

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.33.024.2

*А.П. Шевченко, М.А. Бегунов,  
В.С. Коваль, Н.В. Павлов*

## АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА ПО ПЛОЩАДИ ПОЛЯ

*A.P. Shevchenko, M.A. Begunov,  
V.S. Koval, N.V. Pavlov*

## THE ANALYSIS OF T DISTRIBUTION OF SOWING MATERIAL ON FIELD AREA

**Шевченко А.П.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: ap.shevchenko@omgau.org

**Бегунов М.А.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: maksim-begunov@mail.ru

**Коваль В.С.** – канд. техн. наук, доц. каф. агрономии и агроинженерии Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: koval\_v.s@mail.ru

**Павлов Н.В.** – студент 4-го курса Тарского филиала Омского государственного аграрного университета им. П.А. Столыпина, Омская обл., г. Тара. E-mail: maksim-begunov@mail.ru

**Shevchenko A.P.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tara Branch, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk Region, Tara. E-mail: ap.shevchenko@omgau.org

**Begunov M.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tara Branch, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk Region, Tara. E-mail: maksim-begunov@mail.ru

**Koval V.S.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agronomy and Agroengineering, Tara Branch, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk Region, Tara. E-mail: koval\_v.s@mail.ru

**Pavlov N.V.** – 4-Year Student, Tara Branch, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk Region, Tara. E-mail: maksim-begunov@mail.ru

*Сошники для разбросного посева семян, устанавливаемые на сеялку, должны иметь такую конструкцию и размеры, при которых достигается наилучшее распределение семян по площади поля. Равномерное распределение семян по площади питания играет основную роль в создании условий для произрастания растений. Цель исследования – определение закономерности распределения семенного материала по площади поля лаповым сошником с обоснованием конструктивных параметров распределителя семян. Задачи исследования: получить числовые характеристики равно-*

*мерного пуассоновского распределения семян по площади поля; определить закономерности равномерного распределения семян по профилю. При исследовании равномерности распределения семян по площади поля применялась методика математического анализа. Выявлено, что для получения равномерного распределения семян по площади поля в подошниковом пространстве под выходным отверстием стойки-семяпровода необходимо размещать разбрасыватель семян. Рассмотрен процесс распределения семян на плоскости. Приведены расчеты, которые позволяют утвер-*

ждать, что распределение можно считать идеальным, если его характеристики соответствуют пуассоновскому распределению. Полученные числовые характеристики равномерного пуассоновского распределения позволяют сравнивать их с рассчитанными эмпирическими распределениями для различных вариантов формы распределяющей поверхности. Лучшим распределением будет то, для которого усредненное минимальное расстояние между семенами будет наибольшим. В нашем случае вместо рассматриваемых точек можно принять семена сельскохозяйственных культур. Помимо распределения семян по квадратам математического ожидания, минимального расстояния до ближайшего соседа важной характеристикой распределения семян по площади является равномерность распределения семян по профилю. Обоснованы конструктивные параметры распределительного устройства сошника  $U = 76$  мм, высота  $H = 13$  мм, длина  $l = 40$  мм и количество отверстий  $C = 5$ .

**Ключевые слова:** сошник, разбрасыватель, семена, равномерное распределение.

*Seed coulters for seeding established on a seeder, are to have such design and the sizes at which the best distribution of seeds on the area of a field is reached. Uniform distribution of seeds on the area of food plays the main role in the creation of conditions for growth of plants. The research objective was the determination of regularity of distribution of seed material on the area of a field pawter with a spreader of seeds. The research problems were to receive numerical characteristics of uniform Poisson distribution of seeds on the area of a field; to determine regularities of uniform distribution of seeds by profile. At the research of uniformity of distribution of seeds on the area of a field the technique of mathematical analysis was applied. It was revealed that for receiving uniform distribution of seeds on the area of a field in under-void area under exhaust outlet of seminal duct it is necessary to place the spreader of seeds. The process of distribution of seeds to the planes is considered. The calculations which allow claiming that distribution can be considered ideal if its characteristics correspond to Poisson distribution are given. Received numerical characteristics of uniform Poisson distribution allow comparing them to calculated empirical distributions for various options of the form of distributing surface. For that the average minimum distance between*

*seeds will be the greatest and the best distribution. In our case instead of considered points it is possible to accept seeds of crops. Besides distribution of seeds on squares of population area, the minimum distance to the next neighbor the important characteristic of distribution of seeds on the area is uniformity of distribution of seeds on the profile. It is obvious that as the best distribution it is necessary to consider for what distribution on a profile will be closer to the uniform. The design parameters of the opener distributor  $U = 76$  mm, height  $H = 13$  mm, length  $l = 40$  mm, and the number of holes  $C = 5$  are substantiated.*

**Keywords:** coulter, spreader, seeds, uniform distribution.

**Введение.** Сошники для разбросного посева семян, устанавливаемые на сеялку, должны иметь такую конструкцию и размеры, при которых достигается наилучшее распределение семян по площади поля. Равномерное распределение семян по площади питания играет основную роль в создании условий для произрастания растений.

Для получения более равномерного распределения семян по площади под выходным отверстием стойки-семяпровода сошника размещают различные разбрасыватели семян.

**Цель исследования:** изучить закономерности распределения семенного материала по площади поля лаповым сошником с обоснованием рациональных конструктивных параметров распределителя семян.

**Задачи исследования:**

- получить числовые характеристики равномерного пуассоновского распределения семян по площади поля;
- определить закономерности равномерного распределения семян по профилю;
- определить рациональные конструктивные параметры распределителя семян.

**Методы исследования.** Данное исследование посвящено выбору оптимального профиля поверхности распределителя в классе цилиндрических поверхностей с прямолинейной образующей, описываемых уравнением  $F(x, z) = 0$  (рис. 1).

С достаточной для практики точностью форму поверхности распределителя семян можно описать координатами десяти точек (рис. 2).

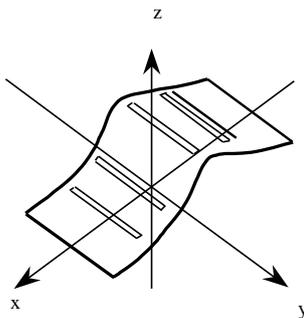
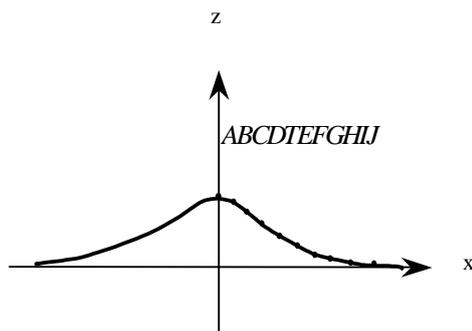


Рис. 1. Общий вид распределителя семян



$$\vec{A} = (A_x, A_z)$$

$$\vec{B} = (B_x, B_z)$$

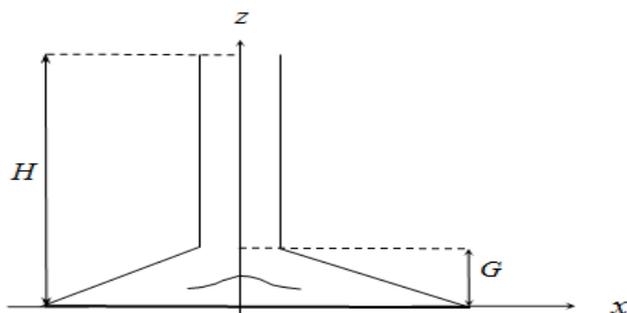
$$\vec{J} = (J_x, J_z)$$

Рис. 2. Схема дискретизации профиля распределителя

Поскольку у точки  $\vec{A} = (A_x, A_z)$  координата  $A_x = 0$ , то получаем 19 варьируемых параметров. К числу варьируемых параметров нужно также отнести размеры и количество прорезей, предназначенных для «просеивания» части семян в пространство под распределителем.

В качестве рабочего инструмента для поиска наилучшей формы поверхности разбрасывателя семян нами был выбран лаповый сошник, в подсошниковом пространстве которого установлен разбрасыватель семян [1].

Схема сошника сеялки с размещенным в подсошниковом пространстве разбрасывателем семян показана на рисунке 3.



$$H = 350 \text{ мм}$$

$$G = 45 \text{ мм}$$

Рис. 3. Схема сошника сеялки:  
H – высота сошника; G – высота распределителя

Рассмотрим процесс распределения семян на плоскости. О качестве распределения семян можно будет судить после расчета элементов их траекторий полета. Распределение можно считать идеальным, если его характеристики соответствуют пуассоновскому распределению [2, 3].

Случайным полем точек называется совокупность точек, случайным образом распределенных на плоскости. Плотностью поля точек называется среднее их число, попадающее на единицу площади.

Если плотность поля постоянна, то поле называется равномерно распределенным.

Пусть задана некоторая область  $\Omega$  плоскости,  $a$  - математическое ожидание числа точек, попадающих в область  $\Omega$ . Тогда вероятность  $P_m$  попадания  $m$  точек в область  $\Omega$  равна

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (1)$$

где  $m!$  – произведение чисел от 1 до  $m$  (факториал).

Если поле точек равномерно и имеет плотность  $\lambda$ , то

$$a = \lambda \cdot S, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь области  $\Omega$ .

Если поле не равномерно, то

$$a = \iint_{\Omega} \lambda(x, y) dx dy, \quad (3)$$

где  $\lambda(x, y)$  – плотность распределения.

Дисперсия

$$D\xi = M\xi^2 - (M\xi)^2 = \sum_{m=0}^{\infty} m^2 \frac{a^m}{m!} e^{-a} - a^2 = \sum_{m=2}^{\infty} \frac{m(m-1)a^m}{m!} e^{-a} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{ma^m}{m!} e^{-a} = a^2 + a - a^2 = a. \quad (5)$$

Проведем вокруг некоторой точки поля круг радиуса  $r$ . Для того чтобы расстояние  $R$  от этой точки до ближайшей к ней соседней точки было меньше, чем  $r$ , необходимо, чтобы в круг радиуса  $r$  попала хотя бы одна точка, кроме данной.

Вероятность этого события равна

$$F(r) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (6)$$

где  $a = \lambda \cdot \pi r^2$ .

**Математическое ожидание распределения Релея**

$$M(R) = \int_0^{\infty} r f(r) dr = 2\pi\lambda \int_0^{\infty} r^2 e^{-\pi r^2 \lambda} dr = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} = 50 \text{ мм}. \quad (8)$$

Дисперсия

$$D(R) = M(R^2) - (M(R))^2 = \int_0^{\infty} r^2 f(r) dr - \frac{1}{4\lambda} \approx 68,47 \text{ мм}^2. \quad (9)$$

В случае, когда  $\lambda = 100$  шт/м<sup>2</sup>,  $M(R) = 50,0$  мм,

$$D(R) = 68,47 \text{ мм}^2.$$

**Математическое ожидание случайной величины**

Рассмотрим равномерное пуассоновское распределение на плоскости с плотностью  $\lambda = 100$  шт/м<sup>2</sup>.

Пусть  $\Omega$  представляет собой квадрат со стороной 1 м. Область  $\Omega$  покроем равномерной сеткой с шагом 0,1 м. Тогда эта область разобьется на 100 одинаковых квадратов со стороной 10 см.

Если распределение равномерное, то в каждый из этих квадратов должно в среднем попасть по 1 точке.

Пронумеровав квадраты и подсчитав число точек в каждом из них, получим случайную величину  $\xi_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 100$ .

Эта случайная величина должна иметь равномерное пуассоновское распределение с параметром  $a = 100 \cdot 0,01 = 1$ .

**Математическое ожидание случайной величины**

$$M\xi = \sum_{m=0}^{\infty} m \frac{a^m}{m!} e^{-a} = a e^{-a} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a^{m-1}}{(m-1)!} = a. \quad (4)$$

Известно, что  $F(r) = 1 - e^{-\pi r^2 \lambda}$ .

Случайную величину  $R$  (расстояние от точки поля до ближайшей соседней) называют распределением Релея [4].

Плотность распределения Релея задается формулой

$$f(r) = 2\pi\lambda r e^{-\pi r^2 \lambda}. \quad (7)$$

**Результаты исследования.** Полученные числовые характеристики равномерного пуассоновского распределения позволяют сравнивать их с рассчитанными по описанной выше методике эмпириче-

скими распределениями для различных вариантов формы распределяющей поверхности. Лучшим распределением будет то, для которого усредненное минимальное расстояние между семенами будет наибольшим.

В нашем случае вместо рассматриваемых точек можно принять семена сельскохозяйственных культур.

Помимо распределения семян по квадратам математического ожидания, минимального расстояния до ближайшего соседа важной характеристикой распределения семян по площади является равномерность распределения семян по профилю, т. е. в направлении, перпендикулярном направлению движения. Можно сказать, что это распределение является проекцией двумерного распределения  $(P_x^i, P_y^i)$  на ось  $x$ . Очевидно, что лучшим распределением нужно считать то, для которого распределение по профилю будет ближе к равномерному.

Для оценки распределения по профилю разобьем раствор лапы по оси  $x$  на 10 равных интервалов слева и справа.

Так как ширина раствора лапы равна 220 мм, то длина интервала будет равна 11 мм.

С помощью программы на языке DELPHI 6.0 проведены расчеты по определению оптимальных параметров распределителя семян.

Для удобства проводимых расчетов были приняты постоянными для всех вариантов следующие величины: норма высева  $N_g = 1$  млн на 1 га (или  $\lambda = 100$  шт/м<sup>2</sup>), скорость движения сошника  $V = 1,11-1,94$  м/с, средняя скорость движения семян в семяпроводе  $V_c = 1,53$  м/с, ширина сошника  $B = 220$  мм, угол наклона семяпровода  $\varphi = -14^\circ$ , внутренний размер семяпровода – прямоугольник со сторонами 20 и 40 мм, длина распределителя  $L = 40$  мм.

Варьируемыми параметрами распределителя принимались: координаты точек, описывающие поверхность распределителя  $\bar{A} = (A_x, A_z)$ ,  $\bar{B} = (B_x, B_z), \dots, \bar{J} = (J_x, J_z)$  и его размеры (ширину  $U$ , высоту  $H$ ), количество отверстий (прорезей)  $C$ , а также высота постановки распределителя над уровнем почвы  $P$ .

Меняя конструктивные параметры распределителя, определяли минимальные расстояния между семенами, а также фиксацию распределения семян по профилю (вдоль оси  $x$ ) [5].

Анализ результатов проведенных расчетов показывает, что при высоте установки распределителя  $P = 13$  мм и при заданных численных значениях координат точек, описывающих поверхность распределителя:

$$\bar{A}(0, 26), \bar{B}(1, 25), \bar{C}(3, 24), \bar{D}(6, 23), \\ \bar{E}(7, 22), \bar{F}(9, 20), \bar{G}(17, 17), \bar{H}(19, 16), \bar{I}(31, 14), \\ \bar{J}(38, 13),$$

достигается требуемая ширина рассева семян и равномерное их распределение. Вместе с тем при увеличении высоты установки распределителя свыше 15 мм наблюдается нарастание количества соударений движущихся в свободном полете семян о свод подсошникового пространства, а это влечет за собой возрастание соударений семян между собой.

Поэтому в дальнейших вычислениях величина высоты установки распределителя принималась равной не более 15 мм.

На равномерное распределение семян по ширине подсошникового пространства будет влиять не только форма и размеры распределяющего устройства, но и количество отверстий (прорезей), предназначенных для засева пространства под распределителем. Для выяснения оптимальных размеров и количества отверстий были проведены расчеты.

На основании проведенных теоретических расчетов более оптимальным оказался вариант с 5 отверстиями, одно отверстие на участке  $(-B; B)$  с 50 % вырезаемой площади, два отверстия на участках  $(F; G)$  и  $(-F; -G)$  с 50 % вырезаемой площади, два отверстия на участках  $(H; I)$ ,  $(-H; -I)$  с 50 % вырезаемой площади, причем верхняя часть прорези выполнена вогнутой, а нижняя – выпуклой.

На рисунке 4 представлена диаграмма, характеризующая зависимость среднего минимального расстояния между семенами  $R_{min}$  от ширины  $U$ , высоты  $H$  распределителя при количестве отверстий на его поверхности  $C = 5$ .

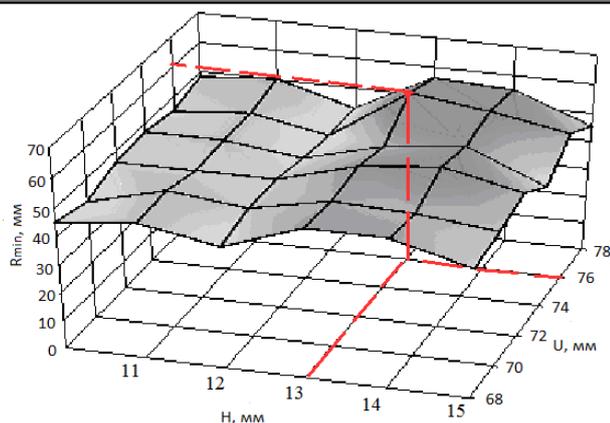


Рис. 4. Поверхность отклика, характеризующая изменение среднего минимального расстояния между семенами  $R_{min}$  от  $U$  и  $H$

Пики поверхности отклика на диаграмме указывают области, которым соответствуют значения рациональных параметров. На рисунке 5 показаны результаты теоретических расчетов ширины рассева семян в зависимости от скорости движения агрегата  $V$  и высоты установки распределителя над уровнем почвы  $P$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальные характеристики равномерности распределения семян по площади обеспечивает распределитель с координатами точек, описывающих форму и размеры распределителя:

$\bar{A}(0, 26)$ ,  $\bar{B}(1, 25)$ ,  $\bar{C}(3, 24)$ ,  $\bar{D}(6, 23)$ ,  
 $\bar{E}(7, 22)$ ,  $\bar{F}(9, 20)$ ,  $\bar{G}(17, 17)$ ,  
 $\bar{H}(19, 16)$ ,  $\bar{I}(31, 14)$ ,  $\bar{J}(38, 13)$ , – для которого  $U = 76$  мм,  $H = 13$  мм,  $L = 40$  мм, количество отверстий  $C = 5$ : одно отверстие на участке  $(-B; B)$  с 50 % вырезаемой площади, два отверстия на участках  $(F; G)$  и  $(-F; -G)$  с 50 % вырезаемой площади, два отверстия на участках  $(H; I)$ ,  $(-H; -I)$  с 50 % вырезаемой площади, высотой установки над уровнем почвы  $P = 13$  мм. Максимальная ширина рассева достигается при скорости движения агрегата  $V = 1,67$  м/с.

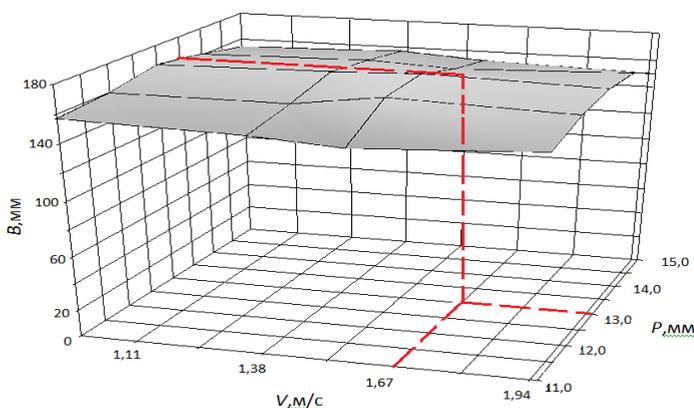


Рис. 5. Зависимость ширины рассева семян от скорости движения агрегата  $V$  и высоты установки распределителя от поверхности почвы  $P$  при  $U = 76$  мм,  $H = 13$  мм,  $C = 5$

При этом достигается увеличение среднего минимального расстояния между семенами до 60,19 мм по отношению к 50,00 мм в случае теоретического пуассоновского распределения и 7,18 мм в случае использования стрелчатой лапы без распределителя.

**Выводы.** Проведенные теоретические исследования позволили разработать математический аппа-

рат для оптимизации параметров распределителя семян. Разработанная программа для ЭВМ позволяет обоснованно определять конструктивные параметры распределительных устройств сошниковой группы для посева многолетних бобовых трав по выбранной технологии их возделывания. Рациональными значениями конструктивных параметров распределительного устройства сошника являются:

ширина  $U = 76$  мм, высота  $H = 13$  мм, длина  $L = 40$  мм и количество отверстий  $C = 5$ .

опытного дела // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – №12. – С. 51–52.

### Литература

1. Шевченко А.П. Обоснование параметров и режимов работы сошниковой группы для посева семян многолетних бобовых трав: дис. ... канд. техн. наук / Омский гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина. – Омск, 2003.
2. Шевченко А.П., Домрачев В.А. Повышение эффективности функционирования посевных машин путем оптимизации конструктивных параметров рабочих органов. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2005. – 120 с.
3. Шевченко А.П., Бегунов М.А. Повышение эффективности работы машин для посева льна-долгунца путем оптимизации конструктивных параметров рабочих органов. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2016. – 122 с.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 388 с.
5. Домрачев В.А., Шевченко А.П. Разработка научных основ механизации селекционно-

### Literatura

1. Shevchenko A.P. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty soshnikovoj grupy dlja poseva semjan mnogoletnih bobovyh trav: dis. ... kand. tehn. nauk / Omskij gos. agrar. un-t im. P.A. Stolypina. – Omsk, 2003.
2. Shevchenko A.P., Domrachev V.A. Povysenie jeffektivnosti funkcionirovaniya posevnyh mashin putem optimizacii konstruktivnyh parametrov rabochih organov. – Omsk: Izd-vo OmGAU, 2005. – 120 s.
3. Shevchenko A.P., Begunov M.A. Povysenie jeffektivnosti raboty mashin dlja poseva l'nadolgunca putem optimizacii konstruktivnyh parametrov rabochih organov. – Omsk: Izd-vo OmGAU, 2016. – 122 s.
4. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teorija verojatnostej. – M.: Nauka, 1969. – 388 s.
5. Domrachev V.A., Shevchenko A.P. Razrabotka nauchnyh osnov mehanizacii selekcionno-opytного dela // Dostizhenija nauki i tehniki APK. – 2008. – №12. – S. 51–52.

УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, И.А. Васильев

## УДЕЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЧВООБРАБОТКИ

N.I. Selivanov, I.A. Vasilyev

### SPECIFIC PARAMETERS OF HIGH POWER WHEELED TRACTORS FOR TILLAGE TECHNOLOGIES

**Селиванов Н.И.** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. тракторов и автомобилей Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: zaprudskii@list.tu

**Васильев И.А.** – асп. каф. тракторов и автомобилей Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: vasilev@krasagro.ru

**Selivanov N.I.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Head, Chair of Tractors and Cars, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: zaprudskii@list.tu

**Vasilyev I.A.** – Post-Graduate Student, Chair of Tractors and Cars, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: vasilev@krasagro.ru

Цель исследования – обоснование тягово-скоростных диапазонов и удельной массы колесных 4к4б тракторов высокой мощности для зональных технологий почвообработки. Задачи исследования: 1) обосновать рациональные тягово-скоростные диапазоны использования тракторов в составе почвообрабатывающих агрегатов; 2) определить оптимальные значения удельной массы тракторов

разной комплектации для установленных групп родственных операций почвообработки; 3) установить эффективность использования тракторов с разной удельной массой в технологиях почвообработки. По результатам полевых испытаний тракторов «Кировец» серии К-744Р разных типов-размеров и комплекций определены рациональные тяговые диапазоны, ограниченные режимом