

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
НАДЕЖНОСТИ РУЧНЫХ РАБОЧИХ ОРУДИЙ НА
СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТОДАМИ
БИОМЕХАНИКИ**

Кушнарев А.С. – магистрант

*Национальный университет биоресурсов и природоиспользования
Украины*

В статье приведена методика разработки ручного инструмента для посадки картофеля и высадки рассады с использованием методов биомеханики и эргономики. Условия работы с приспособлением обеспечивают оптимальную нагрузку на человека.

Ключевые слова – биомеханика, эргономика, приспособление для ручной посадки картофеля и высадки рассады.

Постановка вопроса. Ручной труд сегодня обеспечивает на планете продуктами питания более 2 млрд. человек. В этой связи проблема создание новых ручных орудий для проведения сельскохозяйственных операций является весьма актуальной. Использование методов эргономики и биомеханики при разработке ручных орудий позволяют снизить физическую и психологическую нагрузку на человека, выполняющего с-х работы вручную. При конструировании ручных орудий необходим интегрировать знания анатомии и физиологии человек, антропологии, теоретической механики и теории машин и механизмов, информационные технологии, технологии производства с-х продуктов, биомеханики, эргономики. Современная теория биомеханики имеет в своей основе системно-структурный подход к рассмотрению явлений и процессов [1].

Биомеханика позволяет математическими методами описывать:

- элементы движения человека;
- фазы движения;
- строить модель тела, как биомеханическую систему;
- кинематические цепи;
- биокинематические цепи;
- биокинетические цепи;
- уравнение движения звеньев механической модели человека;
- определение работы и мощности отдельных звеньев механической модели человека.

Анализ постановки вопроса. Нами ранее была представлена механическая модель человека, использованная при изучении процессов ручного труда [2]. Состоящая из 12 звеньев, представляющих незамкнутую цепь. В дальнейшем нам предстоит определить число степеней свободы такой модели. В общем случае вопрос о числе степеней подробно изучался учёными из Польши, которые рассматривают проблему с точки зрения

теории машин и механизмов и определяют тело человека как сложный биомеханизм: кости – рассматриваются как жесткие звенья, а суставы – как кинематические пары определенных классов [1].

При биомеханическом описании движения в суставах обычно используются углы Эйлера [3], а для того, чтобы использовать аппарат теоретической механики, вводятся следующие допущения:

1. Звенья модели (сегмента тела человека) принимаются абсолютно твердым. Поскольку это предложение во многих случаях для туловища нельзя считать оправданным, его моделируют системой из двух или трех звеньев, а в последнее время в виде деформируемых стержней [3].

2. Геометрические параметры звеньев модели (их длина, масса, момент инерции относительно центра масс звеньев и др.) совпадают с соответствующими параметрами сегмента тела человека.

3. Звенья модели соединены в идеальные кинематические пары III класса (шаровые шарниры). Однако некоторые сочленения звеньев имеют иные кинематические характеристики. Так кисть описывается двумя степенями свободы, плечевой сустав имеет одну степень свободы, а плечо – две степени свободы [3].

Ручной труд характеризуется понятиями критерий тяжести и критерий напряженности. Понятие тяжести относится к работам, при выполнении которых преобладает мышечное усилие, проявляющееся особенно при ручных работах в с.х производстве.

Ручные операции сопровождаются динамическими и статистическими нагрузками. Динамические нагрузки оцениваются мощностью внешней механической работой, максимальной величиной поднимаемых вручную грузов, величиной ручного грузооборота за смену, частоте шагов в одну минуту, наклонами туловища более 50 (30 °) в минуту, при работе стоя.

Статистические нагрузки оцениваются по величине статистической нагрузки в кг при удерживании усилия одной рукой, двумя руками, с участием мышц корпуса и ног, времени пребывания в вынужденной позе.

При физической работе важное значение имеет правильная организация рабочих движений, чередование статистических и динамических усилий. Статистические мышечные усилия характеризуются преобладанием напряжения над расслаблением. При этом работа мышц осуществляется в анаэробных, то есть в бескислородных условиях. Клетки и ткани мышц получают энергию в результате диссимиляции, расщепления сложных органических веществ до углекислого газа и воды. Примером может служить гликолиз – расщепление глюкозы, которое протекает в 2 основных этапа – бескислородный и кислородный [6].

Имеется ряд классификаций труда по степени тяжести. По напряженности трудового процесса различают следующие классы условий труда [4]:

- оптимальный – напряженность труда легкой степени, требуется затрат энергии до 174,1 Дж/с.

- допустимый – напряженность труда средней степени от 174,1 до 290,5 Дж/с.
- вредный – напряженность труда 1й и 2й степени, более 290,5 Дж/с.

Суточная нагрузка тяжелого физического труда составляет обычно в диапазоне от 17 до 25 МДж.

Алексеев С. В. предлагает 4 группы характеристики нагрузки:

- легкая (малонапряженная) – до 20 Вт;
- средней тяжести (умеренно напряженная) – до 45 Вт;
- тяжелая (напряженная) – до 90 Вт;
- очень тяжелая (очень напряженная) - более 90 Вт.

В таблице 1 приведена оценка мышечной напряженности труда [4], на которую мы опираемся в своих исследованиях.

Таблица 1. Оценка мышечной напряженности труда

Характеристики нагрузки		Количественные критерии тяжести и напряженности работ по категориям			
		легкая	средней тяжести	тяжелая	очень тяжелая
1	Мощность внешней механической нагрузки (Вт) при нагрузке	до 20	до 45	до 90	> 90
	а) общей (работа больших мышечных групп)				
	б) работа плечевого пояса				
	в) работа кистей и предплечья	до 2	до 4,5	до 9	> 9
2	Максимальная величина поднимаемых вручную грузов или прилагаемых усилий	до 5	до 15	до 40	> 40
3	Величина ручного грузооборота за смену (Т) при подъеме груза с уровня	до 10	до 12	до 15	> 15
	а) рабочей поверхности				
	б) плеч	до 4	до 5	до 6	> 6
4	средняя величина усилий при частом подъеме (Н)	до 20	до 100	до 200	> 200
5	Ходьба – частота шагов в мин.(в среднем за смену) по горизонтали	до 15	до 30	до 40	> 40
6	Наклоны туловища свыше 30° в мин. При работе стоя в среднем за смену	до 0,5	до 1	до 2,0	> 2,0
7	Нахождение в вынужденной позе, в % от времени смены	0	10-15	до 50	> 50

Основная часть. Все вышеперечисленное позволяет формулировать требования к вновь создаваемым ручным орудиям для с.х. производства.

Рассмотрим их применение на примере разработки ручного приспособления для посадки картофеля и высадки рассады. (рис.1).



Рис.1. Циклограмма посадки картофеля

Цикл посадки одного клубня картофеля составляет 4,68с. Цикл состоит из 9 фаз длительностью каждой 0,52 с. :

- 1 фаза – передвижение на исходную позицию;
- 2 фаза – установка на исходной позиции;
- 3 фаза – заглубление приспособления;
- 4 фаза – выемка клубня картофеля из емкости;
- 5 фаза – заброс картофеля в гнездо;
- 6 фаза – раскрытие лепестков посадочного устройства;
- 7 фаза – подъем посадочного устройства;
- 8 фаза – закрытие лепестков;
- 9 фаза – начало передвижения.

Как видно из циклограммы, нет ни одной фазы требующего большого (больше 4%) наклона туловища. Положение корпуса оператора в фазах 1,2,3,5,6,7,8,9 регулируются высотой положения ручек приспособления, а наклон при отборе картофеля для посадки регулируется положением емкости по высоте.

Работа с приспособлением по позициям 3, 5, 6, 7 по критериям тяжести соответствует легкой, смена фаз обеспечивает чередование динамической и статической усилий.

Для определения позиций 1, 2, 4 требует исследования динамики движений человека при выполнении всех фаз цикла. При этом используются координаты сочленений звеньев и координаты центра масс (рис. 2)

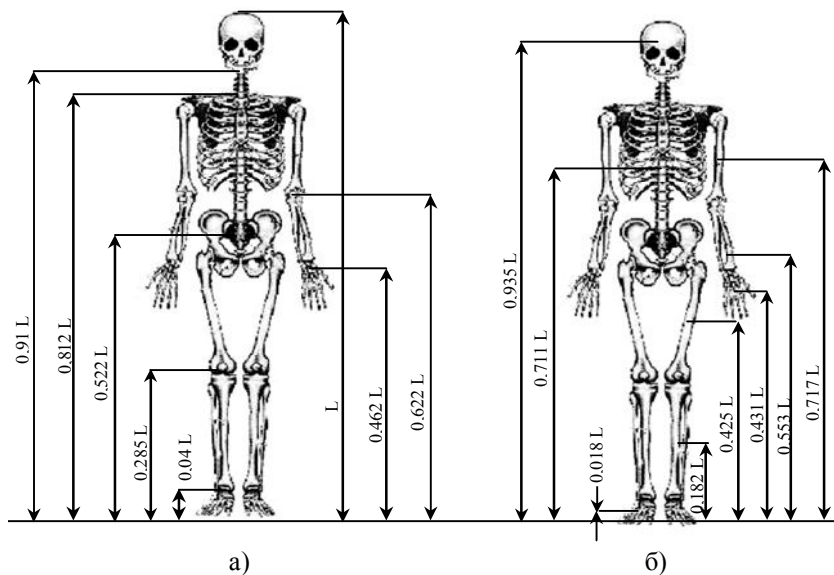


Рис. 2. Положение координат сочленений звеньев и центра масс звеньев: а) положения; б) центра масс

Механико-математическая постановка задачи и её формализация. Введем обозначение. Пусть j – номер изображения (кадр кинематограммы фазы работы оператора). Всего таких граничных поз положений (кадров кинематограммы цикла работы ручным приспособлением) будет S (максимум – количество кадров, описывающих тяжелый цикл работы оператора ручного приспособления). Если считать, что при выполнении упражнения, всегда имеет место исходное и конечное положение оператора, то S всегда будет не меньше 2.

Обозначим через t текущее время на интервале от T_j до T_{j+1} ($j=1,2,3 \dots S-1$). Пусть H_j – длительность выполнения фазы между граничными позами (поза в начале фазы и поза в конце фазы) определяется выражением $H_j = T_{j+1} - T_j$. Каждому кадру кинематограммы фазы работы ручными приспособлениями (ручным инструментом) будут соответствовать обобщенные координаты биомеханической системы в виде двумерного массива Q_{ji} , где j – номер кадра кинематограммы, i – номер звена биомеханической сис-

темы.

Сформулируем задачу синтеза движений оператора по заданным значениям граничных поз – положений тела оператора на некоторых участках траектории биомеханической системы. Пусть известно положение в начале фазы биомеханической системы $(Q_{ij}, \dot{Q}_{ij}, \ddot{Q}_{ij})$, (где Q_{ij} - обобщенные координаты, \dot{Q}_{ij} - обобщенные скорости, \ddot{Q}_{ij} - обобщенные ускорения звеньев, i – тела операторов). Требуется в течении времени H_j перевести в конечное фазовое состояние $(Q_{j+1,i}, \dot{Q}_{j+1,i}, \ddot{Q}_{j+1,i})$ определить энергию системы

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial(T + \Pi)}{\partial t} = \Sigma F_i V_i,$$

где E – энергия системы, T – кинетическая энергия системы, Π – потенциальная энергия системы, F_i - обобщенная сила, V_i – обобщенная скорость; или

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial x_i} = F_i - \frac{\partial \Pi}{\partial x_i},$$

где X_i – обобщенная координата, i – число степеней свободы.

Для примера рассмотрим третью фазу – фазу заглупления высевающего аппарата.

Каждая фаза фиксируется 15-18 кадрами с промежутками времени 0,04 сек. В третьей фазе работают только бедро, голень и ступня правой ноги. Механическая модель этой фазы представляется системой из трех звеньев с тремя степенями свободы.

Обобщенными координатами являются углы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. (рис. 3). Координаты тазобедренного сустава 0, 52,1L коленного сустава 0, 28,5L и лодыжки 0,04L (L - рост оператора, положение центра масс бедра 0,425L, голени 0,182L, ступни 0,018L), массы бедра 0,215G, голени – 0,096G и ступни 0,018G, где G - оператора.

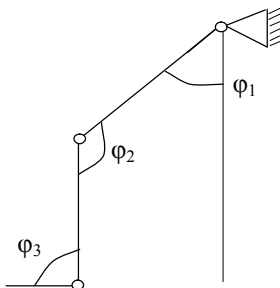


Рис. 3. Схема движения ноги в третьей фазе

В процессе обработки результатов видеосъемки определяется уравнение движения системы в обобщенных координатах, которые и являются в дальнейшем исходной информацией для составления уравнений Лагранжа для механической модели – движения оператора в 3 фазе.

Выводы. Использование методов биомеханики и эргономики позволяют создавать ручные инструменты, обеспечивающие работу оператора в оптимальном режиме.

Список использованных источников

1. Биомеханика. www.pandia.ru/text/77/296/656.php
2. Кушнарєв А. С. Использование методов биомеханики при разработке ручных приспособлений для посадки картофеля и рассады. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 12. Т 5. Наукове фахове видання. Мелітополь, 2012, стр. 176-185.
3. Биомеханика опорно-двигательной системы человека. www.biologygude.ru/gbids.1236-2.html.
4. Принципы классификации труда по степени тяжести и напряженности. –Википедия.

Анотація

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ РУЧНИХ РОБОЧИХ ЗНАРЯДЬ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МЕТОДАМИ БІОМЕХАНІКИ

Кушнарєв А.С.

В статті наведена методика розробки ручного інструменту для посадки картоплі і висадки розсади з використанням методів біомеханіки та ергономіки. Умови роботи з пристосуванням забезпечують оптимальне навантаження на людину.

Abstract

PROVISION TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF MANUAL WORKERS DEVICES AT THE STAGE OF DESIGNING THE METHODS OF BIOMECHANICS

Kushnaryov A. S.

In article the technique of the development of hand tools for potato planting and transplanting using the methods of biomechanics and ergonomics. Terms of work with the device provide the optimal load on the person.