

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.

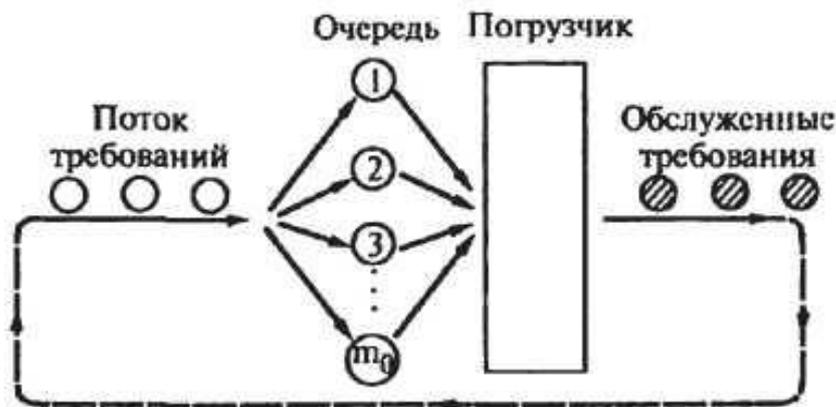


Рис. 12.2 - Принципиальная схема работы замкнутой системы массового обслуживания с одним обслуживающим агрегатом (погрузчиком)

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,<br>$V_{Г}$    | без груза,<br>$V_{Х}$ | 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,<br>$n_{п.о}$                           | 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, $F_{н\sigma}$   | 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, $m_{н\sigma}$   | 10,18    |
| 29 | Нормативное число погрузчиков, $n_{н\sigma}$   | 2,3      |
| 30 | Общая потребность в разбрасывателях, $m_{\Sigma}$  | 143      |
| 31 | Общая потребность в погрузчиках, $n_{\Sigma}$  | 33       |
| 32 | Число разбрасывателей в технологическом звене, обслужи-<br>ваемых одним погрузчиком, $m$     | 4        |
| 33 | Плотность (интенсивность) потока требований<br>прибывающих к погрузчику агрегатов, $\lambda$ | 0,94     |
| 34 | Интенсивность обслуживания разбрасывателей<br>погрузчиком, $\mu$                             | 2,69     |
| 35 | Отношение $\alpha$   | 0,35     |
| 36 | Вероятность простоя погрузчика из-за несвоевременного<br>прибытия разбрасывателей, $P_{по}$  | 0,12     |
| 37 | Оптимальное число агрегатов, обслуживаемых одним<br>погрузчиком, $m_o$                       | 1        |
| 38 | Коэффициент простоя разбрасывателей, $k_m$   | 0,25     |
| 39 | Пропускная способность погрузчика по числу<br>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