

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ФГБОУ ВО БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АГРОБИЗНЕСЕ  
ПРИРОДООБУСТРОЙСТВЕ И ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Самусенко В. И.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Методические указания для выполнения  
практической работы №12  
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»  
студентам инженерно-технологического института  
по направлению подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия»

Брянск 2021

УДК 631.333 (076)  
ББК 40.724  
С 17

Самусенко, В. И. Оптимизация внесения твердых органических и минеральных удобрений: методические указания для выполнения практической работы № 12 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, 2021. - 23 с.

Методические указания предназначены для выполнения практической работы по обоснованию современных методов оптимизации внесения твердых органических и минеральных удобрений, на основе общих принципов операционной технологии выполнения полевых механизированных работ. Для студентов инженерно-технологического института.

Рецензент: к.т.н., доцент Кузюр В.М.

Рекомендовано к изданию решением методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 5 от 26 февраля 2021 года.

© Брянский ГАУ, 2021  
© Самусенко В.И., 2021

## Содержание

ЦЕЛЬ РАБОТЫ .....	стр. 4
СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ .....	4
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	5
ПРИМЕР РАСЧЕТА.....	16
ОТЧЕТ .....	20
ЛИТЕРАТУРА.....	22

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

### Содержание задания

1. Выписать из таблицы 12.1 исходные данные по соответствующему варианту задания.

Таблица 12.1

#### Примерные варианты заданий

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

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

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

## **Последовательность выполнения работы**

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

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

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

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

Наибольший объем работы с участием большого числа людей и техники характерен для основного внесения удобрений, на примере которого и рассмотрены методы решения соответствующих задач. Высокая напряженность работы в данном случае обусловлена большими дозами внесения удобрений (10-60 т/га органических и до 1,5 т/га минеральных) при значительных (до 20 км) расстояниях транспортировки. В отдельных случаях возможны и более высокие дозы внесения удобрений указанных видов (соответственно до 100 и 2 т/га).

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

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

Основное внесение удобрений выполняют в зависимости от природно-производственных условий по одной из следующих технологических схем (рис. 12.1): **прямоточной; перегрузочной; перевалочной; двухфазной**. Для удоб-

рений обоих видов наиболее распространена прямоточная технология, которую целесообразно выбрать в качестве эффективной с учетом универсальности, меньшего расхода ресурсов, сжатых сроков выполнения при участии меньшего числа специальных агрегатов. Следует отметить, что элементы прямоточной технологии входят в состав и других технологических схем.



Рис. 12.1 - Технологические схемы основного внесения удобрений

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

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

Ресурсосберегающие агрегаты для внесения удобрений по выбранной прямоточной технологии следует обосновать по методикам, изложенным в заданиях 4, 6...8. Каждый разбрасыватель удобрений агрегируют в основном с трактором одной и той же марки, поэтому задача сводится к выбору ресурсосберегающего агрегата в зависимости от условий работы с учетом дозы внесения удобрений и расстояния транспортировки. Составы агрегатов для основного внесения удобрений приведены в таблице 12.2.

Расчетные оптимальные грузоподъемности разбрасывателей удобрений, отвечающие требованиям ресурсосбережения и высокой производительности в зависимости от дозы внесения и расстояния транспортировки, определены в заданиях 4 и 8 и приведены в таблицах 12.3, 12.4.

Данные таблиц 12.3 и 12.4 для удобства пользования округлены до значений грузоподъемностей соответствующих разбрасывателей, указанных в таблице 12.2.

Таблица 12.2

**Агрегаты для основного внесения удобрений**

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

Таблица 12.3

**Оптимальные грузоподъемности разбрасывателей твердых органических удобрений**

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

Таблица 12.4

### Значения оптимальной грузоподъемности разбрасывателей твердых минеральных удобрений

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

Ресурсосберегающий агрегат следует выбрать в такой последовательности. В зависимости от заданной дозы внесения удобрений (см. табл. 12.1) и расстояния перевозки транспортировки (табл. 12.3 или 12.4) сначала принимаем оптимальную грузоподъемность, а затем по таблице 12.2 выбираем соответствующий агрегат. Например, при дозе внесения органических удобрений 40 т/га и расстоянии перевозки 2 км по таблице 12.3 определяем оптимальную грузоподъемность, которой по таблице 12.2 соответствует агрегат Т-150К + ПРТ-10.

Примерные скорости движения агрегатов для соответствующих режимов работы по нормативным данным приведены в таблице 12.5.

Таблица 12.5

### Скорости движения агрегатов для внесения удобрений

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

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

Для своевременного выполнения всего объема работ по внесению удобрений важно определить общее требуемое число агрегатов, включая разбрасыватели и погрузчики, применительно к прямоточной технологии. Поскольку удобряемые площади полей в хозяйствах существенно различаются, то расчеты целесообразно проводить применительно к нормативной площади, которую



можно принять равной 100 га. Тогда нормативное требуемое число разбрасывателей удобрений (агрегатов):

$$m_{H\Sigma} = \frac{u F_{H\Sigma}}{D_K \alpha_K W_m T_{CM} k_{CM.T} \gamma_{GT}}, \quad (12.1)$$

где  $u$  – доза внесения удобрений, т/га;

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

$D_K$  – число календарных дней внесения удобрений;

$\alpha_K$  – коэффициент использования календарного времени;

$W_m$  – производительность разбрасывателя удобрений, т/ч;

$T_{CM}$  – продолжительность смены, ч;

$k_{CM.T}$  – коэффициент сменности;

$\gamma_{GT}$  – коэффициент готовности разбрасывателей удобрений.

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

В расчетах можно использовать средние значения  $\alpha_K = 0,9$ ,  $\gamma_{GT} = 0,98$ ,  $T_{CM} = 7$  ч. Значения остальных величин указаны в таблице 12.1. Производительность агрегата  $W_m$  при отсутствии нормативных данных можно рассчитать по упрощенной формуле:

$$W_m = \frac{Q_{ГН} k_{Г}}{t_{Г}} = \frac{Q_{ГН} k_{Г}}{\frac{l_{Г}}{v_{Г}} + \frac{l_{Г}}{v_{x}} + \frac{l_{р}}{10^3 v} + n_{п.о} t_{п.о} + t_{п} + t_{ож}}, \quad (12.2)$$

где  $Q_{ГН}$  – грузоподъемность выбранного ранее разбрасывателя, т;

$k_{Г}$  – коэффициент использования грузоподъемности,  $k_{Г} = 1$ , так как удобрения относятся к грузам первого класса;

$t_{Г}$  – общая продолжительность одного технологического цикла разбрасывателей удобрений, ч;

$l_{Г}$  – расстояние транспортировки удобрений до поля, км;

$l_{р}$  – длина рабочего пути при разбрасывании удобрений по полю, м;

$v_{Г}, v_{x}, v$  – скорости движения агрегата соответственно с грузом, без груза и при внесении удобрений, км/ч;

$n_{п.о}$  – число поворотов агрегата за один цикл;

$t_{п.о}$  – продолжительность одного поворота, ч;

$t_{п}$  – продолжительность одной погрузки удобрений, ч;

$t_{ож}$  – длительность случайного ожидания погрузки, ч.

Значения скоростей  $V_{Г}, V_{х}, V$  следует принимать по таблице 12.5

$$l_p = \frac{10^4 Q_{ГН} k_T}{Bu}, \quad (12.3)$$

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

$$n_{п.о} = n_{пр} - 1 = \frac{l_p}{L} - 1, \quad (12.4)$$

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

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

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

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

$$t_{п} = \frac{Q_{ГН} k_T}{W_{п}}. \quad (12.5)$$

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

$$t_{ож} = 0,25 t_{п}. \quad (12.6)$$

По формуле (12.2) можно сначала рассчитать производительность агрегата  $W_m$ , а затем по формуле (12.1) – нормативное требуемое число агрегатов  $n_{НЭ}$  в расчете на 100 га.

Нормативное требуемое число погрузчиков  $n_{НЭ}$  можно вычислить на основании формулы (12.1) исходя из условия взаимосвязной поточной работы:

$$n_{\text{H}\Sigma} W_n = m_{\text{H}\Sigma} W_m,$$

откуда

$$n_{\text{H}\Sigma} = \frac{m_{\text{H}\Sigma} W_m}{W_n}. \quad (12.7)$$

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

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

$$m_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\text{H}\Sigma}} m_{\text{H}\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} m_{\text{H}\Sigma}; \quad (12.8)$$

$$n_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\text{H}\Sigma}} n_{\text{H}\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{100} n_{\text{H}\Sigma}, \quad (12.9)$$

где  $F_{\Sigma}$  – удобряемая площадь полей хозяйства, га.

В формулах (12.8) и (12.9), в отличие от формул (12.1) и (12.7), значения  $m_{\Sigma}$  и  $n_{\Sigma}$  *следует округлять до целых чисел* в сторону увеличения.

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

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

Необходимость формирования технологических звеньев обусловлена следующими преимуществами групповой работы агрегатов: существенно уменьшаются потери времени на взаимное ожидание агрегатов; сокращаются сроки обработки каждого поля и подготовки его для последующих работ; по-

вышается уровень технического, технологического и других видов обслуживания; более оперативно распространяются передовые методы организации труда.

Таким образом, рассматриваемая задача сводится к определению в зависимости от условий работы числа разбрасывателей удобрений, обслуживаемых одним погрузчиком ПЭ-0,8Б производительностью 62 т/ч. Далее изложены упрощенный детерминированный и более точный вероятностный методы решения указанной задачи.

В качестве исследовательской работы можно выполнить сравнительный анализ обоих методов с учетом всего диапазона изменения действующих факторов.

Соотношение между числами  $m$  разбрасывателей удобрений и погрузчиков в технологическом звене определяем исходя из условия их взаимосвязанной поточной работы (см. формулу (12.7)):

$$mW_m = nW_n. \quad (12.10)$$

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

$$m = W_n / W_m. \quad (12.11)$$

Это равенство эквивалентно соотношению

$$m = t_m / t_n. \quad (12.12)$$

Изложенный упрощенный метод определения состава технологического звена имеет следующие основные недостатки: значения  $t_m$  и  $t_n$  в формуле (12.12) приняты постоянными в течение всего рабочего дня, тогда как они изменяются вероятностным образом из-за влияния множества случайных факторов, включая непостоянство скорости движения разбрасывателей удобрений, расстояния до поля и др. Не учтены также стоимостные соотношения между агрегатами обоих типов.

Более точное решение с учетом отмеченных недостатков можно получить на основе методов теории массового обслуживания. Взаимосвязанную работу погрузчика и ограниченного числа разбрасывателей при этом можно рассматривать как типичную замкнутую систему массового обслуживания с одним обслуживающим агрегатом-погрузчиком. Разбрасыватели удобрений соответственно принимают в качестве обслуживаемых агрегатов. Принципиальная схема работы такой системы показана на рисунке 12.2.

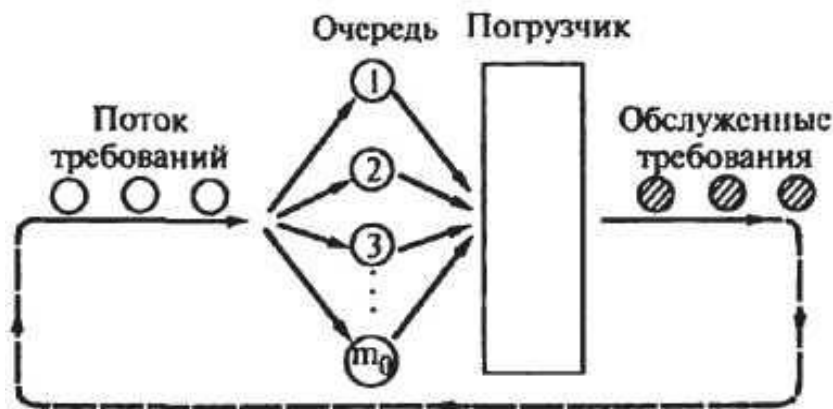


Рис. 12.2 - Принципиальная схема работы замкнутой системы массового обслуживания с одним обслуживающим агрегатом (погрузчиком)

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

$$C_{\min} = m_0 C_m + P_{n0} C_n \rightarrow \min, \quad (12.13)$$

где  $C_{\min}$  – сумма потерь от простоя во взаимном ожидании разбрасывателей удобрений и погрузчика, руб./ч;

$m_0$  – среднее число разбрасывателей, ожидающих погрузки;

$P_{n0}$  – среднее значение вероятности простоя погрузчика из-за несвоевременного прибытия разбрасывателей;

$C_m, C_n$  – стоимость 1 ч простоя соответственно одного разбрасывателя и погрузчика, руб./ч.

Для стабильности результатов расчетов при изменяющихся ценах в рыночных условиях целесообразно от выражения (12.13) перейти к относительным безразмерным затратам:

$$\bar{C}_{mn} = \frac{C_{mn}}{C_n} m_0 \frac{C_m}{C_n} + P_{n0} \rightarrow \min. \quad (12.14)$$

Поскольку значения  $C_m$  и  $C_n$  изменяются примерно пропорционально, то отношение  $C_m/C_n$  будет оставаться стабильным. Поэтому можно использовать значения  $C_m$  и  $C_n$  за любой период времени. При отсутствии таких данных отношение  $C_m/C_n$  приближенно можно заменить отношением  $\Pi_m/\Pi_n$  между ценами агрегата для разбрасывания удобрений (включая трактор и сам разбрасыватель) и погрузчика в виде

$$n_{\text{т.о.}} \Pi_{\text{т.о.}} = m_{\text{т.о.}} \Pi_{\text{т.о.}}, \quad (12.15)$$

где  $\Pi_{\text{м}}$ ,  $\Pi_{\text{п}}$  – оптовые цены соответственно агрегата и погрузчика, руб.

Значения  $\Pi_{\text{м}}$  и  $\Pi_{\text{п}}$  также можно взять за любой период времени с учетом их пропорционального изменения.

Решение задачи оптимизации по критериям (12.14) или (12.15) сводится к определению оптимального числа агрегатов для разбрасывания удобрений  $m_0$ , обслуживаемых одним погрузчиком. Величины  $m_0$  и  $P_{n0}$  определим по известным из теории массового обслуживания формулам:

$$m_0 = m - (1 - P_{n0}) \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right); \quad (12.16)$$

$$P_{n0} = 1 / [1 + m\alpha + m(m-1)\alpha^2 + m(m-1)(m-2)\alpha^3 + m(m-1)\dots 1\alpha^n], \quad (12.17)$$

где  $m$  – текущее число обслуживаемых погрузчиком агрегатов;

$\alpha = \lambda/\mu$ ;  $\lambda$  – плотность (интенсивность) потока прибывающих к погрузчику разбрасывателей удобрений, 1/ч,

$\mu$  – интенсивность обслуживания разбрасывателей погрузчиком, 1/ч.

Значения величин  $\lambda$  и  $\mu$  в (12.16) и (12.17) можно определить из равенств:

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{мр}}} = 1 / \left( \frac{l_{\text{т}}}{v_{\text{т}}} + \frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{х}}} + \frac{l_{\text{р}}}{10^3 v} + n_{\text{п.о.}} t_{\text{п.о.}} \right); \quad (12.18)$$

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{п}}} = \frac{W_{\text{п}}}{Q_{\text{ГН}} k_{\text{т}}}, \quad (12.19)$$

где  $t_{\text{мр}}$  – средний промежуток времени между требованиями на погрузку удобрений, поступающих от одного разбрасывателя, ч.

Необходимые исходные данные для определения  $\lambda$  и  $\mu$  приведены ранее. В качестве дополнительных показателей эффективности взаимосвязанной работы погрузчика и разбрасывателей удобрений можно определить коэффициент простоя разбрасывателей  $k_{\text{м}}$  удобрений:

$$k_{\text{м}} = m_0/m.$$

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

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

Значения  $P_{no}$ ,  $k_m$  и  $q_n$  можно определить как для самостоятельного анализа, так и при оптимальном режиме работы по критериям (12.14) или (12.15). При решении по критерию оптимальности (12.15) можно использовать следующие оптовые цены соответствующих агрегатов за 2003 г.:

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

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

Численное решение по критерию оптимальности (12.15) можно выполнить на базе как компьютера, так и обычного калькулятора в такой последовательности. Задаем в формуле (12.17) значение  $m_1 = 1$  и вычисляем  $P_{no1} = 1/(1 + 1\alpha)$ . Затем подставляем значения  $m_1$  и  $P_{no1}$  в выражение (12.16) и определяем  $m_{o1}$ . Далее по формуле (12.15) находим соответствующее значение критерия оптимальности  $C_{mn1}$ . Аналогично выполняем второй цикл расчета при  $m = 2$  и т. д. Такие циклы расчетов следует выполнять до получения минимального значения  $C_{mn.min}$ , которому соответствует оптимальное число  $m_{opt}$  разбрасывателей удобрений. Если при  $m_2 = 2$  имеем  $C_{mn2} > C_{mn1}$ , то  $C_{mn.min} = C_{mn1}$  и  $m_{opt} = m_1 = 1$ . Значения  $P_{no}$ ,  $m_o$  и епри расчетах следует определять до трех-четырёх знаков после запятой.

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

Поскольку даже в оптимальном режиме работы  $P_{no.opt} > 0$  и  $k_{m.opt} > 0$ , полностью исключить простои агрегатов во взаимном ожидании практически невозможно. Следовательно, полученное решение минимизирует только ущерб от таких простоев и подтверждается существенный недостаток упрощенного детерминированного расчета по формулам (12.10) и (12.11), в которых принято с учетом выражения (12.6) постоянное значение времени случайного ожидания  $t_{ож}$ . Значением  $t_{ож}$  часто вообще пренебрегают.

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

После определения состава технологического звена необходимо предусмотреть соответствующую подготовку поля, включая удаление препятствий и отбивку поворотных полос (см. задание 5). При внесении удобрений в основном рекомендуют челночный способ движения без разбивки поля на загоны. Методика расчета длины гона в зависимости от грузоподъемности разбрасывателя удобрений изложена ранее.

Качество работы разбрасывателей удобрений оцениваем с помощью методов, изложенных в задании 9. Точность соблюдения заданной дозы внесения удобрений в условиях производства определяют методом контрольной навески с использованием формулы (12.3):

$$u_{\Phi} = \frac{10^4 Q_{\Phi}}{B_{\Phi} l_{p.\Phi}}$$

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

Общую оценку качества работы разбрасывателей удобрений выполняют в конце рабочего дня балльным методом (см. задание 9) по следующим основным показателям: отклонение от заданной дозы внесения, %; неравномерность распределения по ширине захвата и по длине прохода, %; наличие огрехов.

### **Пример расчета агрегата для внесения твердых органических удобрений.**

1. Выписываем из таблицы 12.1 исходные данные по варианту №30.

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

2. Излагаем основные агротехнические требования: отклонение от заданной дозы внесения удобрений обоих видов  $\pm 10\%$ ; неравномерность распределения по поверхности поля до  $\pm 10\%$  по ходу и  $\pm 25\%$  по ширине захвата агрегата.



та; заделка удобрений в почву в сжатые сроки для исключения потерь питательных веществ.

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

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

4. Выбираем эффективный ресурсосберегающий агрегат в зависимости от условий работы. Так как в нашем варианте доза внесения органических удобрений 66 т/га, а расстояние перевозки 12 км., то оптимальная грузоподъемность разбрасывателя по таблице 12.3 будет 23 тонны. По таблице 12.2 выбираем агрегат для внесения удобрений К – 701 + МТТ – 23.

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

$B = 7$  м. – ширина захвата.

Примерные скорости движения агрегатов выбираем из таблицы 12.5.

Скорости движения агрегатов для внесения удобрений

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

5. Определяем длину рабочего пути агрегата при внесении удобрений по полю по формуле (12.3) с учетом

$k_{Г} = 1$  – коэффициент использования грузоподъемности.

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

6. Число поворотов агрегата за время опорожнения кузова определяем по формуле (12.4) с учетом

$L = 400 \dots 600$  м. – длина гона.

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

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

7. Продолжительность одной погрузки удобрений определяем по формуле (12.5) с учетом

$W_{П} = 62$  т/ч – производительность погрузчика.

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

8. Определяем время случайного ожидания погрузки по формуле (12.6)

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

9. Определяем производительность агрегата по формуле (12.2) с учетом  $t_{\text{по}} = 0,0083 \text{ ч.}$

$$W_m = \frac{23 \cdot 1}{\frac{12}{21} + \frac{12}{28,5} + \frac{498}{10^3 \cdot 8,2} + 1 \cdot 0,0083 + 0,37 + 0,09}$$

$$= \frac{23}{0,57 + 0,42 + 0,06 + 0,0083 + 0,37 + 0,09} = \frac{23}{1,52} = 15 \text{ т/ч.}$$

10. Нормативное требуемое число разбрасывателей удобрений определяем по формуле (12.1) с учетом

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

$\alpha_{\text{к}} = 0,9$  – коэффициент использования календарного времени;

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

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

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

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

11. Определяем нормативное требуемое число погрузчиков исходя из условия взаимосвязанной поточной работы по формуле (12.7)

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

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

12. Определяем общую потребность в разбрасывателях удобрений по формуле (12.8) с учетом

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

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

Округляем в сторону увеличения. Если хозяйство не в состоянии приоб-

рести и содержать столько разбрасывателей, то можно увеличить календарные сроки в допустимых границах: органические удобрения – 10...12 дней весной и 15...20 дней осенью; минеральных удобрений – 3...4 дня весной и 15...20 дней осенью.

13. Определяем общую потребность в погрузчиках по формуле (12.9)

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

Округляем в сторону увеличения.

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

Рассчитываем число разбрасывателей в технологическом звене, обслуживаемых одним погрузчиком по формуле (12.11)

$$m = 62 / 15 = 4$$

15. Определяем плотность (интенсивность) потока требований прибывающих к погрузчику агрегатов по формуле (12.18)

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

$$= \frac{1}{1,0583} = 0,94$$

16. Определяем интенсивность обслуживания разбрасывателей погрузчиком по формуле (12.19)

$$\mu = \frac{62}{23 \cdot 1} = 2,69$$

17. Определяем отношение  $\alpha$  по формуле

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

18. Определяем значение вероятности простоя погрузчика из-за несвоевременного прибытия разбрасывателей по формуле (12.17)

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

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

19. Определяем оптимальное число агрегатов, обслуживаемых одним погрузчиком по формуле (12.16) по критериям (12.14) или (12.15)

$$m_o = 4 - (1 - 0,12) \cdot \left(1 + \frac{1}{0,35}\right) = 4 - 0,88 \cdot (1 + 2,86) = 4 - 0,88 \cdot 3,86 \\ = 4 - 3,4 = 0,6 \approx 1$$

20. Определяем коэффициент простоя разбрасывателей

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

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

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

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

22. Изложить методику оценки качества работы агрегатов балльным методом.

## Отчет

Результаты расчетов и выводы следует представить в виде таблицы 1.4.

Таблица 12.6

№ пункта	Наименование и обозначение показателя или параметра	Результат расчета с указанием размерности
1	Вид удобрений	Органические
2	Доза внесения, $u$	66 т/га
3	Расстояние до поля, $l_T$	12 км
4	Количество календарных дней, $D_K$	7
5	Коэффициент сменности, $k_{CM}$	1
6	Общая площадь, $F_\Sigma$	1400
7	Технологическая схема	Прямоточная
8	Оптимальная грузоподъемность, $Q_{ГН}$	23 т
9	Ширина захвата, $B$	7 м
10	Агрегат для внесения	К-701+МТТ-23
11	Погрузчик	ПЭ-0,8Б
12	Производительность погрузчика, $W_{П}$	62 т/ч
13	Скорость движения с грузом, $V_{Г}$	21 км/ч
14	Скорость движения без груза, $V_x$	28,5 км/ч
15	Скорость движения при внесении, $V$	8,2 км/ч
16	Коэффициент использования грузоподъемности, $k_{Г}$	1
17	Длина рабочего пути, $l_P$	498 м

## Продолжение таблицы

18	Длина гона, $L$	300 м
19	Число поворотов агрегата за время опорожнения кузова, $n_{п.о}$	1
20	Продолжительность одной погрузки, $t_{п}$	0,37 ч
21	Время случайного ожидания погрузки, $t_{ож}$	0,09 ч
22	Продолжительность одного поворота, $t_{по}$	0,0083 ч
23	Производительность агрегата, $W_m$	15 т/ч
24	Нормативная площадь, $F_{нз}$	100 га
25	Коэффициент использования календарного времени, $\alpha_k$	0,9
26	Коэффициент готовности разбрасывателей, $Y_{гт}$	0,98
27	Продолжительность смены, $T_{см}$	7 ч
28	Нормативное число разбрасывателей, $m_{нз}$	10,18
29	Нормативное число погрузчиков, $n_{нз}$	2,3
30	Общая потребность в разбрасывателях, $m_{з}$	143
31	Общая потребность в погрузчиках, $n_{з}$	33
32	Число разбрасывателей в технологическом звене, обслужи- ваемых одним погрузчиком, $m$	4
33	Плотность (интенсивность) потока требований прибывающих к погрузчику агрегатов, $\lambda$	0,94
34	Интенсивность обслуживания разбрасывателей погрузчиком, $\mu$	2,69
35	Отношение $\alpha$	0,35
36	Вероятность простоя погрузчика из-за несвоевременного прибытия разбрасывателей, $P_{по}$	0,12
37	Оптимальное число агрегатов, обслуживаемых одним погрузчиком, $m_o$	1
38	Коэффициент простоя разбрасывателей, $k_m$	0,25
39	Пропускная способность погрузчика по числу обслуживаний разбрасывателей за 1 час, $q_n$	2,4

## Литература

1. Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2016. 464 с.
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. Организация и технология механизированных работ в растениеводстве / Н.И. Верещагин, А.Г. Левшин, А.Н. Скороходов и др. М.: ИРДО: Издат. центр «Академия», 2003. 414 с.
6. Орманджи К.С. Контроль качества полевых работ: справочник. М.: Росагропромиздат, 1991. 191 с.
7. 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.

Учебное издание

Самусенко Владимир Иванович

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Методические указания для выполнения  
практической работы №12  
по дисциплине: «Эксплуатация машинно-тракторного парка»  
студентам инженерно-технологического института  
по направлению подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия»

Редактор Осипова Е.Н.

---

Подписано к печати 22.03.2021 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,33. Тираж 25 экз. Изд. № 6872.

---

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