные пункты также можно рассчитать по формулам (16.4). При этом производительность транспортного агрегата следует вычислять по формуле (16.5) при $\kappa_r = 1$, $\kappa_{см} = 1,5$.

Средние значения технической скорости $v_{тех}$ по аналогии с предыдущими заданиями можно принять равными **28...32** и **19** км/ч соответственно для автомобилей и тракторов. Значение t_b в данном случае соответствует времени заполнения клубнями кузова движущегося рядом с комбайном транспортного средства. Это время рассчитывают по упрощенной формуле:

$$t_b = Q_{ГН} \cdot k_r / U \cdot W_m . \quad (18.2)$$

Время разгрузки клубней на сортировальном пункте $t_{раз} = 0,12$ ч (по аналогии с предыдущими заданиями).

Нормативное $n_{н\Sigma}$ и общее n_{Σ} требуемые числа сортировальных пунктов также определяем из условия поточной работы их с комбайнами (см. формулу

(16.4)) при коэффициенте сменности пункта $\kappa_{см.с} = 1,5...2$. Производительность сортировального пункта

$$W_c = \Pi_c \tau_c. \quad (18.3)$$

Значения чистой производительности сортировальных пунктов Π_c даны в таблице 18.6, а коэффициент использования времени смены можно принять $\tau_c = 0,84$.

В хозяйствах наиболее распространены сортировальные пункты типа КСП-15Б, поэтому расчеты по заданию можно для большей определенности выполнить применительно к этому пункту, если это приемлемо для местных условий.

Оптимальные составы уборочно-транспортных звеньев определяют по аналогии с предыдущими заданиями, начиная с расчета числа картофелеуборочных комбайнов m по формулам (13.1) и (13.2). Число комбайнов m в данном случае по организационным соображениям не должно быть более четырех или пяти. Значение $D_{п}$ также следует выбрать в диапазоне 1-3 дня. Если при $D_{п} = 3$ число комбайнов $m > 5$, то следует организовать несколько звеньев, удовлетворяющих условию $m \leq 5$, и одно из них выбрать для последующих расчетов с учетом ранее полученных значений производительности комбайна W_m , $T_{см} = 7$ ч и $\kappa_{смm} = 1,5$.

Число косилок-измельчителей n_k и картофелекопателей $n_{п}$ в уборочно-транспортных звеньях определим по формуле (16.8) с учетом ранее полученных значений их производительности W_k и $W_{п}$ при $\kappa_{см k} = \kappa_{см.п} = 1,5$ без учета урожайности, приняв $U = 1$.

Аналогично получим требуемое число транспортных средств n и сортировальных пунктов n_c с учетом приведенных ранее их производительностей W_n и W_c при $\kappa_{см.п} = 1,5$, $\kappa_{смс} = 1,5...2$ и урожайности и из таблицы 18.1.

Более точно оптимальный состав уборочно-транспортных звеньев следует определить методами теории массового обслуживания по аналогии с заданиями

16 и 17. При этом сначала на основании формул (16.9)...(16.15) надо рассчитать оптимальное число транспортных средств n_{opt1} для обслуживания одного картофелеуборочного комбайна, а затем по формуле (16.21) найти n_{opt} для всего уборочно-транспортного звена с учетом полученных ранее значений поправочного коэффициента ϕ_k (см. (16.21)).

Для расчетов по формулам (16.12)...(16.14) можно принять следующие усредненные значения соотношений C_m / C_n между ценами уборочных C_m и транспортных C_n агрегатов:

- **1,643 и 2,216** – при обслуживании двухрядных комбайнов соответственно тракторным и автомобильным транспортом;
- **2,069 и 2,791** – при аналогичном обслуживании трехрядных комбайнов;
- **3,388 и 4,571** – соответственно при обслуживании самоходных четырехрядных картофелеуборочных комбайнов.

Значение t_{nb} в формуле (16.15) при определении интенсивности (плотности) $\lambda = 1/t_{nb}$ прибытия транспортных средств к комбайнам получим из выражения (16.16) в зависимости от заданного расстояния l_2 перевозки клубней и приведенной выше технической скорости v_{mex} с учетом времени разгрузки $t_{раз} = 0,12$ ч.

При определении интенсивности обслуживания $\mu = 1/t_m$ комбайном транспортных средств соответствующее время обслуживания t_m получим из формулы (17.6) с учетом ранее приведенных значений ширины захвата B комбайна, скорости v , вместимости бункера Ω_b при плотности картофеля $\rho = 0,68$ т/м³ и $\gamma_b = 0,98$.

Средняя продолжительность одного поворота комбайна t_n составляет **0,0194** ч при времени выгрузки клубней $t_b = 0,027$ ч. Число бункеров n_b комбайна, по объему соответствующее кузову одного транспортного средства грузоподъемностью $Q_{гн}$, вычислим по формуле.

$$n_{\text{б}} = \frac{Q_{\text{ГН}} \cdot k_{\text{Г}}}{\Omega_{\text{б}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{б}}}$$

При необходимости можно определить по формулам (16.22) коэффициенты простоя комбайнов k_m транспортных средств k_n .

Упрощенное решение рассмотренной задачи методами теории массового обслуживания на основании формул (16.23)...(16.30) можно получить с учетом следующих особенностей. Поскольку комбайны создают простейший вероятностный поток требований плотностью $\lambda_{\text{к}}$ в виде порций клубней массой $Q_{\text{ГН}} k_{\text{Г}}$, соответствующей грузоподъемности транспортного средства, то

$$\lambda_{\text{к}} = m/t_m.$$

Интенсивность обслуживания указанных требований транспортными средствами

$$\mu_{\text{к}} = 1/t_{\text{нв}}.$$

После определения $\alpha_{\text{к}} = \lambda_{\text{к}}/\mu_{\text{к}}$ рассчитаем по формуле (16.27) вероятность отказа в транспортном обслуживании $P_{\text{отк}}$, а по формуле (16.28) вероятность простоя транспортных средств P_0 . Задавая приемлемое в заданных условиях эффективное значение вероятности отказа $P_{\text{отк.э}}$, найдем соответствующее эффективное число n , транспортных средств в уборочно-транспортном звене. Требуемый объем (вместимость) межсменного компенсатора $\Omega_{\text{км}}$ в виде резервных прицепов, располагаемых на убираемом поле, вычислим по выражению (16.30) при $\gamma_{\text{б}} = Q_{\text{ГН}} k_{\text{Г}}/\rho$:

$$\Omega_{\text{км}} = \frac{m \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см.м}} \cdot \Omega_{\text{б}} \cdot \gamma_{\text{б}} \cdot P_{\text{отк.э}}}{\gamma_{\text{к}} \cdot t_m},$$

где $\gamma_k = 0,98$ – коэффициент заполнения (использования вместимости) компенсатора.

Требуемое число резервных прицепов

$$n_{рп} = \frac{\Omega_{км}}{\Omega_{ку}} = \frac{\Omega_{км} \cdot \rho \cdot \gamma_k}{Q_{гн} \cdot k_{г}}, \quad (18.4)$$

где $Q_{ку}$ – объем кузова прицепа, м³.

Эффективную взаимосвязанную работу картофелеуборочных комбайнов, транспортных средств и сортировального пункта в уборочно-транспортном звене можно обеспечить из условия их взаимосвязанной поточной работы (упрощенный вариант). При этом необходимо определить число комбайнов m_{a1} , обслуживаемых одним сортировальным пунктом:

$$m_{a1} = \frac{W_c \cdot k_{см.с}}{W_m \cdot U \cdot k_{см.м}}. \quad (18.5)$$

По значению m_{a1} можно найти число уборочно-транспортных звеньев, обслуживаемых одним высокопроизводительным сортировальным пунктом. Более точное значение m_{a1} получают методами теории массового обслуживания. При этом считают, что на сортировальный пункт прибывает простейший вероятностный поток транспортных средств с интенсивностью

$$\lambda_a = \frac{m_{a1} \cdot W_m \cdot U}{Q_{гн} \cdot k_{г}}. \quad (18.6)$$

Интенсивность обслуживания указанных требований сортировальным пунктом

$$\mu_a = \frac{W_c}{Q_{ГН} \cdot k_{Г}}$$

Затем на основании формул (16.34), (16.35) и (17.9) определяют эффективные сочетания величин m_{al} , $P_{отк.э}$ и $\Omega_{ка}$ при $t_{ку} = t_m$. Под $Q_{ка}$ подразумевают общий объем (вместимость) приемных бункеров и площадок сортировального пункта с соответствующей массой клубней:

$$Q_{ка} = \Omega_{ка} \cdot \gamma_k \cdot \rho. \quad (18.7)$$

Задачи обеспечения эффективной работы составленных уборочно-транспортных звеньев решают методами операционной технологии уборки картофеля, включая выбор способа движения уборочных агрегатов и соответствующую подготовку поля – уборку возможных препятствий и картофеля с поворотных полос, ширина которых должна быть не менее **10** м. При прямом комбайнировании применяют **беспетлевой комбинированный** способ движения комбайнов, при котором каждый загон разбивают на четыре равные части по **16, 18** и **32** рядка соответственно для **двух-, трех-, четырехрядных** комбайнов. Каждый комбайн при этом должен работать на отдельном загоне. Направление движения комбайна при попарной обработке частей загона следует выбрать таким образом, чтобы убранный часть поля находилась с правой стороны – со стороны выгрузки клубней в кузов транспортного средства. На каждой паре частей загона комбайн должен двигаться в разных направлениях – по ходу и против хода часовой стрелки, чтобы исключить односторонний износ механизмов управления при меньшей утомляемости водителя.

Качество работы картофелеуборочных комбайнов оценивают балльным способом по следующим основным показателям:

- потери клубней, % (до 3, 3-5, более 5);
- засоренность клубней, % (до 10, 11-20);
- повреждение клубней, % (до 8, 8-12, 13-20, более 20);

- резаные клубни, % (до 1, 1-2, более 2).

Баллы, соответствующие каждому значению показателей качества, суммируют и выставляют общую оценку по аналогии с предыдущими заданиями.

Пример расчета варианта задания №30

1. Выписываем из таблицы 17.1 исходные данные варианта №30.

Таблица 18.1

№ варианта	Длина гона, м	Площадь поля и общая (Σ), га	Урожайность, т/га	Расстояние транспортировки, км	Способ уборки
30	550	6 (30)	17	4	Комбинированный

2. Выбираем эффективную технологию уборки картофеля. В нашем случае, в соответствии с заданием, выбираем поточную технологию с сортированием клубней с комбинированным способом уборки (стр. 6...7).

Поточная технология уборки предусматривает непрерывную взаимосвязанную работу всех машин и агрегатов от выкапывания клубней до их закладки на хранение.

Комбинированный способ уборки картофеля целесообразно применять на легких почвах при урожайности до **18** т/га. При этом клубни из двух или четырех рядков укладывают картофелекопателем-валкоукладчиком в междурядье двух соседних рядков соответственно по схемам **2 + 2** и **2 + 4**, а затем убирают комбайном.

Перед уборкой картофеля любым способом предусматривается удаление ботвы (если она сохранена до начала уборки) косилками-измельчителями.

3. **Уборку** картофеля рекомендуют проводить при соблюдении следующих агротехнических требований (стр. 7):

- сроки уборки до **15** календарных дней при среднесуточной температуре воздуха более **5°C**;

- уборка ботвы за **4-5** дней до уборки продовольственного картофеля;

- потери клубней после прохода комбайна до **3%**;

- чистота клубней не менее **80%**;

- механические повреждения клубней до **10%**;

- высота среза ботвы не более **20** см.

4. Выбираем эффективные ресурсосберегающие агрегаты.

Для уборки ботвы принимаем МТЗ-80+КИР-1,5Б, (стр. 7).

Для уборки картофеля при длине гона 400...600 м (стр. 9), выбираем картофелеуборочный комбайн КПК-3 + МТЗ-80 и картофелекопатель УКВ-2.

В качестве транспортных средств при прямой транспортировке клубней от комбайнов (стр. 10...11) и урожайности менее 20 т/га принимаем МТЗ-80+2ПТС-4-887Б.

Для послеуборочной доработки клубней выбираем картофелесортировальный пункт КСП-15 (стр. 12).

Закладка картофеля на хранение в пределах данной работы не предусматривается.

5. Определяем по формуле (18.1) производительность картофелеуборочного агрегата, с учетом, что

$B = 2,1$ м – ширина захвата агрегата (таб. 18.4);

$V = 1,5$ м/с – скорость движения (таб. 18.10);

$P_m = 0,7$ га/ч – чистая производительность агрегата (таб. 18.4).

$$W_m = 0,36 \cdot 2,1 \cdot 1,5 \cdot 0,466 = 0,528 \text{ га/ч.}$$

Производительность КИР-1,5 $W_k = 0,4$ га/ч (стр.15).

Производительность УКВ-2 $W_n = 0,487$ га/ч, при длине гона $L = 550$ м (таб. 18.1).

6. Определяем по формуле (18.2) время заполнения клубнями кузова транспортного средства при

$Q_{\text{ГН}} = 4\text{т}$ – номинальная грузоподъемность транспортного средства (стр. 10);

$k_{\text{Г}} = 1$ – коэффициент использования грузоподъемности (стр. 15);

$u = 17\text{ т/га}$ – урожайность картофеля (в задании).

$$t_{\text{в}} = \frac{4 \cdot 1}{17 \cdot 0,528} = \frac{4}{8,976} = 0,445\text{ч.}$$

7. Определяем по формуле (16.5) производительность транспортного агрегата при

$l_{\text{Г}} = 4\text{ км}$ - расстояние перевозки (в задании);

$V_{\text{тех.}} = 19\text{ км/ч}$ – техническая скорость движения (стр. 15);

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

$$\begin{aligned} W_n &= \frac{Q_{\text{ГН}} \cdot k_{\text{Г}}}{t_n} = \frac{Q_{\text{ГН}} \cdot k_{\text{Г}}}{\frac{2 \cdot l_{\text{Г}}}{V_{\text{тех}}} + t_{\text{в}} + t_{\text{раз}}} = \frac{4 \cdot 1}{\frac{2 \cdot 4}{19} + 0,445 + 0,12} = \frac{4}{0,421 + 0,445 + 0,12} \\ &= \frac{4}{0,986} = 4,06\text{т/ч.} \end{aligned}$$

8. Определяем по формуле (18. 3) производительность сортировального пункта при

$\Pi_{\text{с}} = 15\text{ т/ч}$ – чистая производительность сортировального пункта (таб. 18.6);

$\tau_{\text{с}} = 0,84$ – коэффициент использования времени смены (стр. 15).

$$W_{\text{с}} = 15 \cdot 0,84 = 12,6\text{ т/ч.}$$

9. Определяем по формулам (12.1) и (12.8) нормативное (в расчете на 100 га) $m_{\text{н}\Sigma}$ и общее m_{Σ} число картофелеуборочных комбайнов, но в формулах u не учитывать

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

$F_{\Sigma} = 30$ га – суммарный объем работ (в задании);

$D_k = 15$ дней – продолжительность уборки (стр. 13);

$\alpha_k = 0,83$ – коэффициент использования календарного времени;

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

$k_{cmm} = 1,5$ – коэффициент сменности;

$\gamma_{г.м} = 0,93$ – коэффициент готовности комбайнов.

$$m_{H\Sigma} = \frac{F_{H\Sigma}}{D_k \cdot \alpha_k \cdot W_m \cdot T_{cm} \cdot k_{cmm} \cdot \gamma_{г.м}} = \frac{100}{15 \cdot 0,83 \cdot 0,528 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 0,93} = \frac{100}{64,18} \\ = 1,55$$

$$m_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} \cdot m_{H\Sigma} = \frac{30}{100} \cdot 1,55 = \frac{46,5}{100} = 0,465 \approx 1.$$

10. Определяем по формулам (16.4) нормативные $n_{H\Sigma}$ и общие n_{Σ} требуемые числа косилок-измельчителей КИР-1,5 с учетом поточной работы их с картофелеуборочными агрегатами при $k_{cm.m} = k_{cm.n} = 1,5$, но в формулах **u** не учитывать

$$n_{H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1,55 \cdot 0,528 \cdot 1,5}{0,4 \cdot 1,5} = \frac{1,2276}{0,6} = 2,04 \\ n_{\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 1,5}{0,6} = \frac{0,792}{0,6} = 1,32 \approx 2.$$

11. Определяем по формулам (16.4) нормативные $m_{H\Sigma}$ и общие m_{Σ} требуемые числа картофелекопателей УКВ-2 с учетом поточной работы их с картофелеуборочными агрегатами при $k_{cm.m} = k_{cm.n} = 1,5$ (стр. 14).

$$m_{H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1,55 \cdot 0,528 \cdot 1,5}{0,487 \cdot 1,5} = \frac{1,2276}{0,73} = 1,68; \\ m_{\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 1,5}{0,73} = \frac{0,792}{0,73} = 1,08 \approx 2.$$

12. Определяем по формулам (16. 4) нормативное $n_{H\Sigma}$ и общее n_{Σ} числа транспортных средств для перевозки картофеля от комбайнов на сортировальные пункты при $k_{\Gamma} = 1$, $k_{cmn} = 1,5$ (стр. 15).

$$n_{H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1,55 \cdot 0,528 \cdot 17 \cdot 1,5}{4,06 \cdot 1,5} = \frac{20,87}{6,09} = 3,42;$$

$$n_{\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 17 \cdot 1,5}{6,09} = \frac{13,464}{6,09} = 2,21 \approx 3.$$

13. Определяем по формулам (16. 4) нормативное $n_{H\Sigma}$ и общее n_{Σ} числа сортировальных пунктов из условия поточной работы их с комбайнами при коэффициенте сменности пункта $k_{cm.c} = 1,5 \dots 2$ (стр. 15).

$$n_{H\Sigma} = \frac{m_{H\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1,55 \cdot 0,528 \cdot 17 \cdot 1,5}{12,6 \cdot 1,5} = \frac{20,87}{18,9} = 1,1;$$

$$n_{\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \cdot W_m \cdot U \cdot k_{cm.m}}{W_n \cdot k_{cm.n}} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 17 \cdot 1,5}{18,9} = \frac{13,464}{18,9} = 0,712 \approx 1.$$

14. Определяем по формуле (13.1) число картофелеуборочных комбайнов m в уборочно-транспортном звене при

$F_{\Pi} = 6$ га – площадь одного поля (в задании);

$D_{\Pi} = 1-3$ дня – продолжительность уборки (стр. 16);

$T_{cm} = 7$ ч;

$k_{cmn} = 1,5$.

$$m_{зв} = \frac{F_{\Pi}}{D_{\Pi} \cdot W_m \cdot T_{cm} \cdot k_{cm}} = \frac{6}{2 \cdot 0,528 \cdot 7 \cdot 1,5} = \frac{6}{11,08} = 0,54 \approx 1.$$

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

15. Определяем по формуле (16.8) число косилок-измельчителей КИР-1,5 n_k и картофелекопателей n_{Π} в уборочно-транспортных звеньях с учетом ранее полученных значений их производительности W_k и W_{Π} при $k_{cmk} = k_{cm\Pi} = 1,5$ без учета урожайности.

$$n_k = \frac{m_{зв} \cdot W_m \cdot k_{см.м.}}{W_k \cdot k_{см.к}} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 1,5}{0,4 \cdot 1,5} = \frac{0,792}{0,6} = 1,32 \approx 2;$$

$$m_{п} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 1,5}{0,487 \cdot 1,5} = \frac{0,792}{0,73} = 1,08 \approx 2.$$

16. Определяем по формуле (16. 8) число транспортных средств n и сортировальных пунктов n_c с учетом приведенных ранее их производительностей W_n и W_c при $k_{см.п} = 1,5$, $k_{смс} = 1,5...2$ и урожайности $u = 17$ т/га из таблицы 18.1.

$$n = \frac{m_{зв} \cdot W_m \cdot u \cdot k_{см.м.}}{W_n \cdot k_{см.н}} = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 17 \cdot 1,5}{4,06 \cdot 1,5} = \frac{13,464}{6,09} = 2,21 \approx 3;$$

$$n_c = \frac{1 \cdot 0,528 \cdot 17 \cdot 1,5}{12,6 \cdot 1,5} = \frac{13,464}{18,9} = 0,712 \approx 1.$$

17. Определяем по формуле (16. 16) среднюю продолжительность рейса, учитывая, что

$l_{гп} = 4$ км – расстояние перевозки, (в задании);

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

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

$$t_{н.вп} = \frac{2 \cdot l_{г}}{V_{тех.}} + t_{раз.} = \frac{2 \cdot 4}{19} + 0,12 = 0,421 + 0,12 = 0,541 \text{ч.}$$

18. Определяем по формуле (стр. 17) число бункеров n_b комбайна, по объему соответствующее кузову одного транспортного средства грузоподъемностью $Q_{гн} = 4$ т (стр. 10) при

$k_r = 1$ – коэффициент использования грузоподъемности (стр. 15);

$\Omega_b = 2,2$ м³ - вместимость бункера (таб. 18.4);

$\rho = 0,68$ т/м³ - плотность картофеля;

$\gamma_b = 0,98$.

$$n_b = \frac{Q_{гн} \cdot k_r}{\Omega_b \cdot \rho \cdot \gamma_b} = \frac{4 \cdot 1}{2,2 \cdot 0,68 \cdot 0,98} = \frac{4}{1,466} = 2,72$$

19. Определяем по формуле (17.6) продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства при

$t_{\pi} = 0,0194$ ч - продолжительность одного поворота комбайна (стр. 17);

$t_{\text{в}} = 0,027$ ч - время выгрузки клубней.

$$\begin{aligned}
 t_m &= n_{\text{с}} \cdot \left[\frac{\Omega_{\text{с}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{с}}}{0,36 \cdot B \cdot U \cdot v} + \left(\frac{10^4 \cdot \Omega_{\text{с}} \cdot \rho \cdot \gamma_{\text{с}}}{L \cdot B \cdot U} - 1 \right) \cdot t_{\pi} + t_{\text{в}} \right] \\
 &= 2,72 \\
 &\cdot \left[\frac{2,2 \cdot 0,68 \cdot 0,98}{0,36 \cdot 2,1 \cdot 17 \cdot 1,5} + \left(\frac{10^4 \cdot 2,2 \cdot 0,68 \cdot 0,98}{550 \cdot 2,1 \cdot 17} - 1 \right) \cdot 0,0194 + 0,027 \right] \\
 &= 2,72 \cdot \left[\frac{1,466}{19,278} + \left(\frac{14660}{19635} - 1 \right) \cdot 0,0194 + 0,027 \right] \\
 &= 2,72 \cdot [0,076 - 0,0049 + 0,027] = 2,72 \cdot 0,098 = 0,266 \text{ ч.}
 \end{aligned}$$

20. Определяем по формуле (стр. 16) интенсивность $\lambda = 1/t_{\text{нв}}$ прибытия транспортных средств к комбайнам

$$\lambda = 1/t_{\text{нв}} = 1/0,541 = 1,85 \text{ 1/ч.}$$

21. Определяем по формуле (стр. 16) интенсивность обслуживания $\mu = 1/t_m$ комбайном транспортных средств

$$\mu = 1/t_m = 1/0,266 = 3,76 \text{ 1/ч.}$$

$$\text{Тогда } \alpha = \lambda/\mu = 1,85/3,76 = 0,492$$

22. Определяем по формуле (16. 13) вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства в момент заполнения бункера клубнями. Так как в нашем звене три транспортных агрегата (п.16), то расчеты выполняем три раза.

При $n = 1$

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

$$P_{m01} = \frac{1}{1+1 \cdot 0,492} = \frac{1}{1,492} = 0,67.$$

При $n = 2$

$$P_{m02} = \frac{1}{1 + 2 \cdot 0,492 + 2 \cdot (2 - 1) \cdot 0,492^2} = \frac{1}{1 + 0,984 + 2 \cdot 0,242} \\ = \frac{1}{1,984 + 0,484} = \frac{1}{2,468} = 0,405.$$

При $n = 3$

$$P_{m03} = \frac{1}{1 + 3 \cdot 0,492 + 3 \cdot (3 - 1) \cdot 0,492^2 + 3 \cdot (3 - 1) \cdot (3 - 2) \cdot 0,492^3} \\ = \frac{1}{1 + 1,476 + 6 \cdot 0,242 + 6 \cdot 0,119} = \frac{1}{2,476 + 1,452 + 0,714} \\ = \frac{1}{4,642} = 0,215.$$

23. Определяем по формуле (16. 14) среднее число простаивающих транспортных средств

$$n_0 = n - (1 - P_{m0}) \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = n_{01} = 1 - (1 - 0,67) \cdot \left(1 + \frac{1}{0,492}\right) = 1 - \\ 0,33 \cdot 3,032 = 1 - 1 = 0;$$

$$n_{02} = 2 - (1 - 0,405) \cdot 3,032 = 2 - 0,595 \cdot 3,032 = 2 - 1,804 = 0,195.$$

$$n_{03} = 3 - (1 - 0,215) \cdot 3,032 = 3 - 0,785 \cdot 3,032 = 3 - 2,38 = 0,619.$$

24. Определяем по формуле (16. 12) критерий оптимальности, с учетом, что $\frac{C_m}{C_n} = 2,069$, (стр. 16)

$$\overline{C_{mn}} = P_{m0} \cdot \frac{C_m}{C_n} + n_0 \rightarrow \min = \overline{C_{mn1}} = 0,67 \cdot 2,069 + 0 = 1,386;$$

$$\overline{C_{mn2}} = 0,405 \cdot 2,069 + 0,195 = 0,837 + 0,195 = 1,033.$$

$$\overline{C_{mn3}} = 0,215 \cdot 2,069 + 0,619 = 0,444 + 0,619 = 1,063.$$

Из полученных результатов видно, что минимум затрат $\overline{C_{mn.min}} = \overline{C_{mn2}} = 1,033$ имеет место при $n_{opt} = n_2 = 2$, т.е. при двух транспортных агрегатах для перевозки клубней.

25. Определяем по формуле (16.21) оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена, с учетом $n_{opt.} = 2$;

$\varphi_k = 1$ – поправочный коэффициент при $m = 1 \dots 2$ (см. (16. 21)).

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

26. Определяем по формуле (16. 22) коэффициенты простоя комбайнов k_m и транспортных средств k_n , с учетом, что $m_0 = P_{mo2} = 0,405$; $m = 1$; $n = 2$; $n_{o.2} = 0,195$.

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

$$k_{m.} = 0,405/1 = 0,405; \quad k_{n.} = 0,195/2 = 0,097.$$

27. Определяем по формуле плотность потока требований в виде порций клубней массой, соответствующей грузоподъемности транспортного средства принимая,

$t_m = 0,266$ ч – время заполнения кузова клубнями одного транспортного средства, (п. 19);

$$\lambda_k = m/t_m = 1/0,266 = 3,759 \quad 1/\text{ч}$$

28. Определяем интенсивность обслуживания этих требований каждым транспортным средством, $t_{n.в} = 0,541$ ч (п. 17).

$$\mu_k = \frac{1}{t_{n.в}} = \frac{1}{0,541} = 1,848 \quad 1/\text{ч}.$$

С учетом полученных результатов

$$\alpha_k = \lambda_k/\mu_k = 3,759/1,848 = 2,034.$$

29. Определяем по формуле (16. 28) вероятность одновременного простоя всех транспортных средств звена, из-за отсутствия заполнения прицепов, при $n = 2$ (п. 25).

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{1!} + \frac{\alpha^2}{2!} + \dots + \frac{\alpha^n}{n!}} = P_{01} = \frac{1}{1 + \frac{2,034}{1} + \frac{2,034^2}{1 \cdot 2}} = \frac{1}{1 + 2,034 + \frac{4,137}{2}}$$

$$= \frac{1}{3,034 + 2,068} = \frac{1}{5,102} = 0,196.$$

30. Определяем по формуле (16.27) вероятность отказа в обслуживании

$$P_{\text{отк}} = \frac{\alpha^n}{n!} \cdot P_0 = \frac{2,034^2}{1 \cdot 2} \cdot 0,196 = \frac{4,137}{2} \cdot 0,196 = 2,068 \cdot 0,196 = 0,405.$$

31. Определяем по формуле (16.30) вместимость межсменного компенсатора (стр.18), с учетом

$\Omega_6 = 2,2 \text{ м}^3$; $k_{\text{см.м}} = 1,5$ (п.9); $t_m = 0,266\text{ч}$, (п.19); $m = 1$; $\gamma_6 = \gamma_k = 0,98$ – коэффициент заполнения компенсатора, (стр.18).

$$\Omega_{\text{км.п}} = \frac{m \cdot T_{\text{см}} \cdot k_{\text{см.м}} \cdot \Omega_6 \cdot \gamma_6 \cdot P_{\text{отк.э}}}{\gamma_k \cdot t_m} = \frac{1 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 2,2 \cdot 0,405}{0,98 \cdot 0,266} = \frac{9,168}{0,260} =$$

$35,26\text{м}^3$.

32. Определяем по формуле (18.4) число резервных прицепов принимая

$Q_{\text{гн}} = 4\text{т}$; $k_{\text{г}} = 1$; $\rho = 0,68 \text{ т/м}^3$ - плотность картофеля (п. 18).

$$\Omega_{\text{ку}} = \frac{Q_{\text{гн}} \cdot k_{\text{г}}}{\rho} = \frac{4 \cdot 1}{0,68} = 5,88\text{м}^3;$$

$$n_{\text{рп}} = \frac{\Omega_{\text{км.п}}}{\Omega_{\text{ку}}} = \frac{35,26}{5,88} = 6.$$

33. Определяем по формуле (18.5) число комбайнов m_{a1} , обслуживаемых одним сортировальным пунктом, с учетом, что

$W_c = 12,6\text{т/ч}$ – производительность КСП-15, (п.8);

$k_{\text{см.с}} = k_{\text{см.м}} = 1,5$;

$W_m = 0,528\text{га/ч}$ – производительность комбайна (п.5).

$$m_{a1} = \frac{W_c \cdot k_{\text{см.с}}}{W_m \cdot u \cdot k_{\text{см.м}}} = \frac{12,6 \cdot 1,5}{0,528 \cdot 17 \cdot 1,5} = \frac{18,9}{13,46} = 1,4.$$

34. Определяем по формуле (18.6) среднюю плотность потока λ_a транспортных средств, прибывающих на сортировальный пункт.

$$\lambda_a = \frac{1,4 \cdot 0,528 \cdot 17}{4 \cdot 1} = \frac{12,56}{4} = 3,14 \text{ 1/ч.}$$

35. Определяем по формуле (16.33) интенсивность обслуживания указанных требований сортировальным пунктом

$$\mu_a = \frac{1}{t_{na}} = \frac{W_c}{Q_{ГН} \cdot k_{Г}} = \frac{12,6}{4 \cdot 1} = 3,15 \text{ 1/ч.}$$

36. Определяем по формуле (16.34) вероятности $P_{отк.а}$ отказа в приеме транспортных средств с клубнями и $P_{оа}$ простоя агрегата для послеуборочной обработки

$$P_{отк.а} = \frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} = \frac{3,14}{3,14 + 3,15} = \frac{3,14}{6,29} = 0,499;$$

$$P_{оа} = \frac{\mu_a}{\lambda_a + \mu_a} = \frac{3,15}{6,29} = 0,5.$$

37. Определяем по формуле (16.35) требуемую вместимость технологического компенсатора на сортировальном пункте, $\gamma_{км} = 0,98$ – коэффициент использования вместимости компенсатора,

$$\begin{aligned} \Omega_{км} &= \frac{m_{a1} \cdot T_{см} \cdot k_{см.м} \cdot Q_б \cdot \gamma_б}{\gamma_{км} \cdot t_m} \cdot \left(\frac{\lambda_a}{\lambda_a + \mu_a} \right) \\ &= \frac{1,4 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 2,2 \cdot 0,98}{0,98 \cdot 0,266} \cdot \left(\frac{3,14}{3,14 + 3,15} \right) = \frac{31,693}{0,26} \cdot 0,499 = \frac{15,81}{0,26} \\ &= 60,8 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

38. Определяем по формуле (18.7) общий объем приемных бункеров и площадок сортировального пункта

$$Q_{\text{ка}} = 60,8 \cdot 0,98 \cdot 0,68 = 40,5 \text{ м}^3.$$

39. Определяем по формуле (17.9) потребную площадь технологического компенсатора $F_{\text{км}}$ получим из (17.8) с учетом допустимой толщины $h_{\text{км}}$ слоя картофеля.

Принимаем $h_{\text{км}} = 1,0 \text{ м}$.

$$F_{\text{км}} = \frac{Q_{\text{км}}}{h_{\text{км}}} = 60,8/1,0 = 61 \text{ м}^2.$$

40. Качество работы картофелеуборочных комбайнов оценивают балльным способом по следующим основным показателям:

- потери клубней, % (до 3, 3-5, более 5);
- засоренность клубней, % (до 10, 11-20);
- повреждение клубней, % (до 8, 8-12, 13-20, более 20);
- резаные клубни, % (до 1, 1-2, более 2).

Баллы, соответствующие каждому значению показателей качества, суммируют и выставляют общую оценку по аналогии с предыдущими заданиями.

Отчет

Результаты расчетов систематизировать и представить в виде таблицы 18.12. Сделать выводы по каждому пункту расчетов.

Таблица 18.12

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Картофелеуборочный комбайн Картофелекопатель	КПК – 3+МТЗ-80 УКВ-2
2	Ботвоуборочный агрегат	МТЗ-80+КИР-1,5
3	Рабочая ширина захвата, B_p	2,1 м
4	Скорость движения комбайна, V	1,5 м/с

Продолжение таблицы 18.12

5	Коэффициент использования времени смены, τ	0,466
6	Урожайность, u	17т/га
7	Транспортный агрегат	МТЗ-80+2ПТС-4-887
8	Номинальная грузоподъемность, $Q_{гн}$	4 т
9	Скорость движения, $V_{тех.}$	19 км/ч
10	Коэффициент использования грузоподъемности, $k_{г}$	1
11	Агрегат для послеуборочной обработки початков	КСП-15
12	Производительность картофелеуборочного комбайна, W_m Картофелекопателя W_m	0,528 га/ч 0,487 га/ч
13	Нормативное число комбайнов, $m_{н\sum}$ УКВ-2, $m_{н\sum}$	1,55 1,68
14	Целое число комбайнов для своей площади, m_{\sum} УКВ-2, m_{\sum}	1 2
15	Производительность транспортного агрегата, W_n	4,06 т/ч
16	Производительность КИР-1,5, W_k	0,4 га/ч
17	Нормативное число транспортных средств, $n_{н\sum}$	3,42
18	Общее число транспортных средств, n_{\sum}	3
19	Нормативное число КИР-1,5, $n_{н\sum}$	2,04
20	Общее число КИР-1,5, n_{\sum}	2
21	Производительность КСП-15, W_k	12,6 т/ч
22	Нормативное число КСП-15, $n_{н\sum}$	1,1
23	Общее число КСП-15, n_{\sum}	1
24	Число комбайнов уборочно-транспортном звене, m УКВ-2, m_n	1 2
25	Число КИР-1,5 в звене, n_k	2
26	Число транспортных средств в звене, n	3
27	Общее число в звене КСП-15, n_c	1
28	Средняя продолжительность рейса транспортного средства, $t_{нв}$	0,541ч
29	Число бункеров n_b комбайна, соответствующее кузову одного транспортного средства, n_b	2,72
30	Время заполнения кузова клубнями, t_b	0,445 ч
32	Средняя продолжительность обслуживания комбайном одного транспортного средства, t_m	0,266 ч
34	Интенсивность обслуживания транспортных средств комбайном, μ	3,76 1/ч
36	Интенсивность прибытия каждого транспортного средства к комбайну, λ	1,85 1/ч
38	Отношение $\alpha = \lambda/\mu$	0,492

Продолжение таблицы 18.12

41	Вероятность простоя комбайна из-за отсутствия транспортного средства, P_{m0}	$P_{m01} = 0,67$ $P_{m02} = 0,405$ $P_{m03} = 0,215$
43	Среднее число простаивающих транспортных средств, n_0	$n_{01} = 0$ $n_{02} = 0,195$ $n_{03} = 0,619$
45	Критерий оптимальности, $\overline{C_{mn}}$	$\overline{C_{mn1}} = 1,386$ $\overline{C_{mn2}} = 1,033$ $\overline{C_{mn3}} = 1,063$
46	Оптимальное число транспортных средств для всего уборочно-транспортного звена, n_{opt}	$n_{opt} = 2$
47	Коэффициент простоя комбайна, k_m	$k_m = 0,405$
48	Коэффициент простоя транспортных средств, k_n	$k_{n.п} = 0,097$
49	Плотность потока требований в виде порций клубней, соответствующих вместимости кузова, λ_k	3,759 1/ч
51	Интенсивность этих требований каждым транспортным средством, μ_k	$\mu_k = 1,848$ 1/ч
52	Отношение $\alpha_k = \lambda_k / \mu_k$	$\alpha_k = 2,034$
53	Вероятность одновременного простоя всех транспортных средств из-за отсутствия заполнения прицепов, P_0	$P_{01} = 0,196$
54	Вероятность отказа в обслуживании, $P_{отк}$	$P_{отк.} = 0,405$
55	Требуемая вместимость межсменного компенсатора, $\Omega_{км.п}$	35,26 м ³
56	Число комбайнов обслуживаемых одним агрегатом КСП-15, m_{a1}	1,4
57	Плотность потока транспортных средств, прибывающих на сортировальный пункт, λ_a	3,14 1/ч
58	Интенсивность, соответствующую одному требованию на послеуборочную обработку, μ_a	3,15 1/ч
59	Вероятность отказа в приеме транспортных средств с клубнями, $P_{отк.а}$	0,499
60	Вероятность простоя агрегата для послеуборочной обработки, P_{oa}	0,5
61	Вместимость технологического компенсатора на КСП, $\Omega_{км}$	40,5 м ³
62	Потребная площадь технологического компенсатора, $F_{км}$	61 м ²

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 КАРТОФЕЛЯ

Методические указания
для выполнения практической работы № 18
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. 2,20. Тираж 25 экз. Изд. № 7198.

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