**Volodymyr Kuvachov, Serhii Kiurchev, Tomasz Nurek, Tetiana Chorna,
Vasyl Mitkov, Yevhen Ihnatiev, Szymon Glowacki,
Taras Hutsol, Sergii Slobodian, Oleksandr Dumanskyi**

Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means

MONOGRAPH

2021

ISBN 978-83-7583-997-5
DOI 10.22630/SGGW.IIM.9788375839975

Reviewers:

Nadykto Volodymyr *– Corresponding Member of NAAS of Ukraine, ScD in Engineering, Professor, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine*

Wesołowski Andrzej *– PhD in Engineering, Faculty of Technical Sciences, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland*

Rud Anatolii *– PhD in Engineering, Faculty of Engineering and Technology, State Agrarian and Engineering University in Podilia, Ukraine*

Skudlarski Jacek *– PhD in Engineering, Institute of Mechanical Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Warsaw, Poland*

Volodymyr Kuvachov, Serhii Kiurchev, Tomasz Nurek, Tetiana Chorna, Vasyl Mitkov, Yevhen Ihnatiev, Szymon Glowacki, Taras Hutsol, Sergii Slobodian, Oleksandr Dumanskyi. Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means. Monograph – Warszawa: 2021. – 136 p.

The monograph presents scientifical recommendations for solving problem of increasing the movement smoothness of machine-tractor units (MTU) on the basis of modular power tools (MPT) by substantiating rational parameters of connection stiffness of its power and technological modules. The presented materials are intended for masters, graduate students, engineers and scientists engaged in the design, testing and operation of agricultural machinery.

Warsaw University of Life Sciences Press
Nowoursynowska 166, 02-787 Warsaw
e-mail: wydawnictwo@sggw.edu.pl
www.wydawnictwosggw.pl

Print: Libra-Print, al. Legionów 114B, 18-400 Łomża

**Кувачов Володимир, Кюрчев Сергій, Нурек Томаш, Чорна Тетяна,
Мітков Василь, Ігнатьєв Євген, Гловацкі Шимон,
Гуцол Тарас, Слободян Сергій, Думанський Олександр**

Наукові основи підвищення плавності руху машинно-тракторних агрегатів на основі модульних енергетичних засобів

МОНОГРАФІЯ

2021

ISBN 978-83-7583-997-5
DOI 10.22630/SGGW.IIM.9788375839975

Рецензенти:

Надикто Володимир *– член-кореспондент НААН України, доктор технічних наук, професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна*

Веселовський Анджей *– кандидат технічних наук, факультет технічних наук, Вармінско-Мазурский університет в Ольштині, Польща*

Рудь Анатолій *– кандидат технічних наук, професор, інженерно-технічний факультет, Подільський державний аграрно-технічний університет, Україна*

Скудлярський Яцек *– кандидат технічних наук, доцент, Інститут механічної інженерії, Варшавський університет природничих наук, Польща*

Кувачов Володимир, Кюрчев Сергій, Нурек Томаш, Мітков Василь, Чорна Тетяна, Ігнатьєв Євген, Гловацкі Шимон, Гуцол Тарас, Слободян Сергій, Думанський Олександр. Наукові основи підвищення плавності руху машинно--тракторних агрегатів на основі модульних енергетичних засобів. Монографія. – Варшава: 2021. – 136 с.

В монографії представлені науково-обґрунтовані рекомендації щодо розв’язання проблеми підвищення плавності руху машинно-тракторних агрегатів (МТА) на основі модульних енергетичних засобів (МЕЗ) шляхом обґрунтування раціональних параметрів жорсткості з’єднання його енергетичного та технологічного модулів. Представлені матеріали призначена для магістрів, аспірантів, інженерно-технічних працівників і науковців, які займаються проектуванням, випробуванням і експлуатацією сільськогосподарської техніки.

CONTENTS

PREFACE 9

1. **STATE OF THE ISSUE, PURPOSE AND OBJECTIVES OF RESEARCH** 13
   - 1.1. Prospects analysis for the use of modular power tools of traction class 1.4-3 in agricultural production 13
   - 1.2. Influence of MTU oscillations on power and technical-operational indicators 28
   - 1.3. Analysis of ways to improve MTU motion smoothness 32

   Section conclusions 42

2. **THEORETICAL MODELING OF MTU MOVEMENT ON THE BASIS OF MPT IN THE LONGITUDINAL-VERTICAL PLANE** 44
   - 2.1. General provisions and assumptions adopted in the simulation of MTU vertical oscillations 44
   - 2.2. Mathematical modeling of the dynamics of plane-parallel motion of MTU power module 49
   - 2.3. Mathematical modeling of the dynamics of plane-parallel motion of the MTU technological module 57
   - 2.4. Determination of the plow reaction to technological module 60
   - 2.5. Mathematical model of oscillation dynamics of arable MTU based on MPT in the longitudinal-vertical plane 62
   - 2.6. Smooth movement analysis of MTU based on MPT 69

   Section conclusions 74

3. **PROGRAM AND METHODOLOGY OF EXPERIMENTALRESEARCH** 75
   - 3.1. Object and program of experimental research 75
   - 3.2. Planning of experimental researches 79
   - 3.3. Methods of experimental research, devices and equipment used 82
   - 3.4. Methods of experimental data processing 93
   - 3.5. Methods of checking the mathematical model for adequacy 95

4. **RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH** 97
   - 4.1. Research of movement smoothness of arable MTU based on MPT 97
   - 4.2. Research of traction and energy performance of arable MTU based on MPT 105
   - 4.3. Operational and technological assessment of arable MTU based on MPT 110

   Section conclusions 114

CONCLUSIONS 116

REFERENCES 120

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 11

1. **СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ** 13
   - 1.1. Аналіз перспектив використання модульних енергетичних засобів класу 1.4-3 у сільськогосподарському виробництві 13
   - 1.2. Вплив коливань МТА на енергетичні та техніко-експлуатаційні показники 28
   - 1.3. Аналіз способів підвищення плавності руху МТА 32

   Висновки по розділу 42

2. **ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ МТА НА ОСНОВІ МЕЗ У ПОЗДОВЖНЬО-ВЕРТИКАЛЬНІЙ ПЛОЩИНІ** 44
   - 2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при моделюванні вертикальних коливань МТА 44
   - 2.2. Математичне моделювання динаміки плоско-паралельного руху енергетичного модуля МТА 49
   - 2.3. Математичне моделювання динаміки плоско-паралельного руху технологічного модуля МТА 57
   - 2.4. Визначення реакції впливу плуга на технологічний модуль 60
   - 2.5. Математична модель динаміки коливань орного МТА на основі МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині 62
   - 2.6. Аналіз плавності руху МТА на основі МЕЗ 69

   Висновки по розділу 74

3. **ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ** 75
   - 3.1. Об’єкт і програма експериментальних досліджень 75
   - 3.2. Планування експериментальних досліджень 79
   - 3.3. Методика експериментальних досліджень, застосовані прилади та обладнання 82
   - 3.4. Методика обробки експериментальних даних 93
   - 3.5. Методика перевірки математичної моделі на адекватність 95

4. **РЕЗУЛЬТАТИЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХДОСЛІДЖЕНЬ** 97
   - 4.1. Дослідження плавності руху орного МТА на основі МЕЗ 97
   - 4.2. Дослідження тягово-енергетичних показників роботи орного МТА на основі МЕЗ 105
   - 4.3. Експлуатаційно-технологічна оцінка роботи орного МТА на основі МЕЗ 110

   Висновки по розділу 114

ВИСНОВКИ 118

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 120

PREFACE

Many years of experience in the operation of machine-tractor units (MTU) in European countries have shown that the increase in energy saturation of tractors did not give a proportional increase in productivity of MTU and increased energy consumption per unit of work performed.

It is theoretically and experimentally proved that increasing the productivity of MTU by increasing its working width (increasing the tractor traction force), or by increasing its speed has an agrotechnical limit.

An alternative development way of tractor construction consists in replacement of a tractor (at increase of its energy saturation) on a tractor of traction-energy concept and creation on its basis of traction-driving machine-tractor units still insufficiently studied. Of particular interest is the MTU formation on a modular basis using technological modules with drive wheels. The built-in reserve of engine power which cannot be realized through running system of the energy-saturated tractor, at modular system of aggregation is realized through driving wheels of technological module due to use as coupling not only tractor weight, but also weight of all unit, including its technological part.

Due to this, it acquires prospects for the development of so-called modular power tools (MPT) of variable traction class. One of them is MPT of a traction class 1.4-3 which consists of power (PM) and technological (TM) modules. The power module is a arable and row-crop tractor of traction class 1.4.

The technological module is an additional axle with active wheel drive, equipped with the necessary technological equipment (hitch, power take-off shaft, etc.).

The above mentioned MPT can develop a traction force from 14 kN (one PM) to 30 kN (PM together with TM), which makes it possible to operate it with machines for tractors of three traction classes: 1.4, 2 and 3.

Scientists have developed and tested a system of aggregation of modular power tools, including MPT of variable traction class 1.4-3. In the course of units tests on the basis of this power tool the problem of smoothness of their movement was revealed. From practice it is known that unsatisfactory dynamics of MTU movement in longitudinal-vertical plane considerably worsens technical and operational indicators of their work. In particular, the increase in energy costs reaches 4–12%; fuel consumption increases by 10–15%; productivity decreases by 15%, overhaul time – by 15–20%, and the cost of agricultural technological operations increases by 25–30%.

In this regard, the problem of increasing the movement smoothness of MTU based on MPT by studying the dynamics of its plane parallel motion in the longitudinal-vertical plane is urgent.

The researches carried out to us do not give practical recommendations concerning essential increase of MTU movement smoothness on the basis MPT of a traction class 1.4-3. And the dynamics of plane-parallel motion of MPT modules in the longitudinal-vertical plane as a result of vibration damping was not considered in detail.

ПЕРЕДМОВА

Багаторічний досвід експлуатації машинно-тракторних агрегатів (МТА) в Європейських країнах показав, що зростання енергонасиченості тракторів не дало пропорційного приросту продуктивності МТА і збільшило енерговитрати на одиницю виконаної роботи.

Теоретично і експериментально доведено, що підвищення продуктивності МТА через збільшення його ширини захвату (збільшення тягового зусилля трактора), або через збільшення його швидкості має агротехнічну межу.

Альтернативний напрямок розвитку тракторобудування полягає в заміні трактора, при підвищенні його енергонасиченості, на трактор тягово-енергетичної концепції та створення на його основі тягово-привідних машинно-тракторних агрегатів ще недостатньо вивчено. Особливий інтерес представляє формування МТА за модульним принципом з використанням технологічних модулів з ведучими колесами. Закладений резерв потужності двигуна, який не може бути реалізований через ходову систему енергонасиченого трактора, при модульній системі агрегатування реалізується через ведучі колеса технологічного модуля за рахунок використання в якості зчіпної не тільки ваги трактора, а й ваги всього агрегату, включаючи його технологічну частину.

Через це набуває перспектив розвитку так званих модульних енергетичних засобів (МЕЗ) перемінного тягового класу. Одним із них є МЕЗ тягового класу 1.4-3, який складається із енергетичного (ЕМ) і технологічного (ТМ) модулів. В якості енергетичного модуля виступає універсально-просапний трактор тягового класу 1.4.

Технологічний модуль представляє собою додатковий міст з активним приводом коліс, оснащений необхідним технологічним обладнанням (навісним механізмом, валом відбору потужності, сідельним пристроєм тощо).

Вказаний вище МЕЗ може розвивати тягове зусилля від 14 (один ЕМ) до 30 кН (ЕМ разом з ТМ), що дає можливість експлуатувати його зі шлейфом машин для тракторів трьох тягових класів: 1.4; 2 і 3.

Науковцями розроблена і апробована система агрегатування модульних енергетичних засобів, зокрема і МЕЗ перемінного тягового класу 1.4-3. В процесі випробувань агрегатів на основі цього енергозасобу була виявлена проблема плавності їх руху. З практики ж відомо, що незадовільна динаміка переміщення МТА у поздовжньо-вертикальній площині значно погіршує техніко-експлуатаційні показники їх роботи. Зокрема, збільшення енергетичних витрат сягає 4–12%; витрати

палива підвищуються на 10–15%; зменшуються продуктивність роботи на 15%, міжремонтний наробіток – на 15–20%, а собівартість сільськогосподарських технологічних операцій зростає на 25–30%.

У зв’язку з цим актуальною є проблема підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ шляхом дослідження динаміки його плоско паралельного руху у поздовжньо-вертикальній площині.

Проведені до цього часу дослідження не дають практичних рекомендацій щодо суттєвого підвищення плавності руху МТА на основі МЕЗ класу 1.4-3. А динаміка плоско-паралельного руху модулів МЕЗ у поздовжньо-вертикальній площині в результаті демпфірування коливань детально не розглядалася.