

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОТОАГРЕГАТОВ

Овсянников С.И., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства имени Петра Василенко*

Рассмотрены факторы, влияющие на производительность мотоагрегатов. Установлено, что при расчете производительности мотоагрегатов необходимо учитывать степень физического участия оператора в тяговой динамике агрегата.

Актуальность. В последнее время значительно расширилось применение средств малой механизации в разных сферах деятельности человека. Традиционными являются приусадебные хозяйства, дачные участки и огороды, теплицы, зоны озеленения – газоны и цветники. Все больше минитехника используется в строительстве. Наибольшее распространение получили агрегаты на базе мотоблоков и мотоорудия, которые можно объединить в категорию мотоагрегаты [1]. Наряду с повышением производительности, по сравнению с ручным трудом, в ряде работ [2, 3] отмечается, что управление мотоагрегатом относится к тяжелым условиям труда, приводит к быстрой утомляемости оператора и частым остановкам для восстановления его сил. Это связано с тем, что оператор не только участвует в процессе управления агрегатом, но и в процессе тяговой динамики движения. С одной стороны, оператор способствует поддержанию стабильной скорости движения агрегата при перегрузках, тем самым повышая производительность агрегата, с другой – это приводит к его быстрой утомляемости и остановкам для отдыха, что снижает производительность агрегата в целом.

Анализ публикаций. В работе [2] отмечается, что по взаимному участию в энергообеспечении работы мотоагрегатов затраты энергии оператора и двигателя примерно равны. В связи с этим работа с пахотными мотоагрегатами относится к тяжелым условиям труда. В работе [1] рассмотрены факторы, оказывающие влияние на производительность мотоагрегата. В работе [4] предложена структурная модель системы «Оператор – мотоагрегат – среда», на основе которой установлены силовые, кинематические, информационные и другие взаимодействия оператора с мотоагрегатом. В работе [5] обоснована методика оценки физических возможностей оператора и представлены рекомендации к расчету периодичности циклов «работа – отдых» в зависимости от интенсивности физического участия оператора в работе агрегата.

Однако в настоящее время при расчете производительности машинно-тракторных агрегатов фактор участия оператора оценивается только коэффициентом использования рабочего времени [6] или в лучшем случае

коэффициентом, учитывающим физиологические потребности человека [8], что крайне недостаточно для расчета производительности мотоагрегатов.

Поэтому, **целью работы** является обосновать уточнение закономерности расчета производительности мотоагрегатов с учетом степени участия оператора в тяговой динамике.

Задачи: Определить затраты времени на выполнение работы мотоагрегатом; Обосновать необходимость учитывать в расчетах производительности мотоагрегатов степень участия оператора в тяговой динамике.

Изложение основного материала. Производительность машинно-тракторных агрегатов зависит от ширины захвата рабочих органов, скорости движения и времени выполнения операции [1]:

$$W = 0,36 \cdot V_p \cdot B_p \cdot T_p, \text{ га} \quad (1)$$

де V_p – рабочая скорость движения, м/с;

B_p – фактическая ширина захвата агрегата, м;

T_p – время, затраченное непосредственно на выполнение работы, час.

Однако, в процессе работы агрегата присутствуют непроизводительные затраты времени [8], которые уменьшают время чистой работы на протяжении смены или всего цикла выполнения работ:

$$T_{\Sigma} = T_p + T_{НЗ}, \text{ час.} \quad (2)$$

Непроизводительные затраты времени включают:

$$T_{НЗ} = T_{ПЗ} + T_{ТО} + T_{П} + T_{X} + T_{ПР} + T_{Н} + T_{ОР} + T_{М} + T_{Ф}, \text{ час,} \quad (3)$$

где $T_{НЗ}$ - время на подготовительно-заключительные работы;

$T_{то}$ – время на проведение ТО;

$T_{П}$ – технологические простои (заправка технологическими материалами и т.п.);

T_{X} – время холостых переездов в загоне;

$T_{ПР}$ – время простоев из-за нарушения технологического процесса (очистка рабочих органов, регулировки и настройки машин и т.п.);

$T_{Н}$ – простой из-за технических неисправностей;

$T_{ОР}$ – простой по организационным причинам;

$T_{М}$ – простой по метеорологическим причинам;

$T_{Ф}$ – простой по физиологическим потребностям человека.

На практике непроизводительные затраты времени группируют и учитывают в расчетах в форме коэффициентов:

- коэффициент, учитывающий время на техническую подготовку агрегата

$$K_T = 1 - \frac{T_{ПЗ} + T_{ГО}}{T_{\Sigma}} \quad (4)$$

- - коэффициент, учитывающий время на технологическую подготовку

$$K_{ТХ} = 1 - \frac{T_{П} + T_{Х}}{T_{\Sigma}} ; \quad (5)$$

- коэффициент, учитывающий время на устранение отказов и неисправностей

$$K_{ОТК} = 1 - \frac{T_{ПР} + T_{Н}}{T_{\Sigma}} ; \quad (6)$$

- коэффициент, учитывающий время на организационно-метеорологические простои техническую подготовку агрегата

$$K_{СМ} = 1 - \frac{T_{ОР} + T_{М} + T_{Ф}}{T_{\Sigma}} ; \quad (7)$$

В некоторых случаях [8] непроизводительные расходы времени оценивают коэффициентом использования времени смены:

$$\tau = \frac{T_P}{T_P + T_{НЗ}}, \text{ или} \quad (8)$$

$$\tau = K_T \cdot K_{ТХ} \cdot K_{ОТК} \cdot K_{СМ}, \text{ га} \quad (9)$$

При работе с мотоагрегатами доля времени на отдых и восстановление сил оператора значительно больше, чем при работе на традиционных тракторах [5], и составляет до 60-70 % от общего времени выполнения работы. Для учета этих затрат времени предлагается при расчетах производительности мотоагрегатов использовать коэффициент учета времени отдыха оператора:

$$\tau_{ОП} = \frac{T_P}{T_P + T_{ОТ}}, \quad (10)$$

Рабочая ширина захвата B_p является величиной переменной, т.к. в процессе движения она изменяется на величину перекрытия. Например, при сплошной культивации или дисковании ширина захвата уменьшается на величину перекрытия, а для посевных или пахотных – увеличивается. В общем

случае величина перекрытия учитывается коэффициентом β использования ширины захвата [8]:

$$B_p = B_k \cdot \beta. \quad (11)$$

Рабочая скорость движения агрегата всегда меньше теоретической на величину буксования:

$$V_p = V_T \cdot (1 - \delta), \quad (12)$$

где δ - коэффициент буксования.

Тогда, действительная производительность будет равна:

$$W = 0,36 \cdot V_T \cdot (1 - \delta) \cdot B \cdot \beta \cdot T_p = 0,36 \cdot V_T \cdot (1 - \delta) \cdot B \cdot \beta \cdot T_\Sigma \cdot \tau \cdot \tau_{оп}, \text{ га} \quad (13)$$

Соотношение времени работы и отдыха оператора в зависимости от степени интенсивности физической нагрузки рассмотрено в работе [3] и представлено в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость продолжительности работы и отдыха человека в зависимости от доли анаэробного образования энергии в общей системе энергообразования.

Доля анаэробного образования энергии	0,06	0,1	0,15	0,30
Продолжительность работы без отдыха, мин	24-45	12-20	8-13	4-6
Продолжительность отдыха, мин	5-10	30-40	30-90	более 300

Соотношение $\tau_{оп} = \frac{T_p}{T_p + T_{от}}$ предлагается оценивать коэффициентом полезного действия оператора:

$$\eta_{оп} = \frac{T_p}{T_p + T_{от}} = 1 - K_{оп} = 1 - \frac{E_{оп}}{E_{оп,MAX}}, \quad (14)$$

где $K_{оп}$ - коэффициент интенсивности применения физической энергии оператором;

$E_{оп}$ - энергия, затрачиваемая оператором во время работы с мотоагрегатом;

$E_{оп,MAX}$ - максимально возможная энергия, развиваемая оператором.

Методика ее определения представлена в работе [5].

Затраты энергии оператора, используемые для стабилизации тягового баланса мотоагрегата, определим из баланса мощности. Принимаем, что агрегат является тяговым, движется по ровной поверхности без уклонов. Необходимая мощность для выполнения работы составит:

$$N_{\text{ПОТР}} = N_{\text{АГР}}^T + N_{\delta} + N_f + N_{\text{ТР}}, \quad (15)$$

где $N_{\text{агр}}^m$ – тяговая агротехнически полезная мощность;

N_{δ} - мощность, затрачиваемая на буксование движителей,

N_f – мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления движению;

$N_{\text{тр}}$ – мощность, затрачиваемая на потери в трансмиссии.

Подводится энергия от двух источников - эффективная мощность двигателя и мощность от толкающего в продольном направлении усилия оператора:

$$N_{\text{Э.ДВ}} + N_{\text{ОП}}^T = N_{\text{ПОТР}}. \quad (16)$$

Тогда тяговый баланс примет вид:

$$N_{\text{Э.ДВ}} + N_{\text{ОП}}^T = N_{\text{АГР}}^T + N_{\delta} + N_f + N_{\text{ТР}}, \quad (17)$$

$$N_{\text{ОП}}^T = (N_{\text{АГР}}^T + N_{\delta} + N_f + N_{\text{ТР}}) - N_{\text{Э.ДВ}}, \quad (18)$$

т.е. недостаток эффективной мощности двигателя компенсируется оператором путем приложения усилий в продольном направлении на штанги агрегата в единицу времени. Но оператор прикладывает усилия только в том случае, если $N_{\text{ПОТР}} - N_{\text{Э.ДВ}} > 0$. На практике это выражено повышенным буксованием и значительным снижением скорости движения. Действия оператора не имеют стабильного характера, являются величиной случайной и подчиняются закону распределения случайной величины. В общем виде мощность, затрачиваемая оператором в тяговой динамике, в определенный момент времени равна:

$$N_{\text{ОП}}^T = P_{\text{Т}} \cdot V_{\text{П}} = P_{\text{Т}} \frac{ds}{dt}, \text{ Вт} \quad (19)$$

Тогда, затраченная оператором энергия:

$$E_{OP}^T = P_T \cdot V_P \cdot t = P_T \frac{dx}{dt}, \text{ Вт с} \quad (20)$$

где dx – элементарное перемещение в продольном направлении за время dt .

Кроме этого, оператор прикладывает к штангам управления усилия в поперечном направлении для обеспечения движения по заданной траектории и в вертикальной плоскости для корректирования глубины погружения рабочих органов в грунт:

$$E_{OP}^{YPP} = E_{OP}^Y + E_{OP}^Z, \quad (21)$$

где E_{on}^y , E_{on}^z – энергия, затрачиваемая оператором соответственно в поперечном и вертикальном направлениях.

В мгновенный период времени энергия, затраченная на управление, составит:

$$E_{OP}^{YPP} = \bar{P}_Y \frac{dx}{dt} + \bar{P}_Z \frac{dx}{dt} = \sqrt{P_Y^2 + P_Z^2} \frac{dx}{dt}. \quad (22)$$

В безразмерном виде КПД мотоагрегата можно описать выражением:

$$\eta_{AGR} = \frac{W_D}{W_T} = \frac{0,36 \cdot V_T \cdot (1 - \delta) \cdot B_T \cdot \beta \cdot T_\Sigma (1 - K_{OP})}{0,36 \cdot V_T \cdot B_T \cdot T_\Sigma} = \eta_\delta \cdot \eta_T \cdot \eta_{OP}, \quad (23)$$

где η_δ - КПД буксования;

η_T – КПД захвата орудия;

η_{OP} – КПД оператора.

Выводы

Производительность мотоагрегатов кроме основных составляющих (ширины захвата, скорости движения, продолжительности выполнения работы) зависит от степени физического участия оператора в тяговой динамике.

Степень участия оператора в тяговой динамике агрегата предложено оценивать коэффициентом интенсивности его физического участия как отношение затрачиваемой энергии к максимально возможной энергии, развиваемой данным человеком.

Список использованных источников

1. Овсянников С. Классификация и концепция развития минагротехники / С. Овсянников // Вісн. наук. праць ХНТУСГ. Вип. 94. – Х. : ХНТУСГ, 2010. - С. 304-309.
2. Келлер Н. О концепции развития мобильной мини-техники на современном этапе / Н. Келлер, А. Цветков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003, № 4. - С. 7-10.
3. Сергей Овсянников. Энергетические затраты оператора при управлении мотоагрегатом / С. Овсянников // Motrol . Commission of motorization and energetics in agriculture . Vol. 15, № 7. – Lublin-Rzeszow 2013. – S. 45-50.
4. Овсянников С., Ремарчук Н. Аспекты функциональной стабильности агрегатов на базе мотоблоков / С. Овсянников, Н. Ремарчук // Сільськогосподарські машини : Зб . наук . статей – Вип. 20. – Луцьк : Ред. – вид. відділ ЛНТУ, 2010. – С. 234 – 242.
5. Овсянников С . І . Методика визначення енерговитрат оператора під час керування мотоагрегатом / С . І . Овсянников // Сільськогосподарські машини : Зб . наук . статей – Вип. 25 . – Луцьк : Ред . – вид . відділ ЛНТУ , 2013 . – С 93 - 101.
6. Кузьмин Н . В . Предельные законы теории производительности машинно-тракторных агрегатов / Н . В . Кузьмин // Механизация и электрификация с.-х. производства. – 2005. - № 10. – С. 6 - 8.
7. Попов Л . А . Эксплуатация машинно–тракторного парка в аграрном комплексе : Учебное пособие / Л . А . Попов // Сыктывкарский лесной институт. – Сыктывкар, 2004. – 152 с.
8. Карабаницкий А . П ., Кочкин Е . А . Теоретические основы производственной эксплуатации МТП / А . П . Карабаницкий, Е . А . Кочкин // - М . : КолосС, 2009. – 152 с.

Анотація

Розглянуті фактори, які впливають на продуктивність мотоагрегатів. Встановлено, що під час розрахунків продуктивності мотоагрегатів необхідно враховувати ступень фізичної участі оператора в тяговій динаміці агрегату.

Ключові слова. Мотоагрегат, продуктивність, оператор, витрати енергії людини.

Abstract

Considered factors which influence on the productivity of walking tractor. It is set that during the calculations of the productivity of walking tractor it is necessary to take into account feet of physical participation of operator in the hauling dynamics of aggregate.

Key words: walking tractor, productivity, operator, charges of energy of man.