

УДК 616-008.615

**В. Б. САМОРОДОВ**, д-р. техн. наук, професор НТУ «ХП»;  
**А. І. БОНДАРЕНКО**, канд. техн. наук, докторант НТУ «ХП»

### **АНАЛІЗ СТУПЕНЯ СТОМЛЕННЯ ОПЕРАТОРІВ-ВОДІЇВ СУЧАСНИХ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ**

В роботі проведено порівняльний аналіз ступеня стомлення операторів-водіїв сучасних колісних тракторів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: визначити ступінь стомлення операторів-водіїв колісних тракторів з механічною трансмісією та гідрооб'ємно-механічною трансмісією по частоті серцебиття, по методу Акіюші Кітаока та вмісту лактату (молочної кислоти) в крові при виконанні оранки та транспортних робіт, провести порівняльний аналіз отриманих результатів.

**Ключові слова:** трактор, трансмісія, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, стомлення.

**Вступ.** Більш ніж п'ятнадцятирічний досвід експлуатації тракторів з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ), а також забезпечення плавності руху з місця, можливість забезпечення роботи двигуна в оптимальному режимі, підвищення середніх швидкостей руху по бездоріжжю, можливість гальмування гідрооб'ємною передачею призвело до того, що більше 20% загального світового виробництва тракторної техніки оснащуються на даний момент ГОМТ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням з розробки і дослідження трансмісій для колісних та гусеничних тракторів, вантажних автомобілів, комбайнів, дорожньо-будівельних машин присвячені праці [1 – 5].

У роботі [6] показано, що трактористи гусеничного трактора ХТЗ-200 з механічним механізмом повороту з фрикційними бортовими муфтами в коробці передач і стрічковими гальмами схильні до більших психофізичних навантажень, ніж трактористи аналогічного трактора, але з механізмом повороту з керуючим безступінчастим гідрооб'ємним приводом.

В працях [7 – 12] аналізуються способи за допомогою яких можна визначати стомлення людей різних професій, зокрема, частота серцебиття, метод Акіюші Кітаока, вміст лактату (молочної кислоти) в крові і т.д.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою даної роботи є порівняльний аналіз ступеня стомлення операторів-водіїв сучасних колісних тракторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: визначити ступінь стомлення операторів-водіїв колісних тракторів з механічною трансмісією та ГОМТ по частоті серцебиття, по методу Акіюші Кітаока та вмісту лактату (молочної кислоти) в крові при виконанні оранки та транспортних робіт, провести порівняльний аналіз отриманих результатів.

**Порівняльний аналіз ступеня стомлення операторів-водіїв колісних тракторів з механічною трансмісією та ГОМТ.**

Із літератури [7] відомо, що втома – це суб'єктивне переживання людиною стомлення. Фізіологічна суть втоми полягає в сигналізації організму про необхідність припинити або знизити інтенсивність роботи для того, щоб уникнути розладу функцій нервових клітин.

© В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко, 2014

Стомлення – це тимчасове зниження працездатності, що настає в процесі роботи. Воно є природним результатом всякої діяльності. Стан стомлення – складний фізіологічний процес, що виражається в тимчасовому розладі функцій нервових клітин кори головного мозку.

Перші симптоми прояву стомлення оператором-водієм помітні слабо, виражаються в почервоначенні очей, тяжкості вік, відчутті різі в очах і т.д. Гострота зору і швидкість реакції знижуються, відчуття швидкості руху притупляється, перебіг часу то припиняється, то прискорюється.

Стомлення буває емоційне, фізичне і розумове [7]. Воно залежить від виконуваної роботи. Робота оператора-водія поєднує всі три види стомлення, тому що при ній фізична діяльність протікає на тлі розумової і сильної емоційної напруги. Найбільше оператор-водій втомлюється емоційно. У деяких ситуаціях від оператора-водія потрібні поспішні дії, які близькі до межі психофізіологічних можливостей – це викликає швидку перевтому.

Фізичне стомлення виникає із-за малорухливої робочої пози, одноманітності виконуваних дій, впливу вібрацій, вестибулярних роздратувань, специфічності конструкції органів керування і робочого місця. При рухомій роботі відбувається зміна напруги і розслаблення м'язів. М'язові тканини відпочивають під час розслаблення. Це дозволяє зберегти працездатність на триваліший термін. При тривалому керуванні трактором виникає напруга як в м'язах тулуба, так і м'язах кінцівок. Розвивається стомлення, пов'язане з м'язовою слабкістю. Руки затікають, і оператор-водій починає почергово трясти то однією рукою, то іншою. Для зняття напруги необхідно кожні 2 години роботи перерви на 15 – 20 хвилин.

Розумове стомлення настає при тривалій і насиченій розумовій роботі. Від неї людина втомлюється не менше, ніж від фізичної. Це відбувається із-за великого споживання енергії клітинами головного мозку. Розумова робота оператора-водія виявляється в необхідності безперервної оцінки ситуації на дорозі та в полі і швидкому ухваленні рішень. Ця робота може виконуватися в умовах дефіциту часу і сильної емоційної напруги.

Істотний вплив на ступінь стомлення операторів-водіїв колісних тракторів здійснює не тільки тяговий клас, потужність, призначення трактора, вид виконуваних робіт, а також і тип трансмісії. Визначимо ступінь стомлення операторів-водіїв колісних тракторів з механічною трансмісією та ГОМТ по частоті серцебиття, по методу Акіоші Кітаока та вмісту лактату (молочної кислоти) в крові. Дані методи були обрані для дослідження, оскільки не вимагають ніяких складних приладів і додаткового устаткування.

### **Визначення ступеня стомлення операторів-водіїв по частоті серцебиття.**

Під час навантаження відбуваються численні зміни в серцево-судинній системі. Всі вони направлені на виконання одного завдання: дозволити системі задовольнити збільшені потреби (потреба в кисні активних м'язів різко зростає, використовується більше живильних речовин, прискорюються метаболічні процеси, тому зростає кількість продуктів розпаду), забезпечивши максимальну ефективність її функціонування. Частота серцевих скорочень – найбільш простий і найбільш інформативний параметр серцево-судинної системи. Вимірювання його включає визначення пульсу, як правило, у області зап'ястя або сонної артерії [8, 9].

Пульс вимірюють по частоті ударів серця за 1 хвилину. Можна порохувати пульс, просто поклавши палець на зап'ясті або на сонну артерію на шиї. Частота серцебиття в стані спокою (коли абсолютно розслаблений оператор-водій) є важливим

показником рівня фізичного розвитку. Нормальний пульс повинен бути в межах від 60 до 90 ударів в хвилину [8, 9]. Якщо оператор-водій спортсмен або в добрій фізичній формі, то пульс може бути декілька рідшим, що свідчить про продуктивнішу роботу серця.

Для кожної людини під час фізичного і емоційного навантаження нормальним може бути різне значення частоти пульсу. В даному випадку правильніше говорити про цільову зону частоти серцебиття. Знаходиться вона десь між нормальним пульсом в спокійному стані і тим станом, коли серце ось-ось «вискочить з грудей». Прийнято вважати, що цільова зона серцебиття знаходиться в межах від 50% до 85% максимальної частоти, на яку здатне серце людини. При входженні в цю зону починає виступати піт, частішає дихання.

Один з простих і перевірених часом методів визначення максимально можливої частоти пульсу полягає в тому, щоб відняти вік людини від 220 (для чоловіків) або 260 (для жінок). Варто відзначити, що це приблизне значення без урахування індивідуальних особливостей. Помилка цього методу складає  $\pm 15$  ударів в хвилину.

Як приклад, наведемо розрахунок максимальної частоти серцебиття і меж цільової зони для 40-річного чоловіка: віднімаємо вік від 220 ( $220-40=180$ ), 180 – це значення максимальної частоти серцебиття. Нижня межа цільової зони:  $180 \cdot 0,50=90$ . Верхня межа цільової зони:  $180 \cdot 0,85=153$ .

Недоліком цієї формули є те, що вона враховує тільки вік людини. Існує і інший, ще точніший метод визначення максимальної частоти серцебиття – метод Карвонена [8, 9], який окрім віку враховує індивідуальні відмінності у фізичному стані. Метод заснований на такому показнику, як пульс в спокійному стані. Цей показник залежить не тільки від віку, але і від фізичної підготовленості. Розглянемо приклад розрахунку цільової зони для 40-річного чоловіка, пульс якого в спокійному стані рівний 60 ударам в хвилину: віднімаємо вік від 220 ( $220-40=180$ ), 180 – це приблизне значення максимальної частоти ударів серця. Віднімаємо значення пульсу в спокійному стані від обчисленого приблизного максимального значення:  $180-60=120$ . Множимо значення, отримане в другій дії, на 50%. Потім знов додаємо пульс в спокійному стані:  $120 \cdot 0,50+60=120$ . Нижня межа цільової зони складає 120 ударів в хвилину. Множимо значення, отримане в другій дії, на 85%. Потім додаємо значення пульсу в спокійному стані:  $120 \cdot 0,85+60=162$ . Верхня межа цільової зони складає 162 удари в хвилину.

Для того, щоб уникнути неточності вимірювання пульсу необхідно використовувати електронний датчик – пульсометр. Цей датчик надягається на руку, як годинник. Щоб дізнатися пульс, досить просто подивитися на монітор датчика. Більшість моделей обладнані пристроєм подачі звукового сигналу. Він звучить, коли людина досягає меж цільової зони.

Формула для розрахунку цільової зони частоти серцебиття:

- Нижня межа цільової зони

$$Y_{z\min} = (Y_{\max} - Age - Y_s) \cdot 0,5 + Y_s, \quad (1)$$

де  $Y_{\max}$  – максимально можлива частота пульсу, 220 – для чоловіків, 260 – для жінок;

$Age$  – вік оператора-водія;

$Y_s$  – пульс оператора-водія в спокійному стані.

- Верхня межа цільової зони

$$Y_{z\max} = (Y_{\max} - Age - Y_s) \cdot 0,85 + Y_s. \quad (2)$$

Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія, визначається з виразу (без округлення)

$$Q = 5 - \left( \frac{Y_t - Y_s}{Y_{z\max} - Y_s} \cdot 4 \right), \quad (3)$$

де  $Y_t$  – змінна частота пульсу оператора-водія.

В процесі дослідження вимірювали пульс операторів-водіїв на початку робочої зміни та через кожні 4 години аж до закінчення робочого дня. Через кожні 4 години за допомогою пульсометра виміри виконувалися підряд два рази для підвищення точності (більше не мало сенсу, тому що оператор-водій починав хвилюватися і частота серцебиття підіймалася штучно). Після чого вираховувалася оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія: 1 – 5 (відмінний стан – 5; потрібне відновлення – 1). Вимірювання відбувалися протягом двох днів (перший день – оранка, другий – транспортні роботи). Функції операторів-водіїв виконували люди, що постійно працюють на даній техніці. Інформація про операторів-водіїв та техніку (рис. 1), на якій вони працюють, зведена до табл. 1. Результати дослідження частоти серцебиття операторів-водіїв та їх ступеня стомлення наведені в табл. 2.



Рисунок 1 – Трактори операторів-водіїв, що приймали участь в дослідженні:  
 а – ХТА-200 «Слобожанець»; б – Case IH Magnum 255;  
 в – Deutz-Fahr Agrotрон X720; г – Fendt 936 Vario

## ТРАКТОРОБУДУВАННЯ

Таблиця 1 – Інформація про операторів-водіїв та техніку на якій вони працюють

Параметр	ХТА-200 «Слобожанець»	Case IH Magnum 255	Deutz-Fahr Agrotron X720	Fendt 936 Vario
Коротка характеристика тракторів				
Максимальна потужність, кВт	154,4	210	243	265
Маса, кг	8525 (експлуатаційна)	15300 (з максимальним баластом)	14000 (з максимальним баластом)	10830 (експлуатаційна), 18000 (з максимальним баластом)
Трансмісія	Механічна з гідрокерованими муфтами для перемикання передач при русі без розриву потоку потужності	Power Shift – це механічна коробка, оснащена електронною системою керування.	Механічна, 4-х кратна коробка передач, що перемикається під навантаженням, з 6 групами, сервопривід перемикання (PowerShuttle) і APS (Automatic PowerShift) забезпечують перемикання при невимкненому зчепленні та пропонують в кожному діапазоні відповідну робочу швидкість. Саме APS створює для водія додаткову зручність, здійснюючи автоматичне увімкнення передач, що перемикаються під навантаженням.	Fendt Vario – безступінчаста ГОМТ
Число передач для руху вперед	16	18	40	Безступінчаста
Число передач для руху назад	8	4	40	Безступінчаста
Максимальна швидкість руху, км/год	34,8	40	40	60
Стать оператора-водія	Чоловіча	Чоловіча	Чоловіча	Чоловіча
Наявність клімат-контролю	+	+	+	+
Інформація про операторів-водіїв				
Вік оператора-водія, Age	53	55	55	50
Пульс оператора-водія в спокійному стані, $Y_s$ (день 1 / день 2)	70,5/74,5	76/74	75/75	72,5/71,5
Верхня межа цільової зони, $Y_{s \max}$ (день 1 / день 2)	152,5/153,1	151,7/151,4	151,5/151,5	153,7/153,5
Вміст лактату (молочної кислоти) в крові оператора-водія в спокійному стані, $Y_{sm}$ , ммоль/л (день 1 / день 2)	1,2/1,3	1,5/1,4	1,4/1,5	1,5/1,6
Вміст лактату (молочної кислоти) в крові після тяжких та інтенсивних навантажень, $Y_{sm \max}$ , ммоль/л (день 1 / день 2)	4,6/4,8	4,4/4,1	4,3/4,0	4,5/4,2

Як видно з табл. 2, в момент закінчення дванадцятичасового робочого дня по частоті серцебиття найменш стомленим виявився оператор-водій трактора Fendt 936 Vario, трохи більше за нього – на 2,7% – 6,6% (в залежності від номера виміру та виконуваних операцій) втомився оператор-водій трактора Case IH Magnum 255, на 5,4% – 10,5% оператор-водій Deutz-Fahr Agrotron X720, а найбільш стомленим – на 31,1% – 43,4% виявився оператор-водій ХТА-200 «Слобожанець». Трактор ХТА-200 «Слобожанець» за умовами праці оператора-водія суттєво поступається тракторам Fendt 936 Vario, Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrotron X720, проте температуру повітря в кабіні оператори-водії всіх тракторів налаштовували самостійно, обираючи найкомфортнішу для себе. Суттєво впливає на різницю в ступені стомлення

операторів-водіїв тракторів 936 Vario, Case IH Magnum 255 та Deutz-Fahr Agrottron X720 тип трансмісії, так як дані трактори мають досить схожі характеристики з точки зору комфорту та виконували однакові технологічні операції.

При дослідженні частоти серцебиття операторів-водіїв було встановлено, що найменш стомленим виявився оператор-водій, який працював на тракторі з ГОМТ. Більш стомленими – на 2,7% – 43,4% оператори-водії, що працювали на тракторах з механічною трансмісією.

Таблиця 2 – Дослідження ступеня стомлення операторів-водіїв по частоті серцебиття

Кількість годин з початку робочого дня	Робочий день 1				Робочий день 2			
	Частота серцебиття оператора-водія, $Y_i$		Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія, $Q$		Частота серцебиття оператора-водія, $Y_i$		Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія, $Q$	
	Вимір 1	Вимір 2	Вимір 1	Вимір 2	Вимір 1	Вимір 2	Вимір 1	Вимір 2
ХТА-200 «Слобожанець»								
0	70	71	5,0	5,0	74	75	5,0	5,0
4	90	105	4,0	3,3	94	100	4,0	3,7
8	104	115	3,4	2,8	101	107	3,6	3,4
12	125	133	2,3	2,0	120	125	2,7	2,4
Case IH Magnum 255								
0	75	77	5,0	5,0	73	75	5,0	5,0
4	79	83	4,8	4,7	78	80	4,7	4,7
8	94	95	4,0	4,0	90	94	4,1	4,0
12	102	105	3,6	3,5	100	102	3,6	3,6
Deutz-Fahr Agrottron X720								
0	74	76	5,0	5,0	75	75	5,0	5,0
4	80	82	4,7	4,7	79	81	4,8	4,7
8	95	97	3,9	3,9	91	95	4,2	4,0
12	104	107	3,4	3,4	101	106	3,6	3,4
Fendt 936 Vario								
0	72	73	5,0	5,0	70	73	5,0	5,0
4	75	76	4,9	4,9	75	77	4,8	4,8
8	83	87	4,5	4,3	85	89	4,3	4,2
12	95	99	3,9	3,7	97	100	3,7	3,7

### Визначення ступеня стомлення операторів-водіїв по методу Акіюші Кітаока.

Японським психіатром Акіюші Кітаока [10] вигадано достатньо простий спосіб визначення ступеня стомлення людини. Суть методу полягає у вивченні спеціальних ілюстрацій (рис. 2). Якщо здається, що зображення повністю статичне – людина бадьора. Якщо ж з'являється відчуття, що картинка поволі рухається, змінюється – час влаштувати невеликий відпочинок, а якщо ілюзії рухаються дуже швидко – необхідно терміново залишити роботу і добре відпочити. Фактично завдяки цьому методу ступінь стомлення (стан людини) оцінюється за наступною шкалою: відмінний стан – 5; задовільний – 3; потрібне відновлення – 1.

В процесі дослідження на початку робочої зміни та через кожні 4 години аж до закінчення робочого дня оператору-водієві демонструвалися 5 різних випадкових ілюстрацій зі всього набору (рис. 2), після чого виставлялася оцінка, що характеризує ступінь стомлення: 1, 3, 5. Вимірювання відбувалися протягом двох днів (перший день – оранка, другий – транспортні роботи). Функції операторів-водіїв виконували люди, що постійно працюють на даній техніці (табл. 1). Результати дослідження ступеня стомлення операторів-водіїв по методу Акіюші Кітаока наведені в табл. 3.

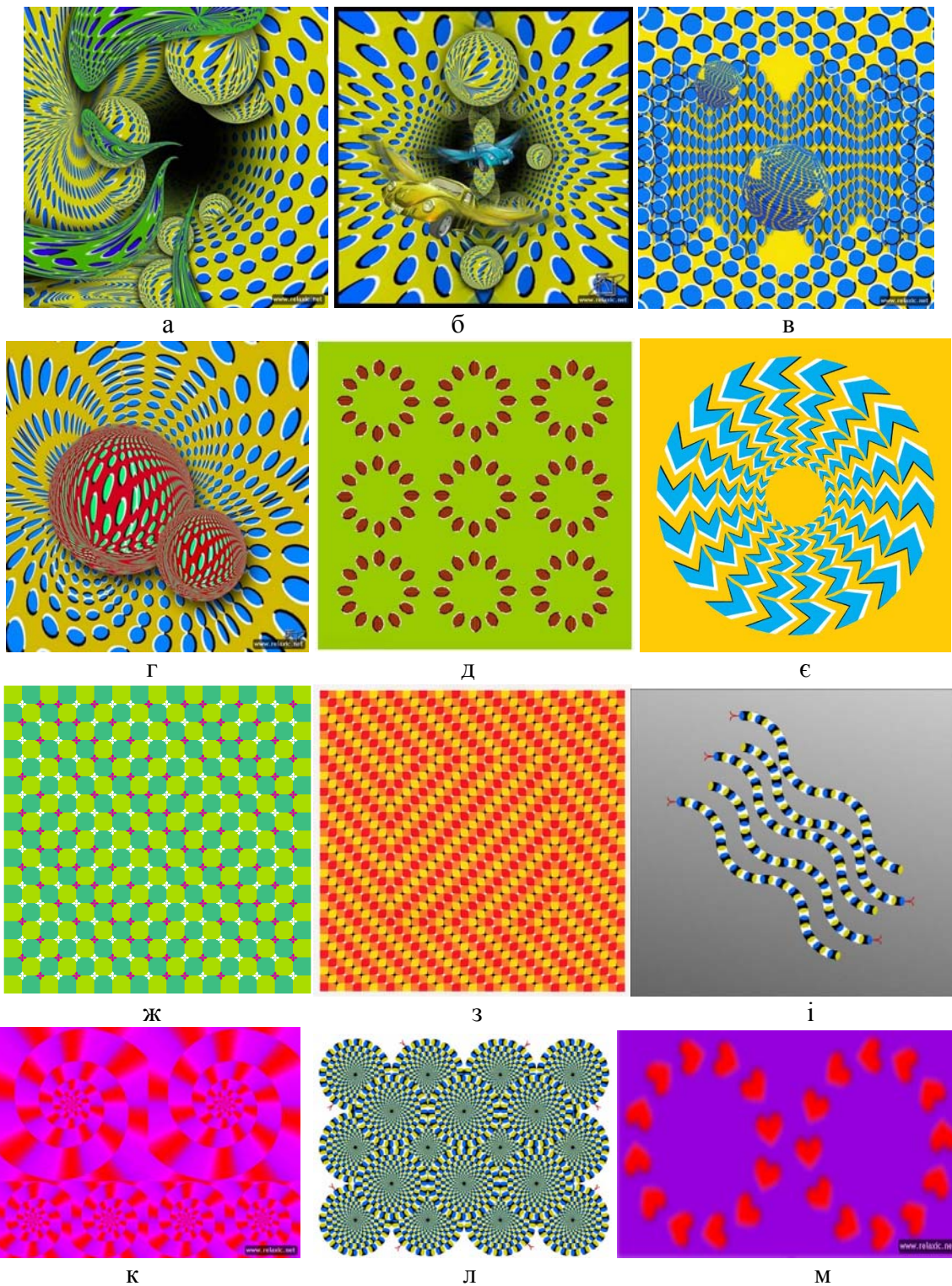


Рисунок 2 – Ілюстрації Акіюші Кітаока: а, б, в, г, д, е, ж, з, і, к, л, м – тестові ілюстрації

Як видно з табл. 3, в момент закінчення дванадцятичасового робочого дня по методу Акіюші Кітаока найменш стомленим виявився оператор-водій трактора Fendt 936 Varjo, трохи більше за нього – на 13,3% втомився оператор-водій трактора Case IH

Magnum 255, на 13,3% – 20,0% (в залежності від номера виміру та виконуваних операцій) оператор-водій Deutz-Fahr Agrottron X720, а найбільш стомленим – на 33,3% – 40,0% виявився оператор-водій ХТА-200 «Слобожанець».

Найменш стомленим по методу Акіоші Кітаока виявився оператор-водій, який працював на тракторі з ГОМТ. Більш стомленими – на 13,3% – 40,0% оператори-водії, що працювали на тракторах з механічною трансмісією.

Таблиця 3 – Дослідження ступеня стомлення операторів-водіїв по методу Акіоші Кітаока

Кількість годин з початку робочого дня	Робочий день 1										Робочий день 2									
	Номер ілюстрації					Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія					Номер ілюстрації					Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ХТА-200 «Слобожанець»																				
0	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	3	5	5	3	
4	3	5	3	3	3	3	3	5	3	3	3	5	3	3	3	5	3	3	3	
8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
12	1	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	1	3	3	1	3	1	1	1	
Case IH Magnum 255																				
0	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	5	
4	5	5	3	5	3	5	5	3	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	3	
8	5	5	3	3	5	3	3	3	3	5	5	3	3	5	3	3	3	5	5	
12	3	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	
Deutz-Fahr Agrottron X720																				
0	5	5	3	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	5	
4	5	5	3	5	3	5	5	3	3	5	5	3	3	5	5	5	3	5	3	
8	3	5	3	5	5	5	3	3	3	5	5	5	3	5	3	3	3	3	5	
12	3	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	3	1	3	3	1	1	3	3	
Fendt 936 Vario																				
0	5	5	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	
4	5	5	5	5	3	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3	
8	5	5	3	5	5	5	3	3	3	5	5	5	3	5	3	3	5	3	5	
12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

**Визначення ступеня стомлення операторів-водіїв по вмісту лактату (молочної кислоти) в крові.**

Втома, в основному, відбувається в результаті накопичення в крові так званих «токсинів втоми» [11, 12].

«Токсини втоми» – поняття збиральне. У медицині під цим терміном мається на увазі ціла група речовин, які є проміжними або побічними продуктами обміну. Ці речовини утворюються в організмі в результаті інтенсивної і тривалої праці. В першу чергу, це лактат (молочна кислота) і піровиноградна кислота – побічні продукти окислення глюкози і глікогену в організмі.

Можна виділити наступні основні групи токсинів втоми:

- лактат (молочна кислота) і піровиноградна кислота;
- кетонів тіла (ацетон та ін.);
- продукти гниття і бродіння в кишечнику;
- продукти азотистого обміну (аміак та ін.);
- вільні радикали.

Лактат (молочна кислота) – одна з не багатьох груп токсинів, концентрацію яких в крові людини можна виміряти в польових умовах.



У нормі при кисневому окисненні глюкози та глікогену вони окислюються до вуглекислоти газу і води. При великих фізичних навантаженнях потреба організму в кисні перевищує можливості дихальної, серцево-судинної і кровоносної систем. В результаті відбувається неповне окислення всіх енергетичних субстратів. Частина вуглеводів окислюється тільки до молочної і пірвіноградної кислоти. Причому збільшення вмісту молочної кислоти в крові ускладнює проникнення кисню в клітини. Виникає замкнуте коло: чим менше кисню, тим більше молочної кислоти, а чим більше молочної кислоти, тим менше тканини засвоюють кисню. Стомлення при цьому наростає, як сніговий ком. І до кінця виконання фізичного навантаження воно досягає критичної точки.

Молочна і пірвіноградні кислоти зрушують рН крові в кислу сторону. Розвивається так званий ацидоз. Провідна роль в розвитку ацидозу належить молочної кислоті. Саме молочна кислота є основним «токсиком втоми». Сонливість і загальмованість після великих об'ємних фізичних навантажень обумовлені, перш за все, молочнокислим ацидозом, який викликає гальмування в центральній нервовій системі і периферичних нервових центрах. Тяжкість в голові і відчуття інтелектуального стомлення, які бувають після тривалої розумової роботи, з'являються, в основному, за рахунок накопичення молочної кислоти в тканинах головного мозку. Природно, що будь-які заходи по ліквідації (утилізації) молочної кислоти в печінці і м'язах сприятимуть підвищенню працездатності та ліквідації стомлення.

Саме завдяки м'язам тіло рухається. При скороченні м'язи виділяють молочну кислоту, дію якої на самі м'язи можна назвати «отрутою втоми», тобто молочна кислота – основна причина того, що м'язи втомлюються. Насправді м'язам все одно як довго продовжувати працювати, головне щоб молочна кислота швидше йшла з них. Розносяться токсини втоми по всьому тілу за допомогою крові, тому не тільки м'язи, але і решта тіла, особливо мозок, починає відчувати втому.

Для вимірювання рівня вмісту лактату (молочної кислоти) в крові під час фізичного навантаження беруть кров з мочки вуха або кінчика пальця. Виходячи з одержаного аналізу, можна зробити висновок про стан людини. Концентрація лактату (молочної кислоти) при навантаженні корелює з розвитком стомлення.

Кліренс лактату (зникнення з крові) пов'язаний, головним чином, з метаболізмом його в печінці і нирках. Поглинання лактату печінкою не безкінечне. Існує поняття «лактатного порогу» – 4 ммоль/л, досягши який плавне зростання концентрації молочної кислоти переходить в стрибкоподібне.

Вміст лактату в крові людини в спокійному стані повинен бути нижче 1 ммоль/л, при інтенсивній м'язовій роботі може зростати в 5 – 10 разів. Референсні значення: менше 2,4 ммоль/л [11, 12].

Підвищення значень лактату спостерігається при: алкоголізмі; хронічному алкоголізмі; інтоксикаціях; гострому гепатиті; синдромі гіпервентиляції та інших злоякісних новоутвореннях; гострій кровотечі; важкій гострій застійній серцевій недостатності або інших причинах судинного колапсу; захворюваннях серця з ціанозом або другими причинами гострої гіпоксії; інфекціях – особливо пієлонефриті; цирозі; важких судинних захворюваннях; лейкозі; патологічних станах, що супроводжуються посиленням м'язових скорочень (епілепсії, тетанії та ін.); серцевої (гострої і хронічної) або легеневої недостатності; анемії; важкої анемії.

В процесі дослідження ступеня стомлення на початку робочої зміни та на при кінці робочого дня вимірювали вміст лактату (молочної кислоти) в крові операторів-водіїв за допомогою приладу Accutrend Plus для чого брали невелику кількість крові

(0,01 – 0,05 мл) з кінчика безіменного пальця руки на тест-полоски «аккутренд лактат». Вимірювання відбувалися протягом двох днів (перший день – оранка, другий – транспортні роботи). Функції операторів-водіїв виконували люди, що постійно працюють на даній техніці (табл. 1).

Accutrend Plus – прилад для визначення рівня холестерину, глюкози, триглицеридів і лактату в крові. Аналізатор Accutrend Plus працює на спеціальних тест-полосках (рис. 3) – «аккутренд глюкоза» (для визначення рівня глюкози), «аккутренд холестерину» (для визначення рівня холестерину), «аккутренд триглицериди» (для визначення рівня триглицеридів), «аккутренд лактат» (для визначення рівня молочної кислоти). Прилад володіє широким діапазоном вимірювання – для глюкози – від 1,1 до 33,3 ммоль/л, для холестерину – від 3,88 до 7,75 ммоль/л, для триглицеридів – від 0,8 до 6,9 ммоль/л, для молочної кислоти – від 0,8 до 21,7 ммоль/л. Час вимірювання молочної кислоти – до 60 секунд. У пам'яті приладу зберігається до 100 значень кожного параметра з часом і датою вимірювання. Прилад володіє високою точністю вимірювання (від  $\pm 3\%$  до  $\pm 5\%$  в порівнянні з лабораторними методами).



Рисунок 3 – Прилад Accutrend Plus

Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія по вмісту лактату (молочної кислоти) в крові, визначається з виразу (без округлення)

$$Q_m = 5 - \left( \frac{Y_{tm} - Y_{sm}}{Y_{zm\max} - Y_{sm}} \cdot 4 \right), \quad (4)$$

де  $Y_{tm}$  – зміряний вміст лактату (молочної кислоти) в крові оператора-водія;

$Y_{sm}$  – вміст лактату (молочної кислоти) в крові оператора-водія в спокійному стані;

$Y_{zm\max}$  – вміст лактату (молочної кислоти) в крові після тяжких та інтенсивних навантажень. В зв'язку з тим, що у кожного оператора-водія вміст лактату (молочної кислоти) в крові після тяжких навантажень різний в силу їх неоднакової фізичної підготовки, значення  $Y_{zm\max}$  пропонується знаходити експериментальним шляхом: оператор-водій повинен присісти 10 разів з максимальним прискоренням, через 3 – 7 хв. після закінчення вправи вимірюється вміст лактату (молочної кислоти) в крові. Саме це значення і буде  $Y_{zm\max}$ .

Результати дослідження ступеня стомлення операторів-водіїв по вмісту лактату (молочної кислоти) в крові наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Дослідження ступеня стомлення операторів-водіїв по вмісту лактату (молочної кислоти) в крові

Кількість годин з початку робочого дня	Робочий день 1		Робочий день 2	
	Вміст лактату (молочної кислоти) в крові, $Y_{lm}$ , ммоль/л	Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія, $Q_m$	Вміст лактату (молочної кислоти) в крові, $Y_{lm}$ , ммоль/л	Оцінка, що характеризує ступінь стомлення оператора-водія, $Q_m$
ХТА-200 «Слобожанець»				
0	1,2	5	1,3	5
12	3,8	1,9	3,9	2,0
Case IH Magnum 255				
0	1,5	5	1,4	5
12	2,9	3,1	2,8	2,9
Deutz-Fahr Agrottron X720				
0	1,4	5	1,5	5
12	2,9	2,9	2,8	2,9
Fendt 936 Vario				
0	1,5	5	1,6	5
12	2,7	3,4	2,8	3,2

Як видно з табл. 4, в момент закінчення дванадцятичасового робочого дня по вмісту лактату (молочної кислоти) в крові найменш стомленим виявився оператор-водій трактора Fendt 936 Vario, трохи більше за нього – на 8,8% – 9,4% (в залежності від виконуваних операцій) втомився оператор-водій трактора Case IH Magnum 255, на 9,4% – 14,7% оператор-водій Deutz-Fahr Agrottron X720, а найбільш стомленим – на 37,5% – 44,1% виявився оператор-водій ХТА-200 «Слобожанець».

Найменш стомленим по вмісту лактату (молочної кислоти) в крові виявився оператор-водій, який працював на тракторі з ГОМТ. Більш стомленими – на 8,8% – 44,1% оператори-водії, що працювали на тракторах з механічною трансмісією.

### Висновки.

В момент закінчення дванадцятичасового робочого дня по частоті серцебиття, по методу Акіюші Кітаока та вмісту лактату (молочної кислоти) в крові найменш стомленим виявився оператор-водій трактора Fendt 936 Vario, трохи більше за нього – на 2,7% – 13,3% (в залежності від номера виміру, виконуваних операцій та методу визначення ступеня стомлення) втомився оператор-водій трактора Case IH Magnum 255, на 5,4% – 20,0% оператор-водій Deutz-Fahr Agrottron X720, а найбільш стомленим – на 31,1% – 44,1% виявився оператор-водій ХТА-200 «Слобожанець». Різниця в результатах ступеня стомлення операторів-водіїв тракторів Fendt 936 Vario, Case IH Magnum 255, Deutz-Fahr Agrottron X720 та ХТА-200 «Слобожанець» пояснюється, в основному, типом трансмісії, складністю системи її керування та психофізичними витратами трактористів при цьому.

**Список літератури:** 1. Ключников А. В. Тенденции развития трансмиссий колесных тракторов / А. В. Ключников // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 1 (175). – С. 43 – 47. 2. Щельцын Н. А. Современные бесступенчатые трансмиссии с.-х. тракторов / Н. А. Щельцын, Л. А. Фрумкин, И. В. Иванов // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. –

№ 11. – С. 18 – 26. **3.** Самородов В. Б. Безступінчасті гідрооб'ємно-механічні трансмісії як невід'ємний елемент сучасних тракторів / В. Б. Самородов, В. В. Єніфанов, А. І. Бондаренко // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2012. – № 135. – С. 244 – 247. **4.** Айтцетмюллер Х. Функциональные свойства и экономичность тракторной и специальной техники с трансмиссиями VDC / Х. Айтцетмюллер // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 1(6). – С. 20 – 24. **5.** Рогов А. В. Развитие методов расчета систем «двигатель – трансмиссия» автомобилей и тракторов: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.02 «Автомобілі та трактори» / Рогов Андрей Владимирович. – Харків, 2006. – 168 С. **6.** Старожук И. А. Влияние типа механизма поворота трактора на напряженность труда тракториста / И. А. Старожук, Г. С. Цейтлина, В. С. Сафронов // Тракторы и сельхозмашины. – 1999. – № 2. – С. 12 – 14. **7.** Сайт <http://www.simp.com.ua/utomlenie/>. **8.** Сайт [http://mfit.kiev.ua/ru/article/id/reakcii\\_serdechno\\_sosudistoj\\_sistemj\\_na\\_fizicheskiju\\_nagruzku/index.html](http://mfit.kiev.ua/ru/article/id/reakcii_serdechno_sosudistoj_sistemj_na_fizicheskiju_nagruzku/index.html). **9.** Сайт <http://www.sportlandia.com.ua/fitnes-v-domashnikh-usloviyakh.html>. **10.** Сайт <http://blog.i.ua/user/1128109/321448/>. **11.** Сайт [http://www.tibeta.com.ua/page\\_162.html](http://www.tibeta.com.ua/page_162.html). **12.** Сайт <http://www.combat-jujutsu.kiev.ua/files/Farm.htm>.

*Надійшла до редколегії 04.03.2014*

УДК 621.83.062

**Аналіз ступеня стомлення операторів-водіїв сучасних колісних тракторів / В. Б. Самородов, А. І. Бондаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 14-25. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-6840.**

В работе определена степень утомления операторов-водителей современных колесных тракторов по частоте сердцебиения, по методу Акиоши Китаока и содержанию лактата (молочной кислоты) в крови при выполнении пахоты и транспортных работ, а также проведен сравнительный анализ полученных результатов.

**Ключевые слова:** трактор, трансмиссия, гидрообъемно-механическая трансмиссия, утомление.

**Analysis degree fatigues operator-drivers modern wheel tractor / V. B. Samorodov, A. I. Bondarenko // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 14-25. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2078-6840.**

In work the degree of fatigue of operators-drivers of the modern wheeled tractors on frequency of palpitation, on the method of Akyoshy Kytaoka and milk acid in blood at implementation of ploughing and transporting works, and also the comparative analysis of the got results is conducted.

**Keywords:** tractor, transmission, hydrostatic-mechanical transmission, fatigue.