

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ ОПЕРАТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ МОТОАГРЕГАТОМ

Сергей Овсянников

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

Ул. Артема 44, Харьков, Украина. E-mail: khstua@lin.com.ua

Sergei Ovsyannikov

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture

St. Artem 44, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khstua@lin.com.ua

Аннотация. В работе представлена методика определения энергозатрат оператора при управлении мотоагрегатом, продолжительности выполнения работы и времени отдыха. Обосновано необходимость применения коэффициента участия оператора в расчетах производительности агрегата.

Ключевые слова: мотоагрегат, оператор, мышечная энергия, производительность мотоагрегата.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Работа агрегатов на базе мотоблоков и мотоорудий осуществляется от действия двух источников энергии: энергии сгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания и физической энергии оператора [17]. Энергия оператора расходуется на обеспечение курсового движения (управление в горизонтальной плоскости), обеспечение агротехнических параметров работы агрегата (управление в вертикальной плоскости), силовое участие в тяговой динамике агрегата (управление в продольном направлении), обеспечение устойчивости агрегата от опрокидывания, пешеходное передвижение самого оператора по обработанной поверхности [14]. Степень физического участия оператора в процессе работы агрегата не изучен, однако из практики работы с мотоагрегатами известно, что продолжительность непрерывной работы составляет 0,25-0,5 часа, а время перерыва на отдых – 0,25-0,75 часа [10]. Таким образом, производительность мотоагрегатов и мотоорудий непосредственно зависят от степени участия оператора в работе агрегата.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Тяговая динамика мотоагрегатов описывается в работе [11, 15, 16, 18], где отмечает-

ся, что под действием колебаний тягового сопротивления рабочих органов орудий и неровностей поверхности передвижения вследствие действия реактивного момента на штангах управления происходит постоянное изменение их положения.

Основными факторами, влияющими на тяговые свойства и курсовую стойкость движения, является сцепление движителей с опорным основанием, которые достаточно полно описываются в работах [3, 4, 6, 8, 12, 15, 20]. Разгонные качества и тяговая динамика работы агрегата описываются в работах [6, 11]. Для восстановления заданного положения штанг оператор вынужден прикладывать физическую силу как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях [4].

Интенсивность воздействия оператора на органы управления непосредственно влияет на его усталость и определяет периодичность и длительность циклов "работа-отдых". Такие исследования на сегодняшний день проводятся в основном для спортсменов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ.

Целью работы является теоретическое обоснование периодичности циклов "работа-отдых" оператора мотоагрегата в зависимости от его физического участия в управлении движением агрегата. Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи: определить энергозатраты оператора на самопередвижение; определить энергозатраты оператора на управление мотоагрегатом; определить продолжительность циклов "работа-отдых" в зависимости от интенсивности физической нагрузки оператора; обосновать необходимость учета степени участия оператора в общей производительности агрегата.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Оператор во время работы мотоагрегата передвигается пешком со средней скоростью 1,8-3,6 км/ч (0,5-1,0 м/с) по обработанной рыхлой почве. Одновременно он прикладывает усилия на штанги мотоблока для управления работой. Тогда общие затраты энергии оператора будут составлять:

$$E_{on} = E_x + E_{упр} + E_{общ}, \quad (1)$$

где: E_x – энергия, затрачиваемая на ходьбу по рыхлой почве,

$E_{упр}$ – энергия, затрачиваемая на управление мотоагрегатом,

$E_{общ}$ – энергия основного обмена организма.

Расход энергии при ходьбе по твердой поверхности (дороге) со скоростью 0,5-0,7 м/с составляет 2,86 ккал/час на 1 кг веса оператора [2]. При движении по рыхлой почве расход энергии дополнительно увеличивается на 3,6 ккал/час. Таким образом расход энергии оператора по рыхлой почве составит:

$$E_x = 2,86 + 3,6 = 6,46 \text{ ккал/час}\cdot\text{кг.}$$

Расход энергии на основной обмен (работа внутренних органов и теплообмен) зависит от пола, возраста, роста оператора, температуры окружающей среды и других факторов. На протяжении суток человек тратит разное количество энергии основным обменом, в дневное время – больше, в ночное – меньше. Зависимость основного обмена энергии мужчин и женщин от массы тела и возраста по данным [9] представлен на рис. 1.

Если принять, что операторы имеют средний возраст 30-39 лет и учесть, что работы с

мотоагрегатом выполняют мужчины со средним весом 70 кг, затраты энергии на основной обмен составят 1990 ккал/сутки, или 1,2 ккал/час·кг. Учитывая, что активность работы внутренних органов в дневное время выше, чем в ночное, окончательно принимаем расход энергии в активный период 1,33 ккал/час·кг и в период сна 0,89 ккал/час·кг.

Для определения затрат энергии на управление мотоагрегатом проведены исследования [11], в результате которых установлены: средние значения усилий; их средне квадратические отклонения; скорость изменения усилий в горизонтальной и вертикальной плоскостях (табл. 1 и 2) соответственно для пахотного и транспортного агрегата.

По интенсивности и силовым нагрузкам работу оператора мотоагрегата можно приравнять к пилению дров ручной пилой [5]. При интенсивном режиме работы, что соответствует управлению пахотным агрегатом, расход энергии составляет $E_{упр} = 6,86$ ккал/час·кг, а при спокойном режиме, что соответствует управлению транспортным агрегатом, $E_{упр} = 4,98$ ккал/час·кг. Тогда суммарный расход энергии оператора во время работы с мотоагрегатом составит:

при выполнении рабочих операции:

$$E_{on.p} = 6,46 + 6,86 + 1,33 = 14,65 \text{ ккал/час}\cdot\text{кг,}$$

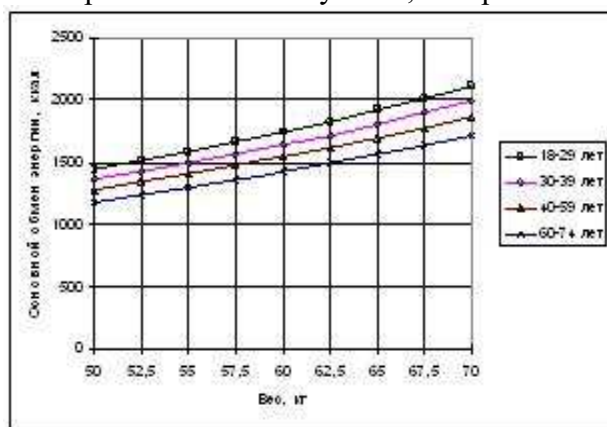
при выполнении транспортных операции:

$$E_{on.mp} = 6,46 + 4,98 + 1,33 = 12,77 \text{ ккал/час}\cdot\text{кг.}$$

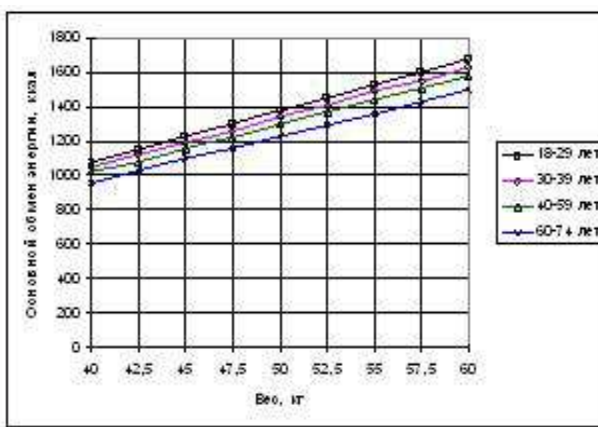
При среднем весе оператора 75 кг:

$$E_{on.p} = 1099 \text{ ккал/сут} = 17 \text{ ккал/мин,}$$

$$E_{on.mp} = 958 \text{ ккал/сут} = 11,17 \text{ ккал/мин.}$$



а)



б)

Рис. 1. Зависимость основного обмена энергии от массы тела и возраста человека:

а – мужчин; б – женщин

Fig. 1. Dependence of basic exchange of energy on body and age of man weight: a – men;

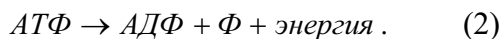
b – women

Таблица 1. Усилия F , среднеквадратичные отклонения усилий σ , скорость изменения силы V_{Fcp} , среднеквадратичное отклонение скорости σ_v на штангах управления мотоблока "Мотор Сич" при движении на стерне и грунтовой дороге

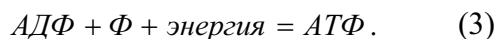
Table 1. Efforts of F , standard deviations of efforts σ , speed of change of force of V_{Fcp} , standard deviation of speed σ_v of v on the barbells of management of walking tractor "Motor-Sich" at motion on stubble and dirt road

Почвенный фон	Fкр.с р, Н	Верт. плоскость				Гориз. плоскость			
		Fcp, Н	σ , Н	VFcp, Н/с	σ_v , Н/с	Fcp, Н	σ , Н	VFcp, Н/с	σ_v , Н/с
Стерня	770	176	240	-3,7	134	-72	16,6	-1	64,8
Грунтовая дорога	228	-54	72,6	-1,8	30	1,38	12,3	-0,2	8,5

Мышечная энергия образуется при расщеплении аденозинтрифосфата (АТФ) на аденозиндифосфат (АДФ) и фосфат (Ф). Полученная энергия (примерно 1/3) вызывает сокращение мышечной ткани и выделение тепла (примерно 2/3) [9]. Условно этот процесс можно записать так:



Продолжительность получения таким образом энергии составляет всего 1-3 сек, т.к. запасы АТФ очень малы. Одновременно организм запускает механизм обратного синтеза АТФ, который называется фосфорилированием:



В зависимости от участия кислорода в получении энергии различают анаэробное (без участия кислорода) и аэробное (с участием кислорода) энергообразование.

Анаэробное энергообразование обеспечивает интенсивное выделение энергии за короткий промежуток времени и осуществляется двумя способами:

- при взаимодействии с креатинфосфатом: выход энергии примерно такой же, как с АТФ, но его хватает только на 7-12 сек (максимально 15-30 сек интенсивного сокращения мышц);

- расщепление содержащегося в мышце гликогена: расщепление происходит не полное, а лишь до образования молочной кислоты (анаэробная лактатная система). Выделение энергии при этом в несколько раз меньше, чем при расщеплении креатинфосфата. Но энергии хватает на 2-3 мин интенсивной работы, т.к. накапливаемая в мышце кислота приводит к снижению скорости расщепления гликогена.

В такой ситуации человек вынужден остановиться, чтобы "перевести дыхание" и дожидаться вывода из работающих мышц излишков молочной кислоты, или же снизить интенсивность выполняемой работы, чтобы запустить следующую систему получения энергии.

Аэробное энергообразование происходит с участием кислорода, поставляемого в мышцы вместе с кровью. При наличии достаточного количества кислорода, гликоген может распадаться до углекислого газа и воды с высвобождением энергии. Процесс происходит в два этапа: гликоген расщепляется до молочной кислоты; окисление молочной кислоты с выделением углекислого газа, воды и большого количества энергии. Такая же реакция может происходить и с жирными кислотами, но энергии при этом выделяется в три раза больше!

Однако эти процессы требуют значительного поступления кислорода, которое ограничено работой легочной и сердечно-сосудистой системами, особенно для расщепления жирных кислот. Поступление жирных кислот к мышцам обеспечивается также потоком крови. У тренированных людей эта способность развита сильнее, что обеспечивает им большую выносливость.

Аэробная система запускается практически сразу с момента начала физической нагрузки, но выходит на максимальную мощность через 2-3 мин. Распад жирных кислот начинается через 20-30 мин. Однако, при недостатке кислорода происходит смешанное одновременное аэробно-анаэробное энергообразование. При чем доля анаэробного составляет от 0,1 до 0,3 в общем энергообеспечении и зависит от интенсивности работы человека (табл. 2). Таким образом,

максимальная продолжительность работы оператора составляет 30-45 мин на транспортных операциях и 15-20 мин при выполнении с.-х. операций.

Процесс восстановления энергии осуществляется путем окислительных операций при помощи кислорода [19], продолжительность которого составляет:

- восстановление креатин фосфатов (первоочередное) – 2-5 мин;
- устранение молочной кислоты – 0,5-1,5 часа в зависимости от величины кислородного голода;
- восстановление мышечного и печеночного гликогена – 12-48 часов;
- усиление синтеза белков (мышечных тканей) – 12-72 часа;
- восстановление запасов кислорода в мышцах – очень быстро.

Учитывая, что мышечная работа оператора осуществляется смешанным способом, в мышцах накапливается кислота и на ее окисление необходимо минимум 0,5 часа. В случаях досрочного прекращения отдыха, запас энергии в мышцах уменьшается, следовательно уменьшается продолжительность работы до следующего отдыха, а время отдыха увеличивается. Физическая подготовка и тренировки способствуют увеличению работоспособности до 10-15%.

Таким образом, продолжительность работы оператора составляет 15-20 мин с последующим отдыхом 30-40 мин. Если оператор работает более 4 часов в сутки, в организме возникает дефицит гликогена, для восстановления которого необходимо не менее 24 часов.

Таким образом, производительность мотоагрегата, кроме всех известных составляющих, будет зависеть от интенсивности участия оператора в работе агрегата. Произ-

водительность мотоагрегата в общем случае определяется по формуле:

$$W_a = B \cdot V \cdot T \cdot K_{cm} \cdot K_m, \quad (4)$$

где: B – ширина захвата агрегата; V – скорость движения агрегата; T – полное время работы агрегата; K_{cm} – коэффициент использования времени смены; K_m – технологический коэффициент, учитывающий время подготовки и обслуживания агрегата, степень перекрытия рабочих проходов и т.п.

Однако данная зависимость не учитывает время на отдых оператора. Для этого в формулу (4) предлагается ввести коэффициент полезного действия оператора η_{on} :

$$W_{ma} = B \cdot V \cdot T \cdot K_{cm} \cdot K_m \cdot \eta_{on}. \quad (5)$$

Учитывая, что время работы агрегата состоит из чистого времени выполнения операции и времени отдыха оператора, получим:

$$T = T_p + T_{omd}, \quad (6)$$

где: T_p – время выполнения операции, T_{omd} – время отдыха оператора.

Коэффициент полезного действия оператора зависит от интенсивности силового управления, рабочей скорости передвижения агрегата и других факторов. В общем случае коэффициент полезного действия можно определить как:

$$\eta_{on} = 1 - K_{on} = 1 - \frac{E_{on}}{E_{on.max}}, \quad (7)$$

где: K_{on} – коэффициент силовой интенсивности оператора; E_{on} – энергия, затрачиваемая оператором, ккал/мин; $E_{on.max}$ – максимальная энергия, развиваемая оператором под действием анаэробных процессов восстановления энергии.

Таблица 2. Зависимость продолжительности работы человека от доли анаэробного энергообеспечения в общей системе получения энергии

Table 2. Dependence of uptime of man on the stake of anaerobic formation of energy in the general system of receipt of energy

Доля анаэробного энергообеспечения	0,06	0,1	0,15	0,30
Продолжительность работы человека, мин	24-45	12-20	8-13	4-6

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований образования и восстановления мышечной энергии человека уточнена зависимость определения производительности мотоагрегатов путем введения коэффициента полезного действия оператора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fiziologia cheloveka : Uchebnik dlya studentov medizinskih institutov / Pod red. Kosizkogo G. - M. : Medizina, 1985. - 544.
2. Gorchakova N., Gudivok Ya., Gunina L. 2010. Farmokologia sporta. pod obsh. red. S. Oleynik, L. – K. : Olimp. 1-ra, - 640.
3. Guskov V. V., Velev N. N. , Atamanov Yu. E. 1988. Traktory: teoriya: Uchebnik dlya studentov vuzov po spetsialnosti Avtomobili i traktory» / Pod obshch. red. V.V. Guskova. – M.: Mashinostroyeniye, 376.
4. Guzol O., Kovbasa V., Kurka V. 2011. Fizychni rivniannia deformazii gruntu z suttevyym proiavom vyazkoplasychnykh vlastyvoitei. Motrol. Motoryzacija i energetyka rol'nictva, Lublin, Tom 13, 145-155.
5. Keller N., Zvetkov A. 2003. O koncepciyah razvitiya mobilnoy minitehniki na sovremenom etape. Traktory i sel'skoho-zyaistvennyye mashyny., № 4, 7-10.
6. Levin N. 1986. Opredelenie nekotorykh pokazatelei vzaimodeystvia kolesnogo dvijatelya traktora s pochvogruntom. Traktory i sel'skoho-zyaistvennyye mashyny. №6, 6-10.
7. Loveikin V., Romasevich U. 2012. Optimisazija rejima razgona odnomassovoi dinamicheskoi systemy s integralnymi ogranicheniyami. Motrol. Motoryzacija i energetyka rol'nictva. Lublin, Tom 14-3, 158-163.
8. Malesa V. 2012. Primenenie metoda konechnykh elementov v obosnovanii vybora parametrov vzaimodeystvia shiny s opornym osnovaniem v kontakte. Motrol. Motoryzacija i energetyka rol'nictva. Lublin, Tom 13. 136-144.
9. Myshzy. Ih stroenie i rabota. / Rejim dostupa do resursa: <http://www.hudeika.ru/pitanie-do-i-posle-trenirovki.html>
10. Ovsyannikov S. 2010. Klassifikazija i koncepcija razvitiya miniagrotehniki. Visn. nauk. praz' KhNTUSG. Vyp. 94. –Kh. : KhNTUSG, 304-309.
11. Ovsyannikov S., Marchishak A. 2012. Issledovaniya silovogo upravliaushego

vzaimodeystvia v podsysteme "Operator-motoblok". Visn. KhNTUSG, vyp. 123 "Systemotekhnika i tehnologiy lisovogo kompleksu". – Kh. : 20-26.

12. Ovsyannikov S. 2012. Issledovanie tiagovykh parametrov pnevmaticheskikh shyn motoagrotehniki na ryhlyh pochvah. Visn. KhNTUSG. Tehnichni nauky: vyp. 124 "Mehanizazija s.-g. vyrobnyztva", tom 2. – Kh.: 75-80.
13. Ovsyannikov S. 2013. K voprosu o kachenii jestkogo kolesa motoagrotehniki. Visn. KhNTUSG : vyp. 136 "Systemotekhnika i tehnologiy lisovogo kompleksu". Kh, 43-53.
14. Ovsyannikov S. 2012. Silovoe vzaimodeystvie operatora pri upravlenii motoagregatom. Visnyk NTU "KhPI", seria : Avtomobile- ta traktorobuduvannya. № 60. 25-30.
15. Ovsyannikov S. I. 2013. K voprosu o kachenii zhestkogo kolesa motoagrotehniki. Visnik KhNTUSG № 136, 43-54.
16. Ovsyannikov S. I. 1997. Pidvishchennya tyagovozchepnykh vlastyvoitey malogabaritnykh traktoriv v roslinnitstvi. Avtoreferat disertatsii na zdobuttya naukovoogo stupenya kand. tekhn. nauk. Kh. : KhDTUSG, 20.
17. Ovsyannikov S., Remarchuk N. 2010. Aspekty funkczionalnoi stabilnosti sel'skoho-zyaistvennykh agregatov na baze motoblokov. Sil'skogospodarski mashyny : Sb. nauk. st. – Vyp. 20. Luzk : Red. vyd. viddil LNTU, 234 – 242.
18. Remarchuk M. P., Kholodov A. P., Muzh Ya. V., Bayramashvili T. T., Ovsyannikov S. I. 2010. Stvorenniya gidromotoriv na osnovi vikoristannya standartnykh gidro tsilindriv. Naukoviy visnik budivnitstva, - Kh.: KhDTUBA, KhOTV ABU, vip. 57, 430-434.
19. Vosstanovlenie myshechnogo glikogena. Pitatelnye veshstva dlya myshz. / Rejim dostupa k resursu <http://meduniver.com/Medical/Physiology/1411.html> MedUniver.
20. Zolotarevskaya D. 1991. Vliyanie vyazkouprugih svoistv pochvy i sil trenia na tyagovyie svoistva i uplotnyaushee vozdeystvie kolesnykh traktorov na pochvu. Traktory i sel'skoho-zyaistvennyye mashyny. №3. 13-17.

POWER EXPENSES OF OPERATOR AT MANAGEMENT OF WALKING TRACTOR

Summary. The method of determination of expenses of energy of operator is in-process

presented at the management of walking tractor, execution of work and rest-time time. The necessity of application of coefficient of participation of operator is grounded for the calculations of the productivity of aggregate.

Key words: walking tractor, operator, energy of muscles, productivity of walking tractor.