

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРАКТОРА

POTENTIAL PRODUCTIVITY OF THE TRACTOR

Г.М. КУТЬКОВ, д.т.н.

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. Т.А. Тимирязева, Москва, Россия, gkutkow@yandex.ru

G.M. KUT'KOV, DSc in Engineering

Russian State Agrarian University – Moscow K.A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, gkutkow@yandex.ru

Сельскохозяйственный трактор создан на замену живой тягловой силы с главной целью – повысить производительность труда земледельца. Но среди показателей трактора, характеризующих его технический и технологический уровень, нет обобщенного показателя производительности, отражающего главное свойство, по которому можно было бы проводить сравнительную оценку тракторов разных моделей. Необходимость введения показателя проиводительности трактора возросла в последнее время в связи с существенно повысившейся их энергонасыщенностью. Такое повышение энергонасыщенности носит хаотический характер и сопровождается разным по величине рассогласованием мощности двигателя и веса трактора. Возникает «излишек» мощности двигателя, который не может быть использован, потому что сила тяги трактора ограничена его весом, а скорость движения – агротехническими требованиями. В этих условиях введение показателя производительности трактора в число показателей технического и технологического уровня трактора приобретает еще большую актуальность. В статье определено понятие, а также обоснован и предложен расчетный показатель производительности сельскохозяйственного трактора – потенциальная производительность. Под потенциальной производительностью предлагается понимать сменную расчетную производительность трактора с орудием такой ширины захвата, при которой его тяговое сопротивление равно номинальному расчетному тяговому усилию трактора, а скорость движения машинно-тракторного агрегата максимальная при данной мощности двигателя, но не превышает скорости, установленной правилами агротехники. Предлагается принять потенциальную производительность сельскохозяйственного трактора в качестве одного из его базовых показателей технической и технологической характеристики дополнительно к существующим, а также указывать в перечне технических параметров трактора.

Ключевые слова: трактор, потенциальная производительность, энергонасыщенность, технологические свойства, тяговое сопротивление.

The agricultural tractor is designed to replace the live traction force with the main purpose - to increase the productivity of the farmer. But among the indicators of the tractor, characterizing its technical and technological level, there is no generalized performance indicator, reflecting the main property by which it would be possible to make a comparative evaluation of tractors of different models. The need to introduce an indicator of the productivity of the tractor has increased recently due to the significantly increased energy saturation. This increase in energy saturation is chaotic and is accompanied by a different mismatch in engine power and the weight of the tractor. There is a "surplus" power of the engine, which can not be used, because the traction force of the tractor is limited by its weight, and the speed of movement – by agrotechnical requirements. In these conditions, the introduction of the indicator of the tractor's performance in the number of indicators of the technical and technological level of the tractor acquires even greater urgency. The article defines the concept, substantiated and proposed a calculated indicator of agricultural tractor productivity – potential productivity. Potential productivity is proposed to understand the changeable design capacity of a tractor with a gun of such a width, at which its traction resistance is equal to the nominal design traction force of the tractor, and the speed of the machine-tractor unit is maximum for a given engine power, but does not exceed the speed established by the rules of agricultural technology. It is proposed to accept the potential performance of an agricultural tractor as one of its basic indicators of the technical and technological characteristics of the tractor in addition to the existing ones, and also to indicate in the list of technical parameters of the tractor.

Keywords: tractor, potential productivity, energy saturation, technological properties, ballasted tanks, traction resistance.

Введение

Сельскохозяйственный трактор создан на замену живой тягловой силы с главной целью – повысить производительность труда земледельца. С тех пор разработано много показателей, характеризующих технический уровень трактора. Но среди них нет показателя производительности, характеризующего главное свойство, по которому можно было бы проводить сравнительную оценку тракторов разных

моделей. Сложившуюся ситуацию можно объяснить тем, что сам по себе трактор не может развивать производительность, потому что не обладает рабочими органами, осуществляющими технологический процесс. Тем не менее, такая характеристика необходима, поскольку именно она служит главной для машины, предназначенной выполнять технологический процесс, участвуя в этом напрямую или косвенно, в составе агрегата.

Необходимость введения показателя производительности трактора возросла в последнее время в связи с существенно повысившейся их энергонасыщенностью. Такое повышение энергонасыщенности носит хаотический характер и сопровождается разным по величине рассогласованием мощности двигателя и веса трактора. Возникает «излишек» мощности двигателя, который не может быть использован, потому что сила тяги трактора ограничена его весом, а скорость движения – агротехническими требованиями. Поэтому международная практика классификации тракторов по мощности (см. табл. 1) не отвечает своим требованиям, а отечественная – по силе тяги – требует уточнения (см. табл. 2). В этих условиях введение показателя производительности трактора в число показателей технического и технологического уровня трактора приобретает еще большую актуальность.

Цель исследования

Обоснование принятия потенциальной производительности сельскохозяйственного трактора в качестве одного из базовых его показателей технической и технологической характеристики дополнительно к существующим.

Материалы, результаты исследования и их обсуждение

В статье определено понятие потенциальной производительности и приведен расчет значения ее величины. Предлагается принять этот показатель наряду с другими общепринятыми, такими как потенциальная тяговая характеристика, номинальное тяговое усилие, тяговый КПД трактора и др.

Под потенциальной будем понимать сменную расчетную производительность трактора с ору-

дием такой ширины захвата $B_{зах}$, при которой его тяговое сопротивление $P_{ор}$ равно номинальному расчетному тяговому усилию трактора $P_{кр.н}$, а скорость движения машинно-тракторного агрегата (МТА) $v_{тр}$ – максимальная при данной мощности двигателя, но не превышает скорости $v_{доп}$, установленной правилами агротехники.

При этом:

$$P_{кр.н} = P_{ор} = B_{зах} \cdot k_{ор}; v_{тр} \leq v_{доп}, \quad (1)$$

где $k_{ор}$ – удельное сопротивление орудия, кН/м.

При расчете потенциальной производительности трактора в качестве номинального принимаем тяговое усилие трактора, полученное расчетом по формуле ГОСТ 27021-86 [1] с учетом размерности:

$$P_{кр.н} = \varphi_{кр} \cdot G_{тр}, \quad (2)$$

где $\varphi_{кр}$ – коэффициент использования веса трактора по ГОСТ; $G_{тр}$ – эксплуатационный вес трактора.

Потенциальная производительность характеризует потенциальные возможности трактора. Она не зависит от конкретных условий его работы – внешних факторов, характеристики с.-х машины, используемой с трактором, отклонений параметров технологического режима от номинального и т.д. Именно поэтому потенциальная производительность может служить базовым показателем, по отношению к которому следует оценивать реальную производительность, развиваемую трактором в конкретных условиях с учетом всех эксплуатационных факторов, способных оказывать на нее влияние.

Рассмотрим взаимосвязь между потенциальной сменной производительностью и основными параметрами и характеристиками трак-

Таблица 1

Категории мощности колесных сельскохозяйственных тракторов по ИСО

Категория по мощности двигателя	I	II	III	IV
Значение мощности на ВОМ, измеренной по стандарту ИСО, кВт	До 48	До 92	80–185	150–350

Таблица 2

Тяговые классы сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов

Тяговый класс	Номинальное тяговое усилие, кН	Тяговый класс	Номинальное тяговое усилие, кН
0,2	От 1,8 до 5,4	3	Св. 27 до 36
0,6	Св. 5,4 до 8,1	4	Св. 36 до 45
0,9	Св. 8,1 до 12,6	5	Св. 45 до 54
1,4	Св. 12,6 до 18	6	Св. 54 до 72
2	Св. 18 до 27	8	Св. 72 до 108

тора. Для этого используем хорошо известную зависимость [2]:

$$W_{п.см} = B_{зах} \cdot v_{тр} \cdot \tau_{см}, \quad (3)$$

где $W_{п.см}$ – потенциальная сменная производительность; $\tau_{см}$ – коэффициент использования времени смены.

Если, как условились, тяговое сопротивление орудия равно номинальному тяговому усилию трактора $P_{ор} = P_{кр.н}$, то, используя выражения (1) и (2), можно записать:

$$B_{зах} = P_{ор} / k_{ор} = P_{кр.н} / k_{ор} = \varphi_{кр} \cdot G_{тр} / k_{ор}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что максимальная ширина захвата конкретного орудия при обработке почвы с данным удельным сопротивлением $k_{ор}$ зависит от веса трактора и коэффициента использования веса, соответствующего номинальному тяговому усилию.

Коэффициент сопротивления орудия $k_{ор}$ зависит от типа орудия и скорости его движения. В качестве типовой примем общепринятую операцию – пахоту, выполняемую плугом.

При сравнительной оценке тракторов в одинаковых почвенных условиях, с одинаковой характеристикой механических свойств почвы $k_{ор}$ для всех сравниваемых вариантов будет разным в зависимости от действительной скорости движения МТА с данным трактором:

$$k_{ор} = k_{мо} \cdot [1 + \Delta k_{ор} \cdot (v_{тр.т} - v_0)], \quad (5)$$

где $k_{мо} = k_0 \cdot d$ – удельное сопротивление при скорости до $v_0 = 1,4$ м/с (5 км/ч), кН/м; k_0 – удельное тяговое сопротивление, приходящееся на 1 м² сечения пласта, кН/м² (на вспашке $k_0 = 50$ кН/м²); d – глубина обработки почвы (на вспашке принимаем $d = 0,22$ м), м; $\Delta k_{ор}$ – относительное приращение удельного сопротивления при увеличении скорости на 0,28 м/с; $v_{тр.т}$ – действительная скорость движения трактора при номинальном тяговом усилии, м/с.

Выражение для расчета скорости трактора можно найти, используя зависимость крюковой мощности $N_{кр} = P_{кр} \cdot v_{тр}$. В составе машинно-тракторного агрегата скорость трактора следует определять с учетом влияния на нее эксплуатационных факторов:

$$v_{тр} = \frac{N_{кр}}{P_{кр.н}} = \frac{\eta_t \cdot \chi_d \cdot k_N \cdot N_{э}}{P_{кр.н}}, \quad (6)$$

где η_t – тяговый КПД трактора; χ_d – коэффициент возможной загрузки двигателя моментом сопротивления M_c по отношению к

номинальному значению крутящего момента дизеля M_n ; k_N – коэффициент возможного использования мощности двигателя, зависящий от интенсивности колебаний M_c и значения корректорного запаса крутящего момента; $N_{э}$ – эксплуатационная мощность двигателя.

Подставив выражения (4) и (6) в (3), получим:

$$W_{п.см} = \frac{\varphi_{кр.н} G_{тр} \eta_t \chi_d k_N N_{э} \tau_{см}}{P_{кр.н} k_{ор}}.$$

Подставив в полученное выражение для $W_{п.см}$ вместо номинального тягового усилия $P_{кр.н}$ его выражение (2), получим:

$$W_{п.см} = \frac{G_{тр} \mathfrak{E}_{тр} \eta_t \chi_d k_N \tau_{см}}{k_{ор}}. \quad (7)$$

При этом:

$$\mathfrak{E}_{тр} \leq \mathfrak{E}_{тр.э}, \quad (8)$$

$$\mathfrak{E}_{тр.б} \leq \mathfrak{E}_{тр.э}, \quad (9)$$

где $\mathfrak{E}_{тр}$ – энергонасыщенность трактора без балласта; $\mathfrak{E}_{тр.б}$ – энергонасыщенность трактора с весом балласта, установленным заводом-изготовителем трактора; $\mathfrak{E}_{тр.э}$ – эталонная энергонасыщенность трактора.

Вместо ограничения по скорости, когда $v_{тр} \leq v_{доп}$, введем ограничение по энергонасыщенности (8), (9). Энергонасыщенность трактора $\mathfrak{E}_{тр}$ рассчитывают по известной формуле:

$$\mathfrak{E}_{тр} = N_{э} / G_{тр},$$

а эталонная энергонасыщенность $\mathfrak{E}_{тр.э}$ – по выражению [3]:

$$\mathfrak{E}_{тр.э} = \frac{\varphi_{кр} \cdot v_{кр}}{\eta_t}, \quad (10)$$

где η_t – максимальный тяговый КПД трактора.

Расчитанная по выражению (10) эталонная энергонасыщенность сельскохозяйственного колесного трактора равна 1,5 кВт/кН и гусеничного – 1,4 кВт/Н. Как было условлено ранее, при расчете $k_{ор}$ (5), расчет $\mathfrak{E}_{тр.э}$ также выполнен при условии, что трактор занят на пахоте. При расчете использовано общепринятое номинальное значение скорости $v_{тр.н}$ на операции пахоты – 9 км/ч для колесного и 8 км/ч для гусеничного трактора. Значение коэффициента использования веса трактора при номинальном тяговом усилии $\varphi_{кр}$ регламентируется постоянным ГОСТ 27021-86. (В настоящее время нет данных о том, что он изменился.) Тяговый КПД тракторов $\eta_{т.макс}$ также продолжительное время сохраняет неизменным свое значение, хотя можно отметить некоторые колебания.

В целом следует отметить, что полученные значения эталонной энергонасыщенности для колесного и гусеничного тракторов достаточно консервативны. Их стабильность объясняется тем, что значения параметров (1), влияющих на эталонное значение энергонасыщенности, уже многие годы сохраняется неизменным и на обозримый период не просматривается их изменение. Однако, если это произойдет, значение $\Theta_{\text{тр.э}}$ без труда можно откорректировать.

Как уже отмечалось выше, в последние годы проявилась тенденция резкого повышения энергонасыщенности тракторов и появления сельскохозяйственных тракторов новой, тягово-энергетической концепции [4], способных выполнять технологические операции со скоростью, превышающей требования агротехники. Неравенства (8) и (9) учитывают агротехнические ограничения выполнения операции по скорости $v_{\text{тр}} \leq v_{\text{доп}}$, как мы условились ранее (1). Это означает, что потенциальная производительность сравниваемого трактора более высокой энергонасыщенности, чем эталонная, должна рассчитываться как $W_{\text{п}}$ трактора эталонной энергонасыщенности $\Theta_{\text{тр.э}}$ (1,5 кВт/кН для колесного и 1,4 кВт/кН для гусеничного трактора), т.е. с искусственно заниженной мощностью его двигателя, равной $N_{\text{э}} = \Theta_{\text{тр.э}} G_{\text{тр}}$ для небалластируемого трактора и $N_{\text{э}} = \Theta_{\text{тр.э}} G_{\text{тр.б}}$ – для балластируемого. Если это ограничение не учитывать, то по расчетам можно получить завышенную, нереализуемую и поэтому ложную производительность трактора с двигателем чрезмерно высокой мощности.

Рассмотрим коэффициенты $\eta_{\text{т}}$ и $\tau_{\text{см}}$ выражения (7).

Коэффициент $\eta_{\text{т}}$ может быть представлен при расчетах в виде произведения [5]:

$$\eta_{\text{т}} = \eta_{\text{тр}} \eta_{\text{f}} \eta_{\text{с}} \eta_{\text{г}},$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии трактора; η_{f} – КПД сопротивления качению трактора; $\eta_{\text{с}}$ – КПД буксования трактора; $\eta_{\text{г}}$ – КПД гусеничного движителя.

Коэффициенты $\eta_{\text{тр}}$ и η_{f} могут быть рассчитаны по известным зависимостям для конкретного конструктивного исполнения агрегатов трактора. КПД буксования $\eta_{\text{с}}$ при номинальном тяговом усилии трактора регламентирован ГОСТ 27021-86 в зависимости от типа ходовой системы и колесной формулы, а КПД гусеничного движителя сельскохозяйственного трактора принято считать равным $\eta_{\text{г}} = 0,97$.

Коэффициент возможной нагрузки дизеля $\chi_{\text{д}}$ (7) представляет собой отношение момента сопротивления $M_{\text{с}}$ на валу двигателя к номинальному крутящему моменту дизеля $M_{\text{н}}$. Он ограничивает тяговую нагрузку при выборе орудия для агрегатирования с трактором и зависит от корректорного запаса крутящего момента дизеля и типа трансмиссии. При запасе крутящего момента дизеля, равном $k_3 = 1,4-1,45$, применении гидротрансформатора и бесступенчатой автоматически регулируемой трансмиссии коэффициент возможной загрузки дизеля близок или равен единице $\chi_{\text{д}} = 1$. В остальных случаях принято агрегатировать трактор из условий загрузки дизеля не более, чем $M_{\text{с}} = (0,85-0,9) M_{\text{н}}$.

Коэффициент возможного использования мощности двигателя (7) k_{N} зависит [5] от корректорного запаса крутящего момента дизеля и от интенсивности колебаний момента сопротивления на валу двигателя $M_{\text{с}}$, т.е. от демпфирующих свойств трансмиссии. При применении гидротрансформатора, обладающего высокими демпфирующими свойствами, или дизеля с коэффициентом корректорного запаса крутящего момента $k_3 = 1,35-1,45$ коэффициент k_{N} близок к единице. Чем меньше запас крутящего момента дизеля, тем ниже значение k_{N} .

Коэффициент использования времени смены $\tau_{\text{см}}$ рассчитывают по известной зависимости:

$$\tau_{\text{см}} = 1 - \sum_{i=1}^{i=n} \tau_i,$$

где $\sum \tau_i$ – сумма коэффициентов времени смены, отражающих потери времени смены: на подготовительные операции по агрегатированию энергетического средства с с.х. машинами $\tau_{\text{п}}$; технологическое обслуживание агрегата $\tau_{\text{т}}$; устранение неисправностей $\tau_{\text{н}}$; проведение ежесменного технического обслуживания энергетического средства $\tau_{\text{в}}$; холостые проезды $\tau_{\text{х}}$; n – число коэффициентов τ .

При сравнении между собой мобильных энергетических средств по показателям технологических свойств из рассмотрения исключаются составляющие времени смены, не зависящие от свойств энергетического средства: потери времени смены по организационным причинам, метеорологическим условиям, физиологическим потребностям механизаторов, нарушению технологического процесса.

Конструктивные параметры и технические характеристики трактора, влияющие на пере-

численные выше коэффициенты, составляющие $\sum \tau_i$, известны. Однако эти параметры и характеристики применительно к тракторам высокой энергонасыщенности и интегральным требуют дополнительного анализа.

Так, по сравнению с тракторами тяговой концепции подготовка МТА к работе трактора высокой энергонасыщенности, учитываемая коэффициентом τ_n , требует дополнительных затрат времени на установку балласта или дополнительных колес, на соединение и разъединение трактора с технологическим модулем, если он применяется вместо балласта. При этом повышается также трудоемкость выполнения дополнительных операций, в том числе включая привлечение второго работника и дополнительного оборудования.

Время технологического обслуживания МТА, учитываемое коэффициентом τ_r , наиболее существенно зависит от наличия у энергетического средства площадки для размещения емкости с технологическим материалом, так как запас технологического материала позволяет снизить время на заправки агрегата за счет сокращения их количества. Примером может служить тракторное самоходное шасси или трактор с кабиной, расположенной в межосевом пространстве. Площадка за кабиной трактора может служить местом для размещения емкости с технологическим материалом.

Коэффициент τ_x , учитывающий время на холостые переезды, зависит в основном от состава агрегата и в меньшей мере от параметров энергетического средства. Тем не менее, например, трактор с поддресоренным передним мостом, оснащенный демпфером продольно-угловых колебаний (что особенно важно при движении с вывешенной навесной машиной), способен перемещаться в составе МТА при холостом переезде с более высокой средней скоростью по сравнению с трактором, технически менее совершенным.

Время, затрачиваемое на ежесменное техническое обслуживание τ_y и учитываемое коэффициентом τ_n на устранение неисправностей, определяется степенью технического совершенства энергетического средства, его техническим уровнем.

Заключение

Строго говоря, термин «производительность трактора» некорректен, так как сам по себе, без орудия, он не может выполнять сельскохозяйственную операцию и, следовательно,

но, не может развивать производительность. Однако, если рассматривать использование трактора с сельскохозяйственной машиной, обладающей конкретной характеристикой, согласованной с номинальными значениями его параметров, а также обоснованно принять скоростной режим работы агрегата, то предложенный показатель – потенциальная производительность трактора – можно признать вполне корректным и не менее важным по сравнению с уже используемыми показателями.

Предлагается принять потенциальную производительность сельскохозяйственного трактора в качестве одного из его базовых показателей технической и технологической характеристики дополнительно к существующим, а также указывать в перечне технических параметров трактора.

Литература

1. ГОСТ 27021-86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. М.: Издательство стандартов, 1987. 5 с.
2. Платонов В.Ф., Азасев В.С., Александров Е.Б. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Колесные и гусеничные машины. Т. IV-15 / Под общ. ред. В.Ф. Платонова. М.: Машиностроение, 1977. 688 с.
3. Кутьков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 5. С. 11–14.
4. Кутьков Г.М. Трактор второго поколения. М.: ФБГОУ ВТО МГАУ им. В.П. Горячкина, 2013. 104 с.
5. Кутьков Г.М. Тяговая динамика трактора. М.: Машиностроение, 1980. 216 с.

References

1. GOST 27021-86. Tractors, agricultural and forestry. Traction classes. Moscow: Izdatel'stvo standartov Publ., 1987. 5 p.
2. Platonov V.F., Azaev V.S., Aleksandrov E.B. i dr. Mashinostroenie. Entsiklopediya. Kolesnye i gusenichnye mashiny. T. IV-15. Pod obshch. red. V.F. Platonova [Mechanical engineering. Encyclopedia. Wheeled and caterpillar machines. V. IV-15]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977. 688 p.
3. Kut'kov G.M. Energy saturation and classification of tractors. Traktory i sel'khoz mashiny. 2009. No 5, pp. 11–14.
4. Kut'kov G.M. Traktor vtorogo pokoleniya [Second generation tractor]. Moscow: FBGOU VTO MGAU im. V.P. Goryachkina Publ., 2013. 104 p.
5. Kut'kov G.M. Tyagovaya dinamika traktora [Traction dynamics of the tractor]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1980. 216 p.