

УДК 53.08

ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТОРА С МОТОАГРЕГАТОМ

Овсянников С.И.¹, к.т.н., доцент, Родионов А.С.¹, Саблина М.А.²

¹ Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,

² 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 мотоагрегатом. 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.

Интенсивное участие оператора на органы управления мотоагрегата (МА) непосредственно отражается на его усталости и утомляемости и определяет периодичность и продолжительность циклов «работа-отдых» [11]. 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 [15].

Уровень физического участия оператора в работе МА изучен 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}_n - затраты энергии на нервно-умственную деятельность; \mathcal{E}_y - расход энергии на преодоление неблагоприятных условий труда.

Расход энергии на основной обмен \mathcal{E}_o (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 представлена в работе [7].

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.

Расход энергии оператора на статическую работу. 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. Заменяв 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).

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

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

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

где a – ускорение движения тела; $\ddot{\phi}$ – угловое ускорение поперечного крена агрегата; M_{\circ} – момент от действия сил опрокидывания в поперечной плоскости.

Затраты энергии на передвижение оператора $\mathcal{E}_{пер}$ 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: $E_x = 2,86 + 2,64 = 5,5$ ккал/час·кг (1,53 кал/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°C. 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°C.

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. 1), при помощи которой измеряются усилия в вертикальной и горизонтальной плоскостях, толкающее (тормозящее) усилие, усилие удерживания МА от поперечного крена и опрокидывания.

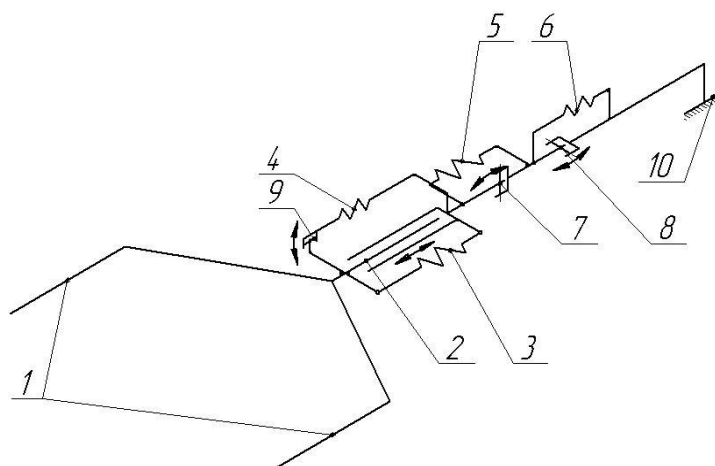


Рисунок 1 – Кинематическая схема тензометрической штанги управления мотоблоком.

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].

Полученные экспериментальные данные подвергаются статистическим методам обработки результатов измерения, а именно рассчитываются среднее значение параметров, среднеквадратичное отклонение и дисперсия. 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.

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. Овсянников С.И. Повышение тягово-сцепных свойств малогабаритных тракторов в растениеводстве / Автореферат диссертации на соискание научной степени канд. техн. наук. - Харьков: ХГТУСХ, 1997. - 20 с.
2. Овсянников С.И. Особенности функционирования мотоагрегатов и пути концептуального развития мотоагротехники // Сб. науч. трудов «Агропромышленный комплекс на рубеже веков». Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета. - 2015. - С. 170-178.
3. Овсянников С.И. Управляемость мотоагрегатов // Вісник СевНТУ. - 2014. - № 152. - С. 106-109.
4. Овсянников С. Силовое взаимодействие оператора при управлении мотоагрегатом / С. Овсянников // Вісн. НТУ "ХПИ" «Автомобіле- та тракторобудування». 2012. – № 60. - С. 25-30.
5. Овсянников С.И. Обоснование структуры измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний мотоагрегатов // Автомобиль и электроника. Современные технологии. - 2012. № 1(3). - С. 40
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. Сергей Овсянников. Энергетические затраты оператора при управлении мотоагрегатом // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture . Vol. 15, № 7. – Lublin-Rzeszow 2013. - S. 45-50.
12. Овсянников С.И., Шевченко С.А., Огильба В.Ф. Обоснование структуры измерительного комплекса для проведения тяговых испытаний тракторных агрегатов // Автомобиль и электроника. Современные технологии. – Х.: ХНАДУ, 2012. № 1(3). - С. 39.

13. Овсянников С.И. Обоснование основных параметров пешеходно-транспортной машины для использования на рубках ухода // Вісник СевНТУ. - 2011. № 122. - С. 99-102.

14. Овсянников С.И., Саблина М.А., Антощенко Р.В. Оценка управляемости мотоагрегатов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2014. Т. 2. № 5-3(10-3). - С. 257 – 257.

15. Овсянников С.И. Мотоагрегати та мотознаряддя: відповідність умов роботи оператора санітарно-гігієнічним нормам // Техніка і технології АПК. № 7, 2014,. - С. 14-16. № 8, 2014. - С. 18 – 21.

Анотація

ОЦІНКА ВЗАЄМОДІЇ ОПЕРАТОРА З МОТОАГРЕГАТОМ Овсянников С., Радіонов А., Сабліна М.

У роботі представлена методика визначення витрат енергії оператора при роботі з мотоагрегатами. Встановлено структуру витрат енергії оператора. Представлені залежності по визначенню статичної та динамічної роботи, витрат енергії на роботу внутрішніх органів, самопересування, подолання несприятливих умов праці. Представлена конструкція тензометричних штанг управління мотоблоком, за допомогою якої вимірюються фізичні зусилля оператора при роботі з мотоагрегатами. Представлені результати вимірювань силового взаємодій-наслідком оператора при управлінні орним і транспортним агрегатами на базі мотоблока «Мотор-Січ», ґрунтофрезерного агрегату на базі мотоблока «Нева».

Ключові слова: мотоагрегат, оператор, енергетичні витрати, статична і динамічна робота.

Abstract

EVALUATION OF INTERACTION OF THE OPERATOR WITH MOTOAGREGAT

Ovsyannikov S., Rodionov A., Sablina M.

The paper presents a methodology for determining the energy consumption of an operator when working with motor units. The structure of energy costs of the operator is established. Dependencies for the definition of static and dynamic work, energy expenditure on the work of internal organs, self-movement, overcoming unfavorable working conditions are presented. The design of the strain gauges of the motor block control is presented, with the help of which the physical efforts of the operator are measured when working with motor moto units. The results of measurements of the operator's power interaction during the management of arable and transport aggregates on the basis of the Motor-Sich motoblock, the soil-milling unit based on the Neva motor block are presented.

Key words: motoagregat, operator, power costs, static and dynamic work.