

6. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1981. – 382 с.
7. Коршун В.Н. Энергетические параметры и режимы функционирования рабочих полевых машин // Тракторы и с.-х. машины. – 2010. – № 7. – С. 24–28.



УДК 630.37:001.891

В.Н. Холопов, В.А. Лабзин

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

*В статье представлено разделение области функционирования технических средств заготовки лесного сырья на 3 зоны, выполнена классификация лесных препятствий, определена возможность подъёма двухгусеничной машины на вертикальную стенку.*

**Ключевые слова:** функционирование, технические средства, лесное сырье, классификация лесных препятствий, гусеницы, тяговое усилие, сцепление, вертикальная стенка.

V.N. Kholopov, V.A. Labzin

### THE TRACKED VEHICLE INTERACTION WITH THE OBSTACLE

*The division of the functioning field of the technical means for wood raw material harvesting into 3 zones is presented, the classification of forest obstacles is carried out, the opportunity to lift two-track vehicle on the vertical wall is determined in the article.*

**Key words:** functioning, hardware, wood raw materials, classification of forest obstacles, caterpillars, traction effort, adhesion, vertical wall.

**Введение.** При разработке технических средств функционирования в местах массовой заготовки дикорастущего пищевого и лекарственного сырья, проведения лесоразработок и лесовосстановления целесообразно учитывать условия эксплуатации лесной техники применительно к трем зонам:

- тундра, лесотундра и подтаежная зона;
- лесная таежная зона;
- зона горных лесов.

**Цель исследований.** Разработать классификацию лесных препятствий и исследовать взаимодействие параметров двухгусеничной машины на вертикальную стенку подъёма.

**Объект и методы исследований.** Двухгусеничная машина, принятые допущения, исследование преодоления лесных препятствий.

В зависимости от преимущественных условий эксплуатации лесная машина может быть выполнена горной, болотоходной, плавающей, а также предназначенной для работы в равнинно-холмистой местности. Каждая из модификаций лесной машины, предназначенная для функционирования в определённых зонах, должна иметь соответствующие конструктивные особенности, позволяющие ей безопасно выполнять необходимые технологические операции и иметь достаточно высокую проходимость, позволяющую преодолевать встречающиеся препятствия [1].

К характерным условиям функционирования лесной техники во всех трёх зонах относится пересеченная местность, представляющая собой совокупность различных препятствий естественного и искусственного происхождения, ориентированных в различных направлениях и расположенных в случайном порядке.

Препятствия, которые могут быть встречены лесной машиной, могут быть в виде неровностей опорной поверхности (бугры, ямы искусственного и естественного происхождения, овраги), а также в виде пней, поваленных деревьев, камней, кочек и др. Возможная классификация лесных препятствий применительно к указанным трём зонам представлена на рисунке 1.

Одним из препятствий, которые можно встретить во всех трёх зонах, является пороговое препятствие, имеющее в наиболее сложных случаях вертикальную стенку. Частными случаями порогового препятствия являются бугры, кочки, валёжины и т.д. Они не представляют особой трудности для их преодоления, поскольку характеризуются достаточно плавными изменениями углов наклона опорной поверхности к горизонту.

Теоретические исследования возможности преодоления пороговых препятствий проводились как для отдельного колеса, так и для машины в целом.

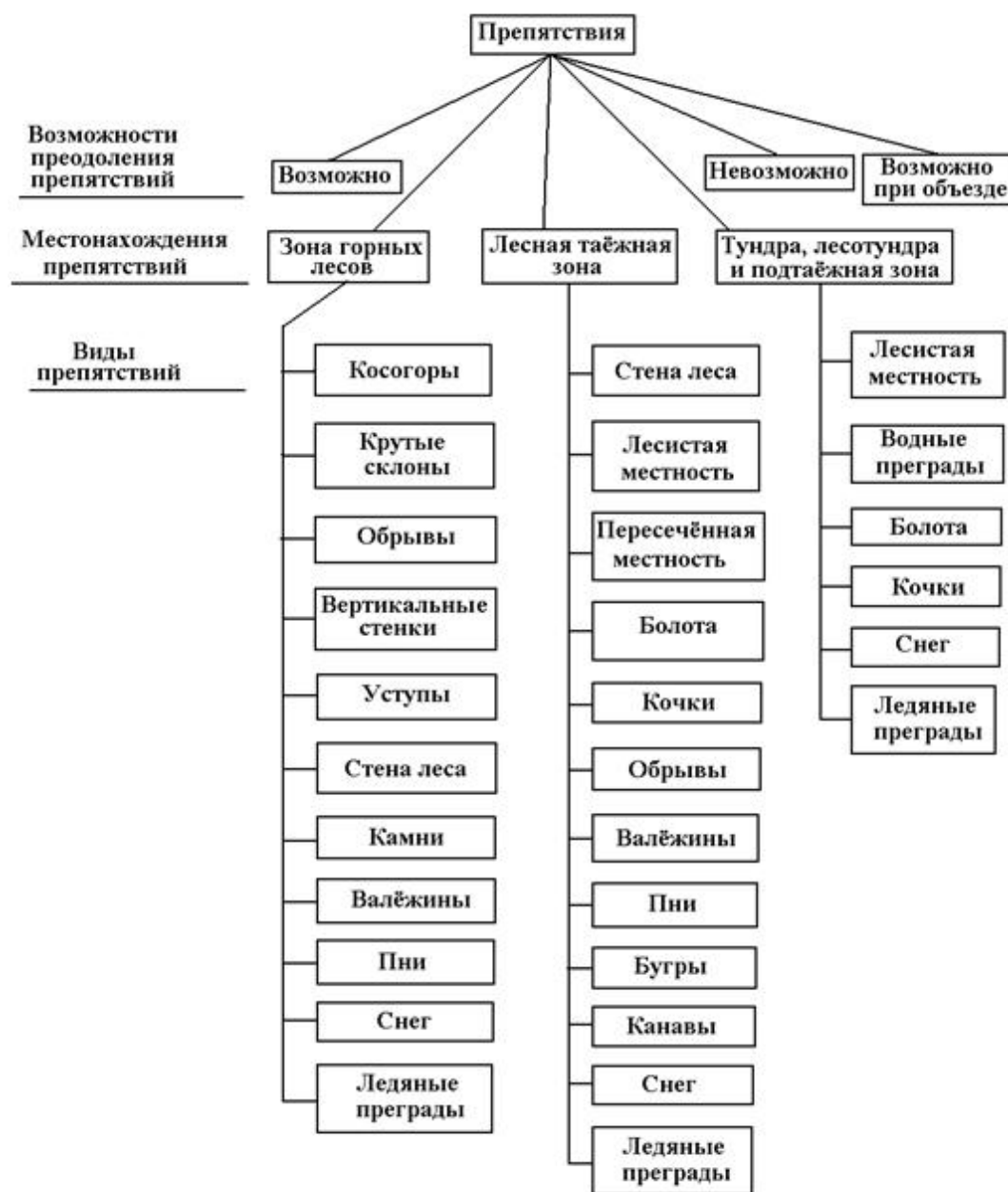


Рис. 1. Классификация лесных препятствий

Изучалось преодоление порогового препятствия неведущим колесом, ведущим колесом, жёстким и эластичным колесом и т.д. При проведении этих исследований полагалось, что колесо и машина находятся на горизонтальной площадке. Было показано, что высота преодолеваемого порогового препятствия зависит от того, ведущее колесо, или ведомое, от того, каков радиус колеса, имеется ли дополнительно приложенная к оси колеса толкающая сила.

Теоретических исследований преодоления пороговых препятствий гусеничной машиной в открытой печати обнаружить не удалось. В известных источниках информации [2–5 и др.] отмечалась лишь технология преодоления такого препятствия, а также рассуждения о влиянии на высоту преодолеваемого порогового препятствия различных конструктивных параметров гусеничной машины и характеристик опорной поверхности. В [5] приведена формула для определения высоты преодолеваемого порогового препятствия танком

$$h_{\text{э}} = \frac{2A - B}{10}, \quad (1)$$

где  $A$  – полная длина танка (без пушки);

$B$  – полная высота танка.

Формула составлена в предположении, что центр тяжести находится посередине длины танка и отстоит от земли на 0,4 его полной высоты, а сцепление гусениц с гребнем эскарпа достаточное.

Таким образом, конкретное влияние конструктивных параметров машины и связи её гусениц с опорной поверхностью в известных исследованиях не определено.

Определим возможность подъёма двухгусеничной машины на вертикальную стенку. Примем следующие допущения: двухгусеничная машина имеет ведущую звёздочку и натяжной каток, являющиеся одновременно и опорными катками (рис. 2).

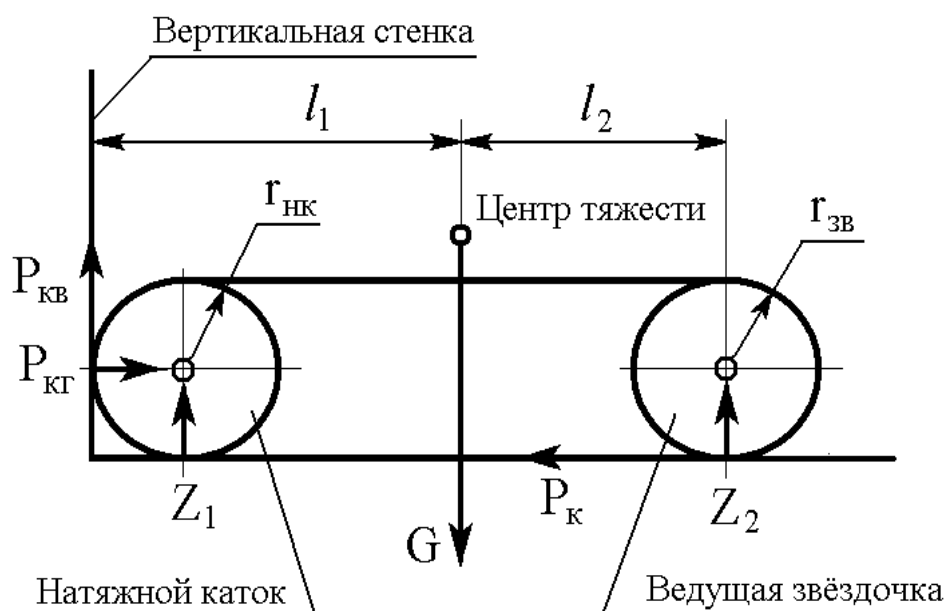


Рис. 2. Схема взаимодействия гусениц двухгусеничной машины с вертикальной стенкой

Составим уравнения равновесия машины.

Сумма моментов действующих сил относительно оси ведущей звёздочки

$$P_{\text{кв}}(l_1 + l_2) + Z_1(l_1 + l_2 - r_{\text{к}}) + P_{\text{кг}}(r_{\text{нк}} - r_{\text{зв}}) + P_{\text{к}}r_{\text{зв}} - Gl_2 = 0. \quad (2)$$

Сумма проекций действующих сил на вертикальную ось

$$P_{\kappa\epsilon} + Z_1 + Z_2 - G = 0. \quad (3)$$

Сумма проекций на горизонтальную ось

$$P_{\kappa} - P_{\kappa\epsilon} = 0. \quad (4)$$

В этих уравнениях:

$P_{\kappa\epsilon}$  — сила сцепления гусеницы с вертикальной стенкой;

$Z_1$  — нормальная реакция опорной поверхности на натяжной каток;

$Z_2$  — нормальная реакция опорной поверхности на ведущую звёздочку;

$P_{\kappa\epsilon}$  — нормальная реакция вертикальной стенки на натяжной каток;

$P_{\kappa}$  — тяговое усилие гусеницы относительно опорной поверхности;

$G$  — вес машины.

Кроме вышеуказанных, имеют место следующие уравнения:

$$P_{\kappa} = Z_2 \varphi_{\epsilon}; \quad P_{\kappa\epsilon} = P_{\kappa\epsilon} \varphi_{\epsilon}, \quad (5)$$

где  $\varphi_{\epsilon}$  — коэффициент сцепления гусеницы с горизонтальной опорной поверхностью;

$\varphi_{\epsilon}$  — коэффициент сцепления гусеницы с вертикальной стенкой.

Начало подъёма машины на вертикальную стенку характеризуется нулевым значением нормальной реакции опорной поверхности на натяжной каток. Уравнение (2) принимает тогда следующий вид:

$$P_{\kappa\epsilon}(l_1 + l_2) + P_{\kappa\epsilon}(r_{HK} - r_{3\epsilon}) + P_{\kappa} r_{3\epsilon} - Gl_2 = 0, \quad (6)$$

а уравнение (3)

$$P_{\kappa\epsilon} + Z_2 - G = 0. \quad (7)$$

С учётом уравнений (4), (5), (7) уравнение (6) после преобразований принимает следующий вид:

$$\varphi_{\epsilon}(l_1 + l_2) + r_{HK} - \varphi_{\epsilon} l_2 - \frac{l_2}{\varphi_{\epsilon}} = 0. \quad (8)$$

Пусть

$$r_{HK} = r_{3\epsilon} K_{HK}, \quad (9)$$

где  $K_{HK} = \frac{r_{HK}}{r_{36}}$  – коэффициент, определяющий соотношение радиусов натяжного катка  $K_{HK}$  и ведущей звездочки  $r_{36}$  гусеницы.

Тогда

$$\varphi_6(l_1 + l_2) + r_{36}K_{HK} - \varphi_6 l_2 - \frac{l_2}{\varphi_2} = 0, \quad (10)$$

или

$$\varphi_6 \varphi_2 l_1 + r_{36}K_{HK} \varphi_2 - l_2 = 0. \quad (11)$$

Коэффициент сцепления гусеницы относительно вертикальной стенки в общем случае не равен коэффициенту сцепления гусеницы с горизонтальной опорной поверхностью. Введём коэффициент  $K_{cp}$ , определяющий соотношение коэффициентов сцепления относительно вертикальной стенки и горизонтальной опорной поверхности.

$$K_{cp} = \frac{\varphi_6}{\varphi_2}; \quad \varphi_6 = K_{cp} \varphi_2. \quad (12)$$

Подставим значение коэффициента сцепления относительно вертикальной стенки из (12) в (11).

$$K_{cp} l_1 \varphi_2^2 + r_{36}K_{HK} \varphi_2 - l_2 = 0. \quad (13)$$

Решим уравнение (13) и определим минимальное значение коэффициента сцепления относительно горизонтальной поверхности, при котором возможен подъём передней части гусеничной машины на вертикальную стенку. Поскольку коэффициент сцепления не может быть отрицательным, решение уравнения имеет вид

$$\varphi_2 = \frac{-r_{36}K_{HK} + \sqrt{r_{36}^2 K_{HK}^2 + 4K_{cp} l_1 l_2}}{2K_{cp} l_1}. \quad (14)$$

Разделим числитель и знаменатель на  $l_1$  и получим безразмерное уравнение, определяющее минимальное значение коэффициента сцепления гусеницы с горизонтальной опорной поверхностью, обеспечивающее подъём натяжного катка на вертикальную стенку.

$$\varphi_2 = \frac{-\bar{r}_{36}K_{HK} + \sqrt{\bar{r}_{36}^2 K_{HK}^2 + 4K_{cp} \bar{l}_2}}{2K_{cp}}, \quad (15)$$

здесь  $\bar{r}_{36} = \frac{r_{36}}{l_1}$ ;  $\bar{l}_2 = \frac{l_2}{l_1}$ .

Если коэффициенты  $K_{HK}$  и  $K_{cp}$  равны единице, то

$$\varphi_2 = -0,5\bar{r}_{36} + \sqrt{0,25\bar{r}_{36}^2 + \bar{l}_2}. \quad (16)$$

Проанализируем уравнение (15).

График, представленный на рисунке 3 и построенный при  $k_{cp} = [0,5; 1,0; 1,5]$ ,  $r_{зв} = 0,1$ , показывает, что минимально необходимый для подъёма на вертикальную стенку передней части гусеницы (натяжного катка) коэффициент сцепления гусеницы с горизонтальной поверхностью уменьшается при уменьшении отношения расстояния от центра тяжести гусеничной машины до оси ведущей звёздочки к расстоянию от центра тяжести машины до оси натяжного катка. Другими словами, чем ближе расположен центр тяжести машины к оси ведущей звёздочки, тем минимально необходимый коэффициент сцепления гусеницы с горизонтальной поверхностью будет меньше. Необходимый коэффициент сцепления уменьшается и при увеличении радиуса натяжного катка в сравнении с радиусом ведущей звёздочки, другими словами, с увеличением расстояния от оси натяжного катка до горизонтальной опорной поверхности.

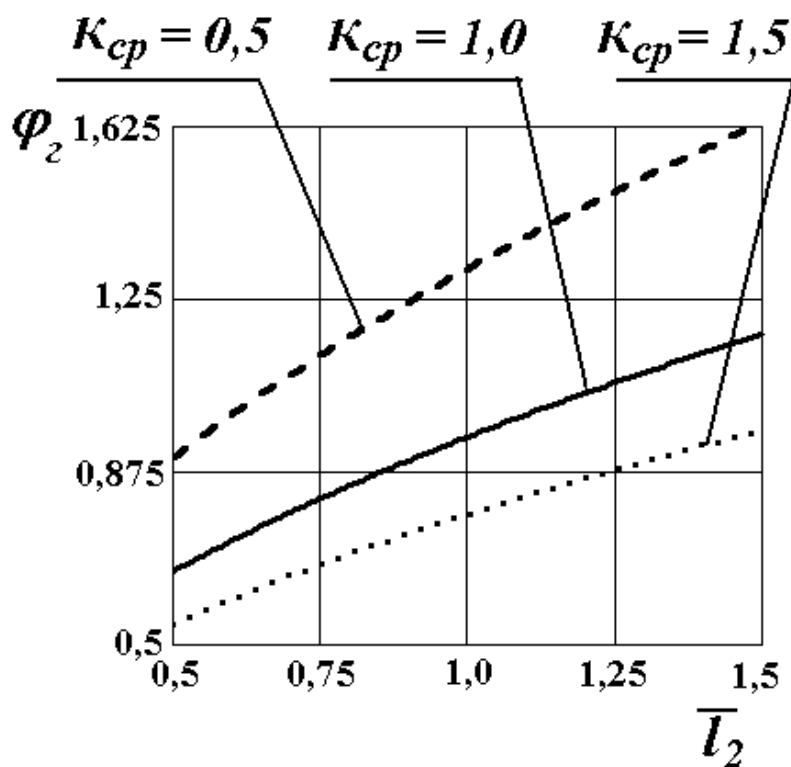


Рис. 3. Зависимости минимального значения коэффициента сцепления гусеничной машины с горизонтальной поверхностью

График, приведенный на рисунке 4 и построенный при  $k_{нк} = [0,5; 1,0; 1,5]$ ,  $r_{зв} = 0,1$  показывает, что минимально необходимый для подъёма на вертикальную стенку передней части гусеницы (натяжного катка) коэффициент сцепления гусеницы с горизонтальной поверхностью существенно зависит от соотношения коэффициентов сцепления гусеницы с горизонтальной и вертикальной поверхностями. Чем больше коэффициент сцепления гусеницы с вертикальной стенкой  $k_{cp} > 1$ , тем минимально необходимый для подъёма на вертикальную стенку натяжного катка коэффициент сцепления с горизонтальной поверхностью будет меньше.

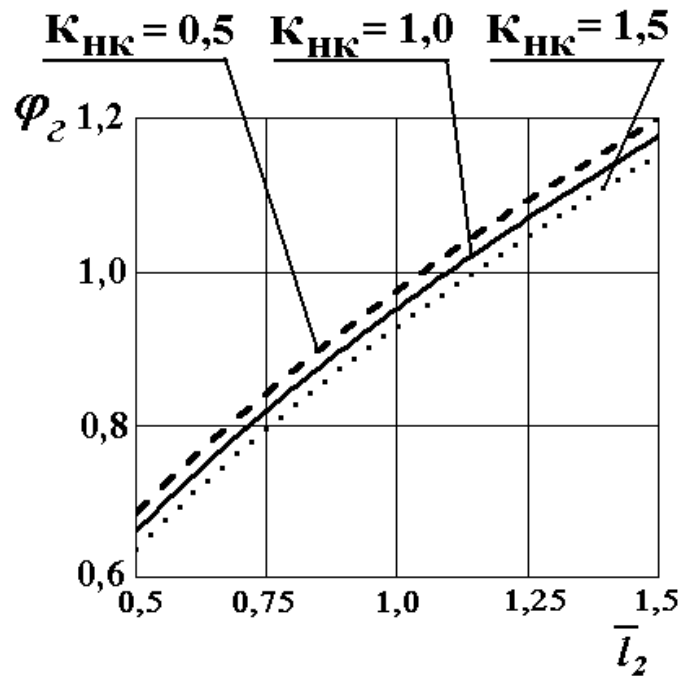


Рис. 4. Зависимости минимального значения коэффициента сцепления гусеничной машины с горизонтальной поверхностью

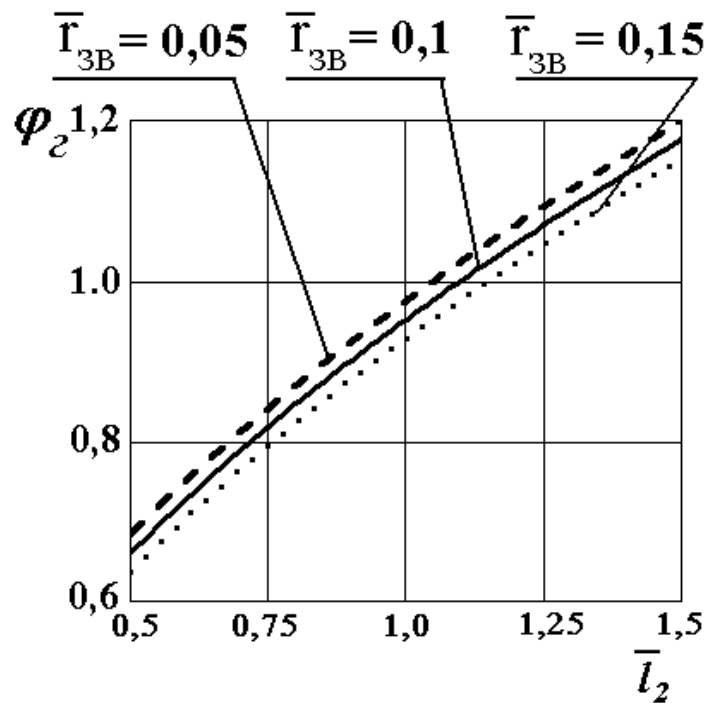


Рис. 5. Зависимости минимального значения коэффициента сцепления гусеничной машины с горизонтальной поверхностью

График, приведенный на рисунке 5 и построенный при  $\bar{r}_{3B} = [0,05; 0,1; 0,15]$ ,  $k_{cp} = 1$ ,  $k_{HK} = 1$ , показывает, что уменьшение минимально необходимого коэффициента сцепления гусеницы с горизонтальной поверхностью обеспечивает увеличение радиуса ведущей звездочки.

**Выводы.** С подъёмом передней части гусеничной машины на вертикальную стенку увеличивается угол наклона машины, при этом уменьшаются необходимые для этого подъёма тяговые усилия гусениц.

При определённых конструктивных параметрах гусеничной машины и реальных коэффициентах сцепления гусениц подъём на вертикальную стенку передней части гусениц возможен.

### Литература

1. Лабзин В.А., Холопов В.Н. Лесные сочленённые гусеничные машины. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2006. – 248 с.
2. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
3. Малкин М.А. Метод повышения профильной проходимости полноприводного автомобиля за счёт применения регулируемого силового привода колёс: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011.
4. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
5. Танк / А.С. Антонов, Б.А. Артамонов, Б.М. Коротков [и др.]. – М.: Воен. изд-во Министерства обороны СССР, 1954.



УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, Ю.Н. Макеева

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ДЛЯ ЗОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЧВООБРАБОТКИ

*Предложены модели и алгоритм адаптации колесных 4к4а тракторов к зональным технологиям почвообработки. Обоснованы тягово-скоростные режимы и интервалы изменения их эксплуатационной массы путем баллаستирования для разных операций основной обработки почвы.*

**Ключевые слова:** адаптация, балластирование, масса, параметры, трактор, тяговый режим, реакция почвы, технология почвообработки.

N.I. Selivanov, Yu.N. Makeeva

### OPERATION PARAMETERS OF WHEELED TRACTORS FOR ZONAL TILLAGE TECHNOLOGY

*The models and the adaptation algorithm of wheeled 4k4a tractors to zonal tillage technology are offered. The traction-speed modes and intervals of their operating weight change by means of ballasting for different primary tillage operation are substantiated.*

**Key words:** adaptation, ballasting, weight, parameters, tractor, traction mode, soil reaction, tillage technology.

---

**Введение.** В структурной схеме многоуровневой адаптации колесных тракторов общего назначения к зональным технологиям основной обработки почвы оптимизация массоэнергетических параметров является главной задачей второго уровня [1]. На этом уровне предусматривается обоснование энергетического потенциала  $(\xi_N N_{e\phi})^*$  и эксплуатационной массы  $m_{\phi}^*$  трактора для установленных групп родственных операций [2] основной обработки почвы с учетом природных