

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.3.004

В.В. Соколов, Н.Ф. Карпов, И.Л. Новожилов
V.V. Sokolov, N.F. Karpov, I.L. Novozhilov

ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ АГРЕГАТА НА ОТДЕЛЬНОМ ПОЛЕ И МНОЖЕСТВЕ ПОЛЕЙ

DRAFT RESISTANCE OF A SOWING UNIT ON A SEPARATE FIELD AND MANY FIELDS

Ключевые слова: тяговое сопротивление; удельное тяговое сопротивление; зависимость тягового сопротивления от скорости движения; вероятностные характеристики тягового сопротивления,

На стадии проектирования агрегатов необходимо учитывать тяговое сопротивление рабочих органов при работе на различных почвах как на отдельно взятом поле, так и на группе полей. При теоретической оценке и прогнозировании эффективности, оптимизации параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов вероятностные характеристики тягового сопротивления имеют решающее значение. Тяговое сопротивление P (или удельное тяговое сопротивление k) зависит от скорости движения. Чтобы исключить это влияние, вводится понятие приведенного тягового сопротивления P_0 (или приведенного удельного тягового сопротивления k_0) при постоянной скорости движения v_0 . Изменение тягового сопротивления во времени есть случайный стационарный эргодический процесс. Распределение приведенного тягового сопротивления может быть принято нормальным (Гаусса). Математическое ожидание $M(P_0)$ и дисперсия $D(P_0)$ остаются примерно постоянными. Пределы изменения нормально распределенной величины не ограничены. Для решения практических задач используется усеченное распределение. Для этого вводятся границы нормального распределения. Математическое ожидание $M(P_0)$ и дисперсия $D(P_0)$ изменяются при изменении условий работы. Эти вероятностные характеристики на множестве полей сами являются непрерывными случайными величинами. В целом для множества полей и агрегатов изменение их приведенного тягового сопротивления P_0 представляет случайный стационарный процесс. Он состоит из множества случайных стационарных эргодических процессов на отдельных полях. На приведенное тяговое сопротивление P_0 и приведенное удельное тяговое сопротивление k_0 оказы-

вает влияние большое количество независимых или слабо зависимых факторов. Их совместное воздействие приводит к изменению P_0 и k_0 .

Keywords: draft resistance, specific draft resistance, dependence of draft resistance on velocity, probabilistic characteristics of draft resistance.

When designing a sowing unit it is necessary to take into consideration the draft resistance of the tillage tools on different soils both on a separate field and on a group of fields. These are the probabilistic characteristics of draft resistance that are critical for the theoretical evaluation and forecasting of efficiency and the optimization of the parameters and operating regimes. Draft resistance P (or specific draft resistance k) depends on velocity. In order to exclude such dependence, a notion of matched draft resistance P_0 (or matched specific draft resistance k_0) at a constant velocity v_0 is introduced. The temporal variation of draft resistance is a random stationary ergodic process. The distribution of matched draft resistance may be considered as normal (Gauss's law). The mathematical expectation $M(P_0)$ and dispersion $D(P_0)$ remain approximately constant. The change range of a normally distributed quantity is not limited. When solving the practical problems, truncated distribution is used, for which the normal distribution limits are introduced. The mathematical expectation $M(P_0)$ and dispersion $D(P_0)$ change when the operating conditions change. These probabilistic characteristics on many fields are regarded as continuous random quantities. The change of matched draft resistance P_0 for many fields and machinery units represents a random stationary process. It consists of many random stationary ergodic processes on separate fields. A big amount of independent or weakly dependent factors affect the matched draft resistance P_0 and matched specific draft resistance k_0 . Their joint influence leads to P_0 and k_0 change.

Соколов Валерий Викторович, к.т.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-47. E-mail: traktory101@mail.ru.

Карпов Николай Федорович, к.т.н., ст. преп., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-83. E-mail: mms.asau.@yandex.ru.

Новожилов Игорь Львович, ст. преп., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-83. E-mail: mms.asau.@yandex.ru.

Sokolov Valeriy Viktorovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-47. E-mail: traktory101@mail.ru.

Karpov Nikolay Fedorovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-83. E-mail: mms.asau.@yandex.ru.

Novozhilov Igor Lvovich, Asst. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-83. E-mail: mms.asau.@yandex.ru.

Введение

В условиях эксплуатации из-за вероятностного характера тягового сопротивления агрегата скорость его движения тоже является величиной случайной («...всякий двигатель, приспособившаяся к условиям работы, меняет свою скорость...» [1, 2]). Это относится как к текущим (мгновенным), так и к средним значениям, определенным за достаточно продолжительное время (рабочий ход, обработка участка, отдельного поля и т.д.). Поэтому чтобы исключить влияние скорости движения на тяговое сопротивление агрегата, как случайную величину (процесс или функцию), будем рассматривать далее приведенное тяговое P_0 (или приведенное удельное тяговое k_0) сопротивление агрегата (при скорости движения $V_0 = \text{const}$).

Цель и задачи исследования. Изменение приведенного тягового сопротивления агрегата во времени или по пути также представляет собой случайный процесс (функцию) $P_0 = f_{p_0}(t)$. На некотором, достаточно продолжительном, интервале наблюдения, при работе на отдельном поле или части его, математическое ожидание (среднее значение) $M(P_0)$ и дисперсия $D(P_0)$ приведенного тягового сопротивления остаются примерно постоянными, то есть случайный процесс $P_0 = f_{p_0}(t)$ может быть принят стационарным, в широком смысле, и эргодическим (рис. 3, блок 1) [3]. Тогда значения $M(P_0)$ и $D(P_0)$ можно оценивать по одной реализации или части её. Такое допущение вполне обосновано и выгодно, поскольку теория стационарных случайных процессов является наиболее разработанной. Термины «на отдельном поле», «в поле» мы будем использовать применительно к агрегатам для обозначения стационарности и эргодичности процесса изменения приведенного тягового сопротивления P_0 , т.е. для «стационарных эргодических участков».

Поскольку величина P_0 зависит от множества случайных слабо зависимых или независимых факторов, то, в соответствии с общетеоретическими положениями теории вероятностей и математической статистики, распределение приведенного тягового сопротивления агрегата может быть принято нормальным (Гаусса). Случайный процесс также нормален. Результаты экспериментальных

исследований не позволяют отвергнуть эту гипотезу [4, 5 и др.].

Плотность распределения вероятностей нормально распределенной случайной величины определяется по формуле (для общности обозначений сохраним $x \equiv P_0$ или $x \equiv Y$) [6, 7] (рис. 1):

$$\varphi(x) = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp\{-[x - M(x)]^2 / [2\sigma^2(x)]\},$$

$$-\infty < x < \infty. \quad (1)$$

Пределы изменения нормально распределенной случайной величины не ограничены: $-\infty < x < \infty$ (1).

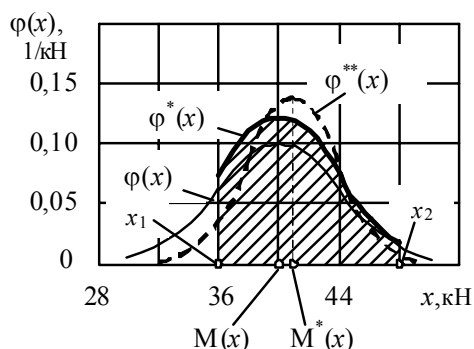


Рис. 1. Нормальное $\varphi(x)$ и усеченное нормальное (заштриховано) $\varphi^*(x)$ распределения; $\varphi^{}(x)$ – аппроксимация нормальным распределением усеченного распределения $\varphi^*(x)$**

Усеченное нормальное распределение. При решении некоторых практических задач приходится использовать так называемые «усеченные распределения» [5], в том числе усеченное нормальное распределение которое получается из нормального (1) введением конечных границ распределения (рис. 1), на котором $P_0 \equiv x$:

$$x_1 \leq x < x_2. \quad (2)$$

Рассмотрим вероятностные характеристики усеченного нормального распределения. Плотность распределения вероятностей $\varphi^*(x)$ исходя из того, что [7]

$$\int_{x_1}^{x_2} \varphi^*(x) dx = 1:$$

$$\varphi^*(x) = \mathcal{G}^{-1}(\varphi(x)), \quad x_1 \leq x < x_2, \quad (3)$$

где $\varphi(x)$ – плотность распределения вероятностей неусеченного нормального распределения (1);

\mathcal{G} – вероятность попадания случайной величины (процесса) в интервал (2) для не усеченного распределения (1):

$$\mathcal{G} \equiv p(x_1 \leq x < x_2) = \Phi(t) \Big|_{t_1}^{t_2}$$

$\Phi(t)$ – функция распределения централизованного и нормированного нормального распределения (табулирована):

$$\Phi(t) = \int_{-\infty}^t \varphi(t) dt; \quad (4)$$

$\varphi(t)$ – плотность распределения вероятностей того же распределения:

$$\varphi(t) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-t^2/2); \quad (5)$$

t – параметр или новая переменная:

$$t = [x - M(x)]/\sigma(x). \quad (6)$$

Тогда математическое ожидание $M^*(x)$ и дисперсия $D^*(x)$ усеченного нормального распределения определяются по формулам:

$$M^*(x) = M(x) + \sigma(x)M^*(t); \quad (7)$$

$$D^*(x) = D(x) D^*(t), \quad (8)$$

где $M^*(t)$, $D^*(t)$ – соответственно, математическое ожидание и дисперсия усеченного распределения по переменной t :

По переменной t :

$$M^*(t) = - \mathcal{G}^{-1} \varphi(t) \Big|_{t_1}^{t_2}$$

$$D^*(t) = 1 - \mathcal{G}^{-1} t \varphi(t) \Big|_{t_1}^{t_2} - M^{*2}(t).$$

Усеченное распределение (3) иногда целесообразно заменить нормальным с параметрами (7), (8) – $\varphi^{**}(x)$ (рис. 1).

При изменении условий работы изменяются среднее значение $M(P_o)$ и дисперсия $D(P_o)$ приведенного тягового сопротивления агрегата. Эти характеристики на множестве полей сами являются непрерывными случайными величинами и могут принять любое, заранее не известное значение. В модели принято допущение, что при изменении условий работы снова в течение достаточно продолжительного интервала наблюдения процесс $P_o = f_{p_o}(t)$ остается стационарным и эргодическим. Тогда в целом для множества полей и агрегатов изменение их приведенного тягового сопротивления P_o представляет собой случайный стационарный процесс, состоящий из множества случайных стационарных эргодических процессов на отдельных полях [8] (рис. 2, 3).

Обозначим для упрощения записей средние значения приведенного тягового сопротивления $M(P_o)$ как P_o , а удельного тягового сопротивления $M(k_o)$ – как k_o . Для них, как случайных величин, используются те же вероятностные характеристики, что и для P_o и k_o , следовательно, справедливы приведенные выше формулы, если в них заменить P_o на P_o или на k_o . На величину средних значений приведенного тягового сопротивления P_o и удельного тягового сопротивления k_o оказывает влияние большое количество независимых или слабо зависимых факторов. Это тип и механический состав почвы, её плотность, твердость и влажность, растительные остатки и др. Их совместное воздействие и приводит к изменению значений P_o и k_o . Поэтому нет оснований для отвержения гипотезы о нормальности распределения случайных величин P_o и k_o (1).

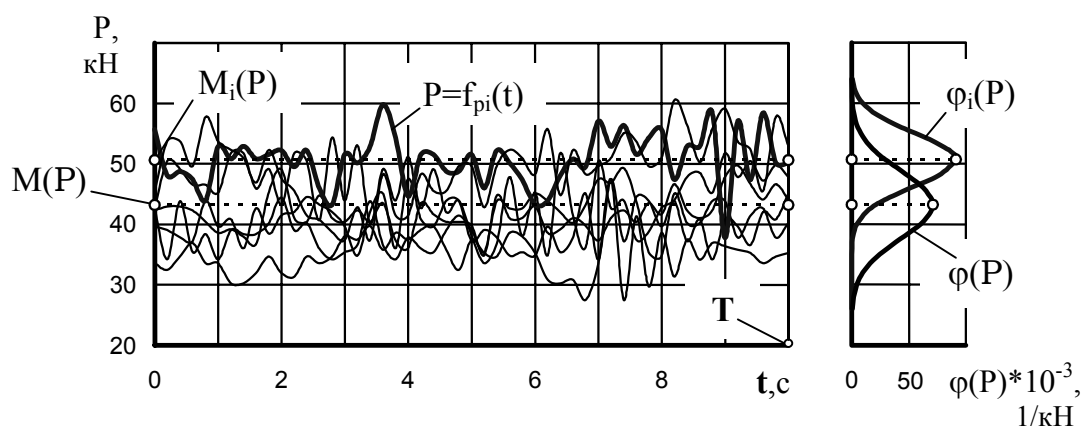


Рис. 2. Тяговое сопротивление агрегата как случайный стационарный процесс, состоящий из множества случайных стационарных эргодических процессов

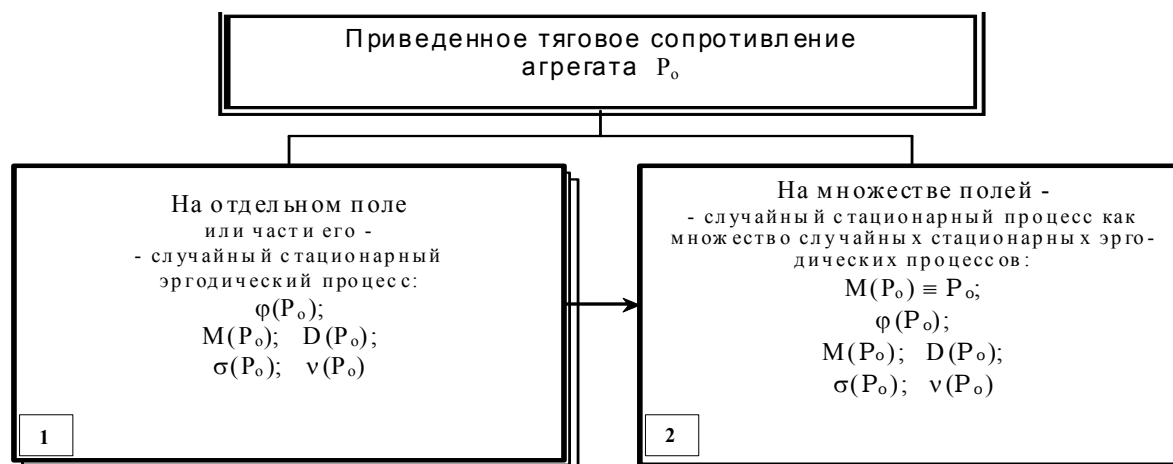


Рис. 3. Вероятностные характеристики приведенного тягового сопротивления агрегата

Выводы и практические рекомендации

Результаты теоретических исследований имеют высокую практическую значимость. Так, при проектировании различных почвообрабатывающих агрегатов, различных рабочих органов, создании перспективных тракторов необходимо учитывать тяговое сопротивление почвы в различных зонах и климатических условиях. В условиях эксплуатации знание законов изменения тягового сопротивления позволит подбирать рациональные составы машинно-тракторных агрегатов.

Библиографический список

1. Денисов А.А., Косяк А.Я. Рациональное агрегатирование энергонасыщенных тракторов // Техника в сельском хозяйстве. – 1985. – № 3. – С. 35-37.
2. Соколов В.В. Тяговое сопротивление агрегатов как случайный процесс // Механизация технологических процессов в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности: сб. науч. тр. АГАУ. – Барнаул, 1997. – С. 118-122.
3. Лурье А.Б. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. – Л.: Колос, 1979. – 312 с.
4. Агеев Л.Е., Шкрабак В.С., Моргулис-Якушев В.Ю. Сверхмощные тракторы сельскохозяйственного назначения. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 415 с.
5. Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутков Г.М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
6. Абенгауз Г.Г. и др. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
7. Гольверк А.А. Тяговые характеристики тракторов при переменной нагрузке // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 3. – С. 25-27.

Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 3. – С. 25-27.

8. Карпов Н.Ф. Обоснование рациональных параметров и режимов работы почвообрабатывающего посевного комплекса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2004. – 18 с.

References

1. Denisov A.A., Kosyak A.Ya. Ratsional'noe agregatirovanie energonasyschennykh traktorov // Tekhnika v sel'skom khozyaistve. – 1985. – № 3. – S. 35-37.
2. Sokolov V.V. Tyagovoe soprotivlenie agregatov kak sluchainyi protsess. Mekhanizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v sel'skom khozyaistve i pererabatyvayushchei promyshlennosti: Sb. nauch. tr. AGAU. – Barnaul, 1997. – S. 118-122.
3. Lur'e A.B. Modelirovanie sel'skokhozyaistvennykh agregatov i ikh sistem upravleniya. – L.: Kolos, 1979. – 312 s.
4. Ageev L.E., Shkrabak V.S., Morgulis-Yakushev V.Yu. Sverkhmoshchnye traktory sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya. – L.: Agropromizdat, 1986. – 415 s.
5. Barskii I.B., Anilovich V.Ya., Kut'kov G.M. Dinamika traktora. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 280 s.
6. Abengauz G.G. i dr. Spravochnik po veroyatnostnym raschetam. – M.: Voenizdat, 1970. – 536 s.
7. Gol'verk A.A. Tyagovye kharakteristiki traktorov pri peremenoj nagruzke // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – 1986. – № 3. – S. 25-27.
8. Karpov N.F. Obosnovanie ratsional'nykh parametrov i rezhimov raboty pochvoobrabatyvayushchego posevnogo kompleksa: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 2004. – 18 s.

