

УДК 53.08

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВОГО УЧАСТИЯ ОПЕРАТОРА В РАБОТЕ МОТОАГРЕГАТОВ

Овсянников Сергей Иванович, канд. техн. наук, доцент.

(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

В работе представлена методика определения затрат энергии оператора при работе с мотоагрегатами. Установлена структура затрат энергии оператора. Представлены зависимости по определению статической и динамической работы, затрат энергии на работу внутренних органов, самопередвижение, преодоление неблагоприятных условий труда. Представлена конструкция тензометрических штанг управления мотоблоком, с помощью которой измеряются физические усилия оператора при работе с мотоагрегатами. Представлены результаты измерений силового взаимодействия оператора при управлении пахотным и транспортным агрегатами на базе мотоблока «Мотор-Сич», почвофрезерного агрегата на базе мотоблока «Нева».

Ключевые слова: *мотоагрегат, оператор, энергетические затраты, статическая и динамическая работа.*

Постановка проблемы. Интенсивное участие оператора на органы управления мотоагрегата (МА) непосредственно отражается на его усталости и

утомляемости и определяет периодичность и продолжительность циклов «работа-отдых». Оценка тяжести и напряженности рабочих процессов, а также воздействия факторов рабочей среды на оператора МА является важным показателем, определяющим режим трудового процесса, оценки риска для здоровья рабочего, необходимых мер социальной защиты. Рассматривая условия работы оператора МА, можно отметить, что он является заложником погодных факторов и параметров поверхности движения. Поэтому основными направлениями улучшения условий труда являются конструктивные решения технических средств (мотоблоков, мотоорудий, машин, движителей и т.п.) направленные на улучшения условий труда, его тяжести, интенсивности и напряженности.

Анализ публикаций и достижений. Степень физического участия оператора в работе МА изучена не достаточно, однако практическая работа с ними [1] показывает, что продолжительность непрерывной работы составляет 0,25-0,5 часа с последующим перерывом на отдых 0,25-0,35 часа. В работе [2] отмечается, что работа МА осуществляется от двух источников энергии – энергии топлива при сгорании в двигателе и силовой энергии оператора. Причем соотношение затрат этих видов энергии примерно равны. В работе [3] рассмотрены аспекты функционирования МА и выделены силовые, кинематические, информационные и управляющие функции, которые выполняет оператор во время управления МА. В работе [4] рассмотрены причины возникновения динамических нагрузок, передающихся от МА к оператору, и представлена методика определения передачи нагрузок от остова МА на оператора, их измерение и обработка полученных результатов. Но данная методика не позволяет оценить физическое участие оператора в работе МА.

Целью работы является разработка методики для определения затрат энергии оператора при управлении работой МА. Результаты предполагается использовать для проведения сравнительного анализа применения агрегатов различной конструкции, весовых и кинематических параметров, а также при агрегатировании с различными типами машин.

Задачи работы: разработать методику определения затрат энергии оператора на самопередвижение и работу внутренних органов; разработать методику измерений и обработки результатов измерений силового взаимодействия оператора и МА; разработать конструкцию устройства для измерения силового взаимодействия оператора и МА.

Результаты исследований. Общий расход энергии человека в процессе труда определяется как совокупность затрат энергии на обменные процессы организма, выполнения работы, движение самого человека и преодоление неблагоприятных условий труда:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_o + \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_y, \text{ Вт} \quad (1)$$

где \mathcal{E}_o - расход энергии на осуществление обменных процессов в организме; \mathcal{E}_c - затраты энергии на выполнение статической работы; \mathcal{E}_d - затраты энергии на

выполнение динамической работы; $\mathcal{E}_н$ - затраты энергии на нервно-умственную деятельность; $\mathcal{E}_у$ - расход энергии на преодоление неблагоприятных условий труда.

Расход энергии на основной обмен $\mathcal{E}_о$ (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 основного обмена, в дневное время – больше, в ночное – меньше. Зависимость основного обмена энергии мужчин и женщин от массы тела и возраста по данным [7] представлен на рис. 1.

Если принять, что средний возраст оператора составляет 30-39 лет и учесть, что работы с мотоагрегатом выполняют в основном 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 (0,37 кал/с·кг), а в период сна 0,89 ккал/час·кг (0,247 кал/с·кг). Тогда общий расход энергии оператора весом 70 кг при выполнении работ с МА составит 25,67 кал/с.

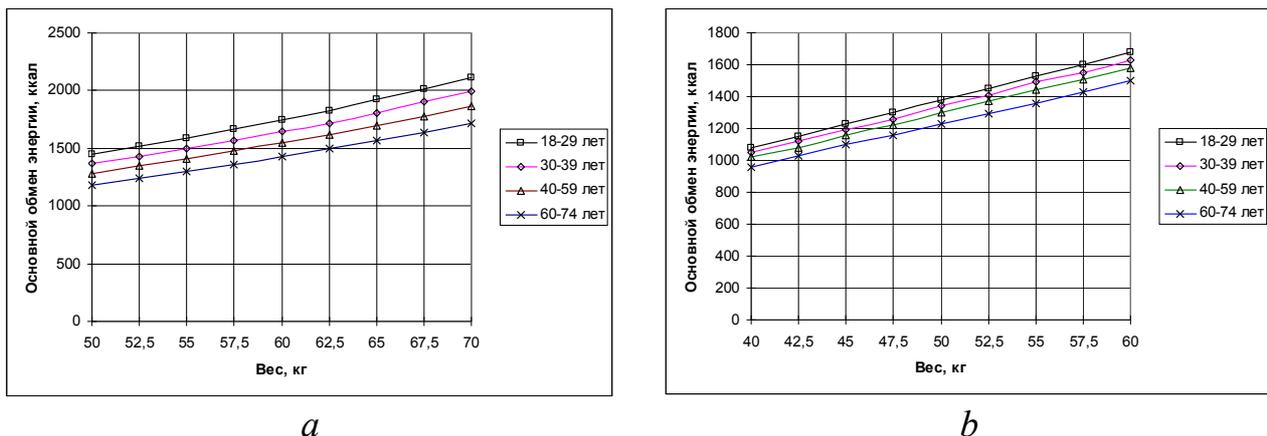


Рисунок 1. Зависимость основного обмена энергии от массы тела и возраста человека: *a* – мужчин; *б* – женщин.

Расход энергии оператора на статическую работу. Затраты энергии в механике оцениваются показателем выполненной работы. Для определения величины работы силы P используют формулу $A = P \cdot S \cdot \cos \alpha$, где S – перемещение тела под действием силы P , α - угол между направлениями силы и перемещения. Если сила направлена перпендикулярно направлению перемещения, то работа силы равна нулю. Получается, что если человек удерживает груз без его перемещения, то он не выполняет работу, т.е. не затрачивает энергии. Возникает вопрос, почему тогда человек устает? С житейской точки зрения принято называть «физической работой» всякую деятельность человека, при которой он совершает известные физические усилия [10].

Если человек пытается толкать предмет и преодолевая силы трения перемещает его, он совершает работу. Но если усилия не достаточно, то предмет

остається на місці, т.е. робота не совершается, хотя человек испытывает напряжение мышц и усталость. Возникает вопрос, куда потрачена энергия и как ее определить?

Иванов Е.М. [8] предложил определять статическую работу как воздействие импульса силы на тело. Для этого II закон Ньютона представим в дифференциальном виде:

$$P \cdot dt = d(m \cdot V), \quad (2)$$

где $P \cdot dt = dP$ - элементарный импульс силы;

$d(m \cdot V) = dI$ - элементарный импульс тела (количество движения);

Правая часть может быть равна нулю, если тело остается неподвижным ($V=0$) или движется равномерно ($V=const$), если импульс силы не превышает силу сопротивления движения $dP=P_{TP}$. При поступательном движении тела массой m , проинтегрировав выражение (2) получим $P \cdot t = m \cdot V$. Возведя в квадрат и разделив на $2m$ обе части равенства получим:

$$\frac{P^2 \cdot t^2}{2m} = \frac{I^2}{2m} = \frac{m \cdot V^2}{2}, \text{ или } A = K, \quad (3)$$

т.е. работа направлена на изменение кинетической энергии тела.

Выражение (3) не связано с путем S , пройденным телом за время t , поэтому оно может быть использовано для расчета величины работы, совершаемой импульсом силы и в том случае, когда тело остается неподвижным. Заменяя массу значением силы удержания (нагрузки на мышцы) получим выражение для расчета выполненной статической работы:

$$A_{cm} = \frac{P_{cm} \cdot g \cdot t^2}{2}. \quad (4)$$

Расчет энергии оператора на динамическую работу. Работа физических сил оператора в продольном направлении будет определяться по формуле (5). Если заменить $S = a \cdot t^2 / 2$, то работу физических сил оператора в продольном направлении можно представить в виде формулы (6). Аналогично будет определяться работа сил в поперечном направлении. Работа сил по удержанию МА от поперечного крена и опрокидывания рассчитывается по (7).

$$A_{np} = P_{np} \cdot S, \quad (5)$$

$$A_{np} = \frac{P_{np} \cdot a \cdot t^2}{2}, \quad (6)$$

$$A_{\circ} = \frac{M_{\circ} \cdot \ddot{\varphi} \cdot t^2}{2}. \quad (7)$$

где a – ускорение движения тела.

$\ddot{\varphi}$ – угловое ускорение поперечного крена агрегата;

M_{\perp} – момент от действия сил опрокидывания в поперечной плоскости.

Затраты энергии на передвижение оператора $\mathcal{E}_{\text{пер}}$ определялись из условия движения со средней скоростью 0,5-0,7 м/с, что составляет 2,86 ккал/час на 1 кг веса оператора [6]. При движении по рыхлой (обработанной) почве расход энергии дополнительно увеличивается на 3,64 ккал/час. Таким образом, расход энергии оператора при движении пешком по рыхлой почве составит: $E_x = 2,86 + 3,64 = 6,5$ ккал/час·кг (1,53 ккал/с·кг).

Затраты энергии на нервно-умственную деятельность. Каждый человек имеет тот или иной уровень психофизиологического потенциала, который используется в процессе труда. Расходование этого потенциала выражается в образовании и накоплении утомления. Для оценки энергозатрат нервно-умственной деятельности применяют следующие методы: психофизиологический, социологический, экономический и др. Однако все эти методы достаточно трудоемкие, требуют специальных знаний и соответствующего оборудования. Для данных целей работы эта составляющая не определялась.

Расход энергии на преодоление неблагоприятных условий труда.

Одним из необходимых условий нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение нормального теплового самочувствия. Процессы жизнедеятельности сопровождаются непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. В спокойном состоянии человек выделяет более 85 Дж/с, при тяжелой работе – до 500 Дж/с [11]. Одним из важных интегральных показателей теплового состояния человека является средняя температура тела, которая должна быть порядка 36,5 °С. Она зависит от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении физической нагрузки. При выполнении тяжелой работы или средней тяжести с повышенной температурой окружающей среды температура тела может повышаться на 1-2 °С.

На основе экспериментальных данных [9] методом аппроксимации получено уравнение затрат энергии на тепловыделение в зависимости от нагрузки при выполнении работы:

$$\mathcal{E}_y = \mathcal{E}_o + A \cdot 2,78, \quad (9)$$

где \mathcal{E}_o – энергия, затрачиваемая на работу органов и обмен веществ в организме;

A – работа, выполняемая человеком по изменению полной механической энергии.

Анализируя составляющие общих затрат энергии оператора установлено, что основными факторами их изменения является работа, направленная на изменение полной механической энергии МА. Для определения сил,

затрачиваемых оператором при работе с МА, разработана конструкция тензометрической штанги управления мотоблоком (рис. 2, 3), при помощи которой измеряются усилия в вертикальной и горизонтальной плоскостях, толкающее (тормозящее) усилие, усилие удерживания МА от поперечного крена и опрокидывания.

Тензометрическая штанга состоит из рукояток 1, шарнира 2 продольного перемещения и вращения относительно продольной оси, S-образного тензометрического датчика 3 измерения усилия в продольном направлении, балочного тензодатчика 4 измерения усилий удержания от поперечного крена и опрокидывания; балочного тензодатчика 5 измерения усилий управления курсовым движением в горизонтальной плоскости, балочного тензодатчика 6 измерения усилий в вертикальной плоскости. Для исключения влияния величины перемещения звеньев штанг на измеряемую величины все рычаги тензодатчиков оснащены шарнирными соединениями. Шарнир 9 обеспечивает продольное перемещение рукояток 1 в шарнире 2 и относительно тензодатчика 4, исключая передачу продольных перемещений на показания датчика 4.

Регистрация и обработка данных осуществляется с помощью измерительно-регистрирующей системы, описанной в работе [5].

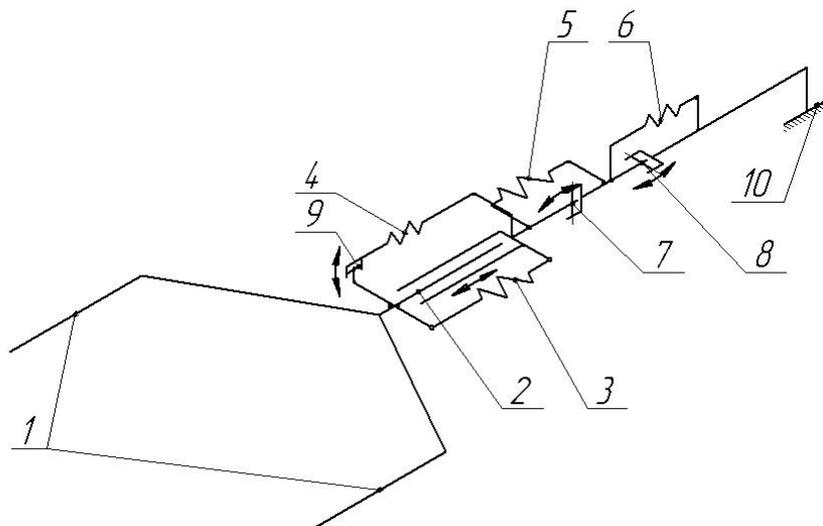


Рисунок 2. Кинематическая схема тензометрической штанги управления мотоблоком.

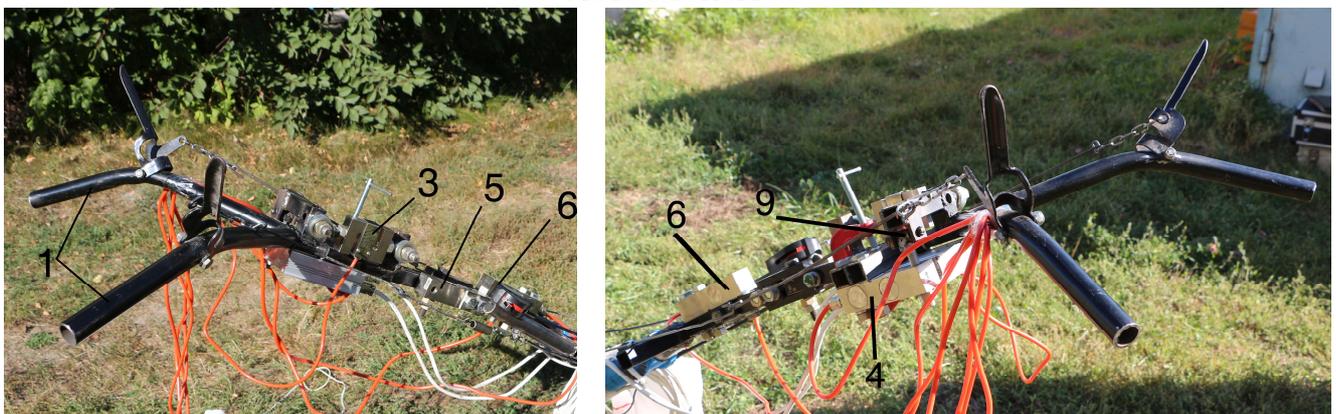


Рисунок 3. Общий вид тензометрической штанги управления мотоблоком.

Полученные экспериментальные данные подвергаются статистическим методам обработки результатов измерения, а именно рассчитываются среднее значение параметров, среднеквадратичное отклонение и дисперсия. На рис. 4 представлены результаты одного из опытов экспериментального определения силового взаимодействия оператора с МА на базе мотоблока «Мотор-Сич» в тяговом режиме при движении по стерне, а на рис. 5 – в транспортном режиме при движении по грунтовой дороге. Результаты обработки экспериментальных данных представлены в табл. 1.

Характерной особенностью полученных данных является достаточно четкое отслеживание изменений усилий на штангах управления в вертикальной плоскости от изменений тягового усилия на крюке, что является подтверждением передачи реактивного момента от остова МА на штанги управления.

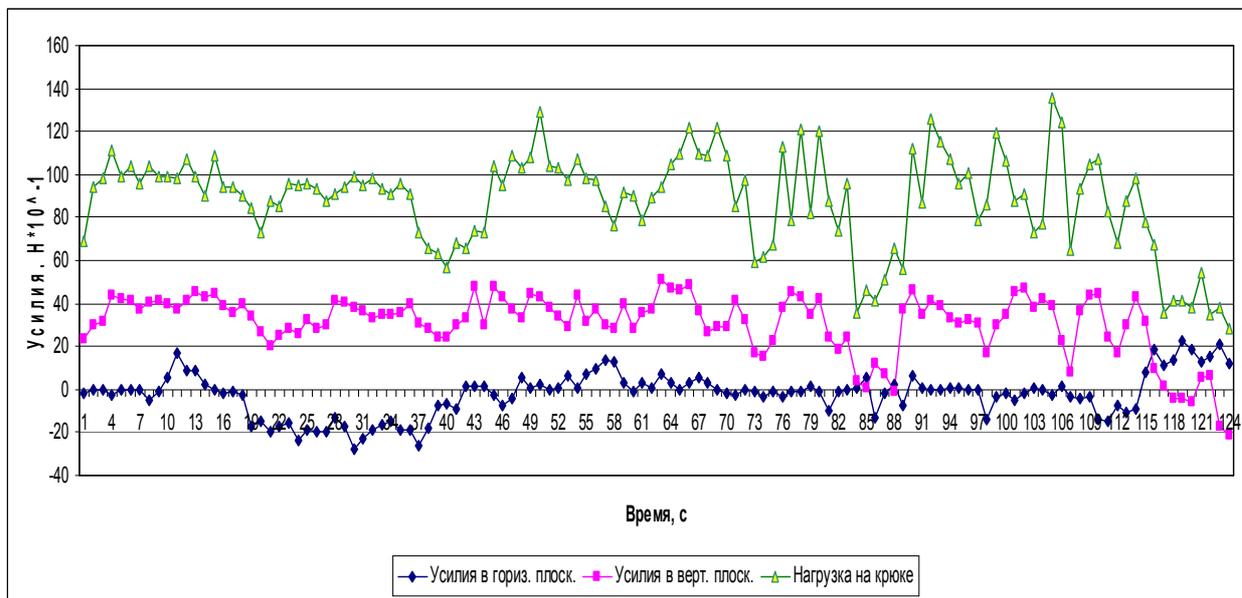


Рисунок 4. График изменения усилий в горизонтальной и вертикальной плоскостях на штанге управления МА «Мотор-Сич» в тяговом режиме.

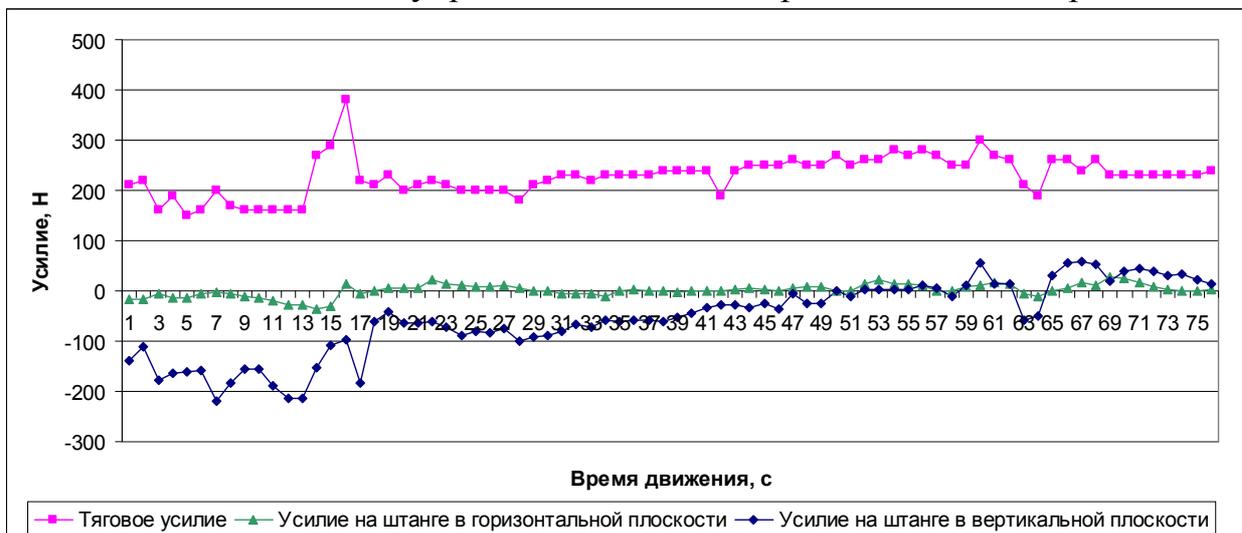


Рисунок 5. График изменения усилий в горизонтальной и вертикальной

плоскостях на штанге управления МА «Мотор-Сич» в транспортном режиме при движении по грунтовой дороге.

На рис. 6 представлен фрагмент силового взаимодействия оператора при управлении фрезерным МА на базе мотоблока «Нева».

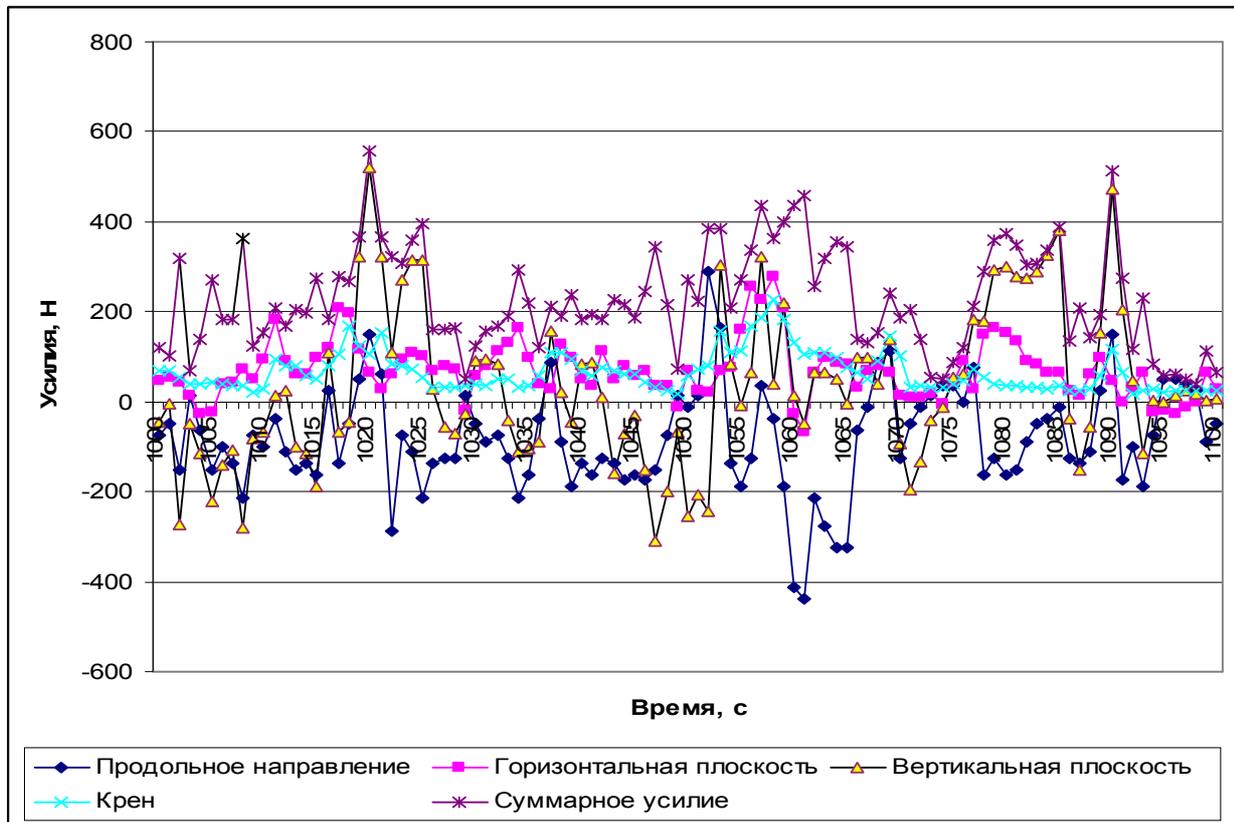


Рисунок 6. Фрагмент графика измерения силового взаимодействия оператора при управлении фрезерным МА на базе мотоблока «Нева».

Таблица 1. Усилия F , среднеквадратические отклонения σ , скорость изменения силы $V_{F_{cp}}$, среднеквадратическое отклонение скорости σ_v на штангах управления при движении мотоблока "Мотор Сич" на стерне и грунтовой дороге

Почвенный фон	Кол-во изм.	Верт. плоскость				Гориз. плоскость			
		F_{cp} , Н	σ , Н	$V_{F_{cp}}$, Н/с	σ_v , Н/с	F_{cp} , Н	σ , Н	$V_{F_{cp}}$, Н/с	σ_v , Н/с
Стерна	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

Таблица 2. Прилагаемые оператором усилия и среднеквадратичные отклонения при работе с фрезерным МА на базе мотоблока «Нева».

Наименование агрегата	Кол-во изм.	Верт. плоскость		Гориз. плоскость		Продол. направл.		Опрокидывание		Средн. занч.	
		$F_{Вср}, Н$	$\sigma, Н$	$F_{Гср}, Н$	$\sigma, Н$	$F_{Прср}, Н$	$\sigma, Н$	$F_{Опрср}, Н$	$\sigma, Н$	$F_{\Sigma ср}, Н$	$\sigma, Н$
Фрезерный агрегат МБ «Нева»	1230	42,21	155	19,2	78	30,4	85,6	21,0	43,1	184	94,9

Выводы: Общий расход энергии человека в процессе труда определяется как совокупность затрат энергии на обменные процессы организма, выполнения работы, передвижение самого человека и преодоление неблагоприятных условий труда. Определены условия, при которых оператор вынужден применять физические усилия при работе с МА, зависимости по их определению. Обоснована расчетная формула по определению затрат энергии при выполнении статической работы. Разработана конструкция тензометрических штанг управления мотоблоком для измерения силового взаимодействия оператора во время управления МА. Проведенные эксперименты подтверждают работоспособность данной методики.

Список литературы

1. Келлер Н. О концепции развития мобильной мини-техники на современном этапе / Н. Келлер, А. Цветков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003, № 4. – С. 7-10.
2. Овсянников С. Классификация и концепция развития миниагротехники / С. Овсянников // Вісн. наук. праць ХНТУСГ. Вип. 94. – Х. : ХНТУСГ, 2010. – С. 304-309.
3. 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.
4. Овсянников С. Силовое взаимодействие оператора при управлении мотоагрегатом / С. Овсянников // Вісн. НТУ "ХПИ", серія : Автомобіле- та тракторобудування. 2012. – № 60. – С. 25-30.
5. Овсянников С. И. Обоснование структуры измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний мотоагрегатов / С. И. Овсянников // Електронне наукове фахове вид. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології». – Х.: ХНАДУ, 2012. – Вип. 3. – С. 198 – 203.
6. Горшакова Н. Фармакология спорта / [Н. Горшакова, Я. Гудивок, Л. Гунина и др.]; под общ. Ред. С. Олейник, Л. Гуниной, Р. Сейфулы. – К. : Олимп. 1-ая, 2010. – 640 с.

7. Физиология мышечной деятельности: Учебник для институтов физической культуры /Под ред. Коца Я.М. - М.: Физкультура и спорт, 1982. - 347 с.
8. Иванов Е. М. Определение работы и работа силы трения / Е. М. Иванов // Успехи современного естествознания. Физико-математические науки. № 8, 2005. – С. 10 – 13.
9. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др. ; Под общ. ред. С. В. Белова. 7-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2007. – 616 с.
10. Элементарный учебник физики. Т. 1. – М. : Наука, 1972. – 616 с.
11. Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Черный С.Г. Влияние природно-климатических факторов на социально-экономические и производственные системы: монография. / В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова, С.Г. Черный // - Херсон : Видавець Грінь Д.С., - 2012. – 354 с.

Анотація

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОЇ УЧАСТІ ОПЕРАТОРА У РОБОТІ МОТОАГРЕГАТІВ

Овсянніков С.І.

В роботі наведена методика визначення витрат енергії оператора під час роботи з мотоагрегатами, а також встановлена їх структура. Представлені залежності з визначення статичної та динамічної роботи, витрат енергії на роботу внутрішніх органів, самопересування, переборення перешкод та шкідливих умов праці. Представлена конструкція тензометричних штанг керування мотоагрегатами, за допомогою котрої вимірюються фізичні зусилля оператора під час роботи з мотоагрегатом. Представлені результати вимірювань силової взаємодії оператора під час керування орним та транспортним агрегатами на базі мотоблоку «Мотор-Січ», ґрунтофрезерного агрегату на базі мотоблоку «Нева».

Abstract

METHOD OF DETERMINING OPERATORS' POWER PARTICIPATION IN THE WORK OF MOTO-AGGREGATE

Ovsyannikov S.

The paper presents a method of determining the energy consumption of the operator when working with moto-aggregates. The structure of energy consumption of the operator is defined. Presented dependent's for the definition of static and dynamic performance, energy consumption for the internal organs, self- movement, overcoming adverse working conditions. Presented the construction of the moto-block strain rods control, which is used for the measurement of physical effort of the operator when working with moto-aggregate. Presented the results of measurements of force

interaction operator in the management of arable and other transport units on the basis of two-wheel tractor "Motor Sich", soil milling machine based on two-wheel tractor "Neva".

Keywords: *moto-aggregate, operator, energy costs, static and dynamic work.*

Рецензент: д.т.н., професор Лебедєв А.Т.