

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2022

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 5, Volume 313

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання категорії «Б»,
РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019 та №409 від 17.03.2020

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2022, № 5(313)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Горященко С. Л. , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., **Бойко Ю.М.**, д.т.н., **Говорущенко Т.О.**, д.т.н., **Гордєєв А.І.**, д.т.н., **Горященко С. Л.**, к.т.н., **Грабко В.В.**, д.т.н., **Диха О.В.**, д.т.н., **Защепкіна Н.М.**, д.т.н., **Рубаненко О. О.**, д.т.н., **Захаркевич О.В.**, д.т.н., **Злотенко Б.М.**, д.т.н., **Зубков А.М.**, д.т.н., **Каплун П.В.**, д.т.н., **Карташов В.М.**, д.т.н., **Кичак В.М.**, д.т.н., **Любош Хес**, д.т.н., (Чехія), **Мазур М.П.**, д.т.н., **Мандзюк І.А.**, д.т.н., **Мартинюк В.В.**, д.т.н., **Мельничук П.П.**, д.т.н., **Місяць В.П.**, д.т.н., **Малогоулко Ю. В.**, к.т.н., **Мясіщев О.А.**, д.т.н., **Нелін Є.А.**, д.т.н., **Павлов С.В.**, д.т.н., **Параска О.А.**, д.т.н., **Рогатинський Р.М.**, д.т.н., **Горошко А.В.**, д.т.н., **Сарібекова Ю.Г.**, д.т.н., **Семенко А.І.**, д.т.н., **Славінська А.Л.**, д.т.н., **Харжевський В.О.**, д.т.н., **Шинкарук О.М.**, д.т.н., **Шклярський В.І.**, д.т.н., **Щербань Ю.Ю.**, д.т.н., **Бубулєс Альгімантас**, доктор наук (Литва), **Елсаєд Ахмед Ельнашар**, доктор наук (Єгипет), **Кальчинські Томаш**, доктор наук (Польща), **Лунтовський Андрій**, д.т.н. (Німеччина), **Матушевський Мацей**, доктор наук (Польща), **Мушлевський Лукаш**, доктор наук (Польща), **Мушял Януш**, доктор наук (Польща), **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, д.т.н., (Грузія), **Попов Валентин**, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горященко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 3 від 27.10.2022 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

☎	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

© Хмельницький національний університет, 2022
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2022

ЗМІСТ

ОЛІЙНИК Г. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛАКОФАРБОВОЇ ПРОДУКЦІЇ МАРКИ «BECKERS»	9
БОЙКО С., КОТОВ О., ВИШНЕВСЬКИЙ С., ЩОКІН В., ГУСАРОВА О. АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ	13
ГУНЬКО І.В., ГРИБИК Р.І. МОДЕЛЮВАННЯ ГРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПІДБОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ	18
БАСИСТЮК О., МЕЛЬНИКОВА Н. МУЛЬТИМОДАЛЬНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЗВУКОВИХ І ТЕКСТОВИХ ДАНИХ	22
ЄФРЕМОВА О., ІВАНШЕНА Т., ПІЩУК Т., ТРУХІНА О., ЄФРЕМОВА Ю. СУЧАСНИЙ СТАН ПОВОДЖЕННЯ З ПОЛІМЕРНИМИ ВІДХОДАМИ	26
БАБИЧ А., КЕРНЕС В., ТКАЧЕНКО Д. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ 3D ДРУКУ В ДИЗАЙНІ ЧОЛОВІЧОГО КОСТЮМУ	32
БАБИЧ А., ГАРАНІНА О., МОСКОВА О. ФОРМУВАННЯ АСОТИМЕНТУ ЧОЛОВІЧОГО ВЗУТТЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМИ І КОЛЬОРУ НА ОСНОВІ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	37
КАМІНСЬКИЙ Р., ШАХОВСЬКА Н., ХУДОБА Б. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ГРУПУВАННЯ ОПЕРАТОРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ПОШУКОВИХ СИСТЕМ В СЕНСІ СТРЕСОСТІЙКОСТІ	42
МИРОНІУК О., БАКЛАН Д., ГЛУХОВСЬКИЙ В. ОСОБЛИВОСТІ ЗМОЧУВАННЯ ГІДРОФОБІЗОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕКСТУРОВАНИХ ФЕМТОСЕКУНДНИМ ЛАЗЕРОМ	52
НОВОСАД М.-Р. АСИСТЕНТ ПАРКУВАННЯ ЯК МОДУЛЬ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО МІСТА	56
ПЕДЯШ В. МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ОТН З КВАДРАТУРНОЮ АМПЛІТУДНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ	61
МИХАЙЛОВА Н., ПРИВАЛА В. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА СПЕЦІАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ІЗОЛЮЮЧИХ КОСТЮМІВ	66
БОЛОТІНА В. АНАЛІЗ НАЯВНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СПІВРОБІТНИКІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ	71
ДАНИЛКОВИЧ А., САНГІНОВА О. ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ЛИМАРНО-СІДЕЛЬНОЇ ШКІРИ	77
СОКОЛАН Ю., МІЛЬКО В., ТКАЧУК В., СОКОЛАН К. РОЗРОБКА САЕ-СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ЗНОШУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ В УМОВАХ ПЕРЕКОСУ ОСЕЙ ВАЛА І ВТУЛКИ	82

КАТЕНІН В., САМОЙЛЕНКО Н. СУЧАСНИЙ СТАН ОПЕРАЦІЙ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ	89
ШЛІНГ А., ПАСЬКО А. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СЛОВНИКА ДЛЯ ЧАТ-БОТУ КАТАЛОГУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ	94
БАБІЙ С., МОШНОРІЗ М., ПРОЦЕНКО Д., ПАЯНОК О., ЖУКОВ О. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ КРАНА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB	99
БАГРІЙ О. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІТЕРАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПЛОСКОЇ ФІЗИЧНО НЕЛІНІЙНОЇ ЗАДАЧІ	108
БОЙКО Ю., ПЯТІН І., МОКРИЦЬКИЙ А. ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ	113
КРИЛИК Л. ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ З МЕТОЮ ЯКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ	122
ГАЛИШ В., РАДОВЕНЧИК Я., ГОМЕЛЯ М., РАДОВЕНЧИК В. ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ПІДСІТКОВИХ ВОД ДЛЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	128
ГОРДІЄНКО К., РАДОВЕНЧИК Я., КРИСЕНКО Т., РАДОВЕНЧИК В. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИСАДЖЕННЯ ІОНІВ КАЛЬЦІЮ З РОЗВЕДЕНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ У ВИГЛЯДІ ФОСФАТІВ	134
ГОРОХОВ І., КУЛІШ І., АСАУЛЮК Т., САРІБЄКОВА Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИГНІЧУВАННЯ БАКТЕРІАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ІЗ ДОВКІЛЛЯ	141
ГОРОХОВ І., КУЛІШ І., АСАУЛЮК Т., САРІБЄКОВА Ю. ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ АНТИМІКРОБНИМИ СКЛАДАМИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ПОБУТІ ТА ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ	146
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М., ПАНАСЮК І. РОЗРОБКА ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ ДВОХ РОБОЧИХ ЄМКОСТЕЙ	152
ЗАСПА Ю. АНТИСИМЕТРІЯ ТА КАВІТАЦІЙНІ ТОПОЛОГІЧНІ РОЗРИВИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОСТОРУ Й ІНЕРТНОЇ МАСИ В ОСНОВІ ЕКСИМЕРНИХ СИСТЕМ КВАНТОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ОБМІННОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. МОНОМЕРНА РІВНОВАГА ТА УТВОРЕННЯ РЕЧОВИНИ	159
КОВАЛЬ В., ОРОБЧУК Б., ОСАДЦА Я., КОСТИК Л. АВТОМАТИЗОВАНА ВИМІРЮВАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ	168
КРИВЕНЧУК Ю., ВАСИЛИК Р. РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ГРАФІЧНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛЬОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ	174
КУДЛАЙ С., БОНДАРЕНКО Н., БОНДАРЕНКО В. ПОБУДОВА ТА ВЕРІФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ЕКВАЛАЙЗЕРА	178
ПЕЛИК Л., ОСТАПЧУК О., ПЕЛЕХ Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМІШАНИХ ТКАНИН ДЛЯ СПЕЦОДЯГУ ТИПУ «RIPSTOP»	185

РУТКЕВИЧ В., КУШНІР В., ГАНЖА В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДА РІЗАКА ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ТА ВИВАНТАЖЕННЯ БЛОК-ПОРЦІЇ КОРМУ ВІД КОРМОВОГО МОНОЛІТУ	189
СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ В. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ АЛЬБАТРОС	196
ХОРОЛЬСЬКИЙ В., КОРЕНЕЦЬ Ю., ОМЕЛЬЧЕНКО О., ГОНЧАРЕНКО В. ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ В СИСТЕМІ УЗГОДЖЕНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ КОМПЛЕКСУ ПІДПРИЄМСТВО – ПРОМИСЛОВИЙ ХОЛОДИЛЬНИК	200
ЩЕРБАНЬ В., ІЩЕНКО В., КОЛИСКО О., ГОЛЬДБЕРГ М., ЩЕРБАНЬ Ю. ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ЦІЛЬОВУ ФУНКЦІЮ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ДЛЯ НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА	213
БОЙКО Ю., СВАЧІЙ О. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ВАНТАЖУ БПЛА ВІД НУЛЬОВОЇ ТОЧКИ	218
КОПИТІНА І., АНДРЕЄВА О., МОКРОУСОВА О., ОХМАТ О. ФЕРМЕНТИ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ НАТУРАЛЬНОЇ ШКИРИ	227
СІНЧУК І., КОТЯКОВА М. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ ТРИФАЗНИХ ЧОТИРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖ З РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ	233
ФРИШЕВ С., ЛУКАЧ В., ІКАЛЬЧИК М., ВАСИЛЮК В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА ВІД КОМБАЙНІВ	238
АНТОНЕНКО А., БРОВЕНКО Т., КРИВОРУЧКО М., СТУКАЛЬСЬКА Н., ТОЛОК Г., ТОНКИХ О. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ.....	243
ВАСИЛЬЧЕНКО І., КУПРІЙ Я., СЕМЕШКО О. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОСМЕТИЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ПРЯМОГО ТИПУ, РОЗРОБЛЕНИХ НА ОСНОВІ КОМПОЗИЦІЙ СИЛІКОНІВ.....	251
МАЄВСЬКИЙ Я., ПРАВОРСЬКА Н. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ МАСШТАБУВАННЯ МІКРОСЕРВІСІВ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ КОНТЕЙНЕРИЗОВАНИМИ ЗАСТОСУНКАМИ KUBERNETES	260
ПАШКЕВИЧ О., ВАЩИЩАК С., БОЙЧУК А., СТИСЛО Т., ДЕМЧИНА М. ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ	265
ГОРЯЩЕНКО С., ГОЛІНКА Є., ДРАПАК Г., ГОРЯЩЕНКО К., ПОЛІЩУК О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО СКЛЕЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПОЛІМЕРНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	274
ЛП'ЯНИНА-ГОНЧАРЕНКО Х., КОМАР М., САЧЕНКО А., ЛЕНДЮК Т. МЕТОД ФОРМУВАННЯ КОНТЕКСТУ РЕКЛАМИ ТА ЦІЛЬОВОЇ АУДИТОРІЇ НА ОСНОВІ НАВЧАННЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	279

CONTENT

OLIJNYK H. TECHNOLOGICAL FEATURES OF BECKERS BRAND PAINT PRODUCTS	9
BOYKO S., KOTOV O., VYSHNEVSKY S., SHKOKIN V., HUSAROVA O., ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY IN THE CONDITIONS OF AVIATION ENTERPRISES	13
HUNKO I., HRYBYK R. SIMULATION OF A GROUND PROCESSING UNIT WITH THE DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF WORKING BODIES	18
BASYSTIUK O., MELNYKOVA N. MULTIMODAL SPEECH RECOGNITION BASED ON AUDIO AND TEXT DATA.....	22
YEFREMOVA O., IVANISHENA T., ISHCHUK T., TRUKHINA O., YEFREMOVA Y. THE CURRENT STATE OF POLYMER WASTE MANAGEMENT	26
BABYCH A. , KERNESH V., TKACHENKO D. USE OF ELEMENTS OF 3D PRINTING IN MEN'S SUIT DESIGN	32
BABYCH A. , GARANINA O., MOSKOVA O. FORMATION OF THE RANGE OF MEN'S SHOES TAKING INTO ACCOUNT THE CHARACTERISTICS OF SHAPE AND COLOR ON THE BASIS OF MARKETING RESEARCH	37
KAMINSKY R., SHAKHOVSKA N., KHUDOBA B. EXPERIMENTAL RESEARCH AND GROUPING OF OPERATING STAFF OF SEARCH SYSTEMS IN THE SENSE OF STRESS RESISTANCE ЕКСПЕРИМЕНТАЛЪНЕ.....	42
MYRONYUK O., BAKLAN D., GLUKHOVSKY V. ASPECTS OF WETTING OF HYDROPHOBIZED SURFACES TEXTURED BY A FEMTOSECOND LASER	52
NOVOSAD M.-R. MULTISOURCE INTELLIGENT PARKING ASSISTANT	56
PEDYASH V. CHANNEL MODELING OF THE OTH OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM WITH QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION.....	61
MIHAILOVA N., PRIVALA V. STUDY OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES IN DYNAMIC CONDITIONS ON SPECIAL MATERIALS FOR INSULATING SUITS OF CHEMICAL ENTERPRISES	66
BOLOTINA V. ANALYSIS OF THE AVAILABLE SYSTEMS OF SUPPORTING THE SCIENTIFIC ACTIVITIES OF EMPLOYEES OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS	71
DANYLKOBYCH A., SANGINOVA O. ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PROCESSING OF HARNESS LEATHER	77
SOKOLAN I., MYLKO V., TKACHUK V., SOKOLAN K. PROJECT CONCEPTION OF CAE-SYSTEM FOR WEAR ANALYSIS OF FRICTION BEARING UNDER CONDITIONS OF SHAFT AND LINER AXIS MISALIGNMENT	82
KATENIN V., SAMOILENKO N. CURRENT STATE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PANELS WASTE MANAGEMENT OPERATIONS IN UKRAINE СУЧАСНИЙ.....	89

SHILINH A., PASKO A. DEVELOPMENT OF THE DICTIONARY STRUCTURE FOR THE CHAT-BOT OF EDUCATIONAL SERVICES CATALOG OF THE HIGHER EDUCATION INSTITUTION	94
BABIY S., MOSHNORIZ M., PROCENKO D., PAYANOK O., ZHUKOV O. SIMULATION OF WORKING MODES OF THE ELECTRICAL DRIVE OF A LIFTING CRANE WINCHES IN MATLAB	99
BAHRII O. SOFTWARE IMPLEMENTATION OF ITERATIVE ALGORITHMS FOR SOLVING A PLANAR PHYSICALLY NONLINEAR PROBLEM	108
BOIKO J., MOKRYTSKY A., PYATIN I. RESEARCH OF SYNCHRONIZATION CIRCUITS FOR DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS	113
KRYLIK L. APPLICATION OF MULTIFACTOR DISPERSION ANALYSIS WITH THE PURPOSE OF QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF FACTORS ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR.....	122
HALYSH V., RADOVENCHYK I., GOMELYA M., RADOVENCHYK V. STUDY OF THE PROCESSES OF WASTEWATER TREATMENT FOR REUSE IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY.....	128
GORDIENKO K., RADOVENCHYK Y., KRYSENKO T., RADOVENCHYK V.. EFFICIENCY OF PLANTING CALCIUM IONS FROM DILUTE AQUEOUS SOLUTIONS IN THE FORM OF PHOSPHATES	134
HOROKHOV I., KULISH I., ASAULYUK T., SARIBYEKOVA Y. INVESTIGATION OF ANTIMICROBIAL TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS ON THE EFFECTIVENESS OF INHIBITION OF BACTERIAL CONTAMINATION FROM THE ENVIRONMENT ..	141
HOROKHOV I., KULISH I., ASAULYUK T., SARIBYEKOVA Y. EFFECTIVENESS OF THE ANTIMICROBIAL TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS FOR USE AT HOME AND IN PUBLIC SPACES	146
ZALYUBOVSKIY M., PANASYUK I. DEVELOPMENT OF A HIGH-PERFORMANCE HOLDING MACHINE WITH COMPLEX SPATIAL MOVEMENT OF TWO WORKING CAPACITIES	152
ZASPA Y. ANTI-SYMMETRY AND CAVITATION TOPOLOGICAL DISRUPTIONS OF COMPLEX SPACE AND INERT MASS ON THE BASIS OF EXCIMER SYSTEMS OF QUANTUM GENERATION OF EXCHANGE INERTIAL RADIATION. MONOMER EQUILIBRIUM AND MATTER FORMATION.....	159
KOVAL V., OROBCHUK B., OSADTSA Y., KOSTYK L. AUTOMATICAL MEASURING DEVICE FOR RESEARCHING THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF PHOTOELECTRIC MODULES	168
KRYVENCHUK Y., VASYLYK R. INTERACTIVE GRAPHIC APPLICATION FOR IMAGE COLORATION	174
KUDLAI V., BONDARENKO N., BONDARENKO V. CONSTRUCTION AND VERIFICATION OF A DIGITAL EQUALIZER MODEL	178
PELYK L., OSTAPCHUK O., PELEH Y. STUDY OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MIXED FABRICS FOR SPECIAL CLOTHING TYPE «RIPSTOP»	185
VRUTKEVYCH V., KUSHNIR V., GANZHA V. MATHEMATICAL MODEL OF THE HYDRAULIC CUTTER DRIVE FOR CUTTING AND UNLOADING THE BLOCK-PORTION OF FEED FROM THE FEED MONOLITH.....	189

STRELBITSKIY V. EVALUATION OF THE RELIABILITY OF ALBATROSS GANTRY CRANE MECHANISMS	196
KHOROLSKY V., KORENETS Y., OMELCHENKO O., HONCHARENKO V. REFRIGERATION MACHINES IN THE SYSTEM OF CONSISTENT MANAGEMENT OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF THE COMPLEX ENTERPRISE-INDUSTRIAL REFRIGERATOR.....	200
SHCHERBAN V., ISHCHEENKO V., KOLISKO O., GOLDBERG M., SHCHERBAN Y. INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE OBJECTIVE FUNCTION IN THE COMPUTER DETERMINATION OF THE OPTIMAL PATH FOR AN UNDIRECTED GRAPH	213
BOIKO J., SVACHII O. RESEARCH OF THE INERTIAL DEVIATION MEASUREMENT SYSTEM UAV CARGO FROM ZERO POINT	218
KOPYTINA I., ANDREYEVA O., MOKROUSOVA O., OKHMAT O. ENZYMES AND APPROACHES TO THEIR APPLICATION IN THE LEATHER PRODUCTION	227
SINCHUK I., KOTIAKOVA M. STUDY OF NON-SYMMETRICAL MODES OF THREE-PHASE FOUR-WIRE NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION	233
FRYSHEV S., LUKACH V., IKALCHYK M., VASYLYUK V. IMPROVEMENT OF GRAIN TRANSPORTATION TECHNOLOGY FROM COMBINES	238
ANTONENKO A., BROVENKO T., KRYVORUCHKO M., STUKALSKA N., TOLOK G., TONKYKH O. SIMULATION OF THE RECIPE COMPOSITION OF HEALTHY FOOD PRODUCTS BASED ON FUNCTIONAL COMPOSITIONS	243
VASYLCHENKO I., KUPRIY Y., SEMESHKO O. STUDY OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DIRECT TYPE COSMETIC EMULSIONS DEVELOPED ON THE BASIS OF THE COMPOSITIONS OF SILICONES.....	251
MAYEVSKIY Y., PRAVORSKA N. IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMATION THE SCALING OF MICROSERVICES IN THE KUBERNETES CONTAINERIZED APPLICATION MANAGEMENT SYSTEM	260
PASHKEVYCH O., VAHSCHYSHCHAK S., BOICHUK A., STYSLO T., DEMCHYNA M. APPLICATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING PRICES ON THE REAL ESTATE MARKET	265
HORIASHCHENKO S., HOLINKA Y., DRAPAK G., HORIASHCHENKO K., POLISHCHUK O. RESEARCH OF TRANSVERSE GLUING OG LIGTHINDASTRY PARTS WITH POLIMERIC MATERIALS	274
LIPIANINA-HONCHARENKO K., KOMAR M., SACHENKO A., LENDIUK T. METHOD OF FORMING THE CONTEXT OF ADVERTISING AND TARGET AUDIENCE BASED ON ASSOCIATIVE RULES LEARNING	279

РУТКЕВИЧ Володимир

Вінницький національний аграрний університет

ORCID ID: [0000-0002-6366-7772](https://orcid.org/0000-0002-6366-7772)e-mail: v_rut@ukr.net

КУШНИР Віталій

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: v_kushnir@gmail.com

ГАНЖА Вадім

Вінницький національний аграрний університет

e-mail: v.Ganzha@gmail.com

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДА РІЗАКА ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ТА ВИВАНТАЖЕННЯ БЛОК-ПОРЦІЇ КОРМУ ВІД КОРМОВОГО МОНОЛІТУ

Розглядається питання підвищення ефективності і якості відокремлення та вивантаження блок-порції стеблового корму від кормового моноліту в траншейному сховищі. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку обладнання для вивантаження стеблового корму з траншейних сховищ. Представлено принципово нову конструктивно-технологічну схему різачка для відокремлення та вивантаження блок порції від кормового моноліту, що дозволяє виконувати процес вивантаження стеблового корму з траншейних сховищ згідно з зоотехнічних вимог та з врахуванням змінного технологічного навантаження на робочих органах різачка. Зазначені основні переваги використання гідравлічного привода на даного роду обладнанні та визначений недолік: окремі непов'язані між собою гідродвигуни привода різального механізму відокремлювача та гідроциліндра приводів подачі, що призводять до використання гідродвигунів завищеної потужності.

Розроблено гідравлічний привод та математичну модель гідропривода різачка для відокремлення та вивантаження силосу з траншейних сховищ, що дозволяє узгодити роботу привода ножового механізму з його подачею. Використання запропонованого гідравлічного привода забезпечить оптимальну подачу ножового механізму і захист гідромотора від перевантаження. Це зумовлене тим, що при відрізання стеблового корму від кормового моноліту виникають умови (промерзання, змінність фракційного складу та вологості корму, попадання сторонніх предметів та інше), коли необхідно регулювати подачу ножового механізму.

Дана задача вирішується завдяки тому, що рідина, яка нагнітається насосом, рівномірно розподіляється об'ємним роздільником потоку між гідромотором привода ножового механізму і поворотним гідроциліндром подачі ножового механізму. Керування подачею ножового механізму при необхідності здійснюється регульованим дреселем, який частково відводить рідину в бак з нагнітальної порожнини лінії поворотного гідроциліндра.

Ключові слова: силос, траншея, робочий орган, гідравлічний привод, математична модель, гідроциліндр, гідромотор, змінне навантаження.

VRUTKEYCH Volodymyr, KUSHNIR Vitaly, GANZHA Vadim

Vinnytsia National Agrarian University

MATHEMATICAL MODEL OF THE HYDRAULIC CUTTER DRIVE FOR CUTTING AND UNLOADING THE BLOCK-PORTION OF FEED FROM THE FEED MONOLITH

The question of improving the efficiency and quality of separating and unloading a block portion of stem fodder from a fodder monolith in a trench storage is under consideration. Modern trends in the development of equipment for unloading stalk fodder from trench storages are analyzed. A fundamentally new design and technological scheme of the cutter for separating and unloading a portion block from a fodder monolith is presented, which allows for the process of unloading stem fodder from trench storages in accordance with zootechnical requirements and taking into account the variable technological load on the working organs of the cutter. The main advantages of using a hydraulic drive on this type of equipment and a certain disadvantage are indicated: separate hydraulic motors of the drive of the cutting mechanism of the separator and the hydraulic cylinder of the feed drives, which lead to the use of hydraulic motors of overpowered power.

A hydraulic drive and a mathematical model of the hydraulic drive of the cutter for the separation and unloading of silage from trench storages have been developed, which allows you to coordinate the operation of the drive of the knife mechanism with its feed. The use of the proposed hydraulic drive will ensure optimal feeding of the knife mechanism and protection of the hydraulic motor from overload. This is due to the fact that when cutting off the stem fodder from the forage monolith, conditions arise (freezing, variability of the fractional composition and moisture content of the forage, ingress of foreign objects, etc.) when it is necessary to adjust the feed of the knife mechanism.

This task is solved due to the fact that the liquid pumped by the pump is evenly distributed by the volumetric flow divider between the hydraulic motor of the blade mechanism drive and the rotating hydraulic cylinder of the blade mechanism feed. If necessary, the feed of the knife mechanism is controlled by an adjustable throttle, which partially diverts the liquid to the tank from the injection cavity of the line of the rotary hydraulic cylinder.

Key words: silo, trench, working body, hydraulic drive, mathematical model, hydrocylinder, hydromotor, change of drive.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

При розробці та експлуатації гідроприводу важливим є забезпечення його енергетичної ефективності [1]. У гідравлічних системах вивантажувальних механізмів стеблового корму, як і інших вітчизняних сільськогосподарських машинах, використовуються гідроприводи постійної витрати, що виключають адаптацію виконавчих гідродвигунів до стану технологічної системи. Окремі непов'язані між собою гідродвигуни привода різального механізму відокремлювача та гідроциліндра приводів подачі призводять до використання гідродвигунів завищеної потужності. В результаті чого потужність кожного з приводів даних машин зростає до 25 кВт при умові визначення розрахунковим та експериментальним шляхом максимально необхідної потужності привода різального механізму відокремлювача в межах 4,5–

6,0 кВт, а привода подач – до 0,8 кВт [2]. Тому задача забезпечення оптимальної подачі ножового механізму від зміни технологічного навантаження на робочих органах є актуальною та своєчасною.

Аналіз останніх джерел

Енергетична ефективність більшості промислових гідравлічних систем, в тому числі і відокремлювачів стеблових корму залежить, насамперед, від двох чинників – схемного рішення і типу насосного агрегата та режимів роботи виконавчих пристроїв [3].

Вирізаючі механізми для відокремлення блок-порції від кормового моноліту з траншейних сховищ випускають різні фірми: Strautmann, BvL van Lengerich, V. d. Heid, Vicon, Kuhn, Fella, Trioliet, Henrich Schaffer; Bressel und Lade; STOI(Німеччина); Emily, KUHN, LUCAS. G, Jeantil, Belair(Франція); Seko, Agm(Італія); TRIOLET (Голандія); GENL(США); Maddelande(Швейцарія) та ін [4]. Дане обладнання має різне конструктивне виконання робочих органів та різні приводи, але спостерігається чітка тенденція до гідрофіксації даного обладнання у зв'язку із великою перевагою даного привода порівняно з іншими приводами [5, 6]. До недоліків гідравлічного привода даного обладнання слід віднести окремі непов'язані між собою гідродвигуни привода різального механізму відокремлювача та гідроциліндра приводів подачі, що призводять до використання гідродвигунів завищеної потужності.

Відомо багато підходів до зменшення енерговитрат в системах гідропривода. Наприклад, в гідроприводах, які працюють нетривало використовують схеми з розвантаженням насоса від тиску. Завдяки цьому зменшується експлуатаційні витрати, збільшується ККД системи та підвищується довговічність насосного агрегату [3].

На практиці поширено ряд способів узгодження роботи насосного агрегату та системи приводів: дроселюванням, розвантаженням через розподільник, використанням регульованих насосів з різними типами регуляторів (регулятор витрати, регулятор тиску, регулятор тиску і витрати, регулятор потужності), використанням гідроакумуляторів, штучним «голодуванням» насоса, машинним регулюванням, ступінчастим регулюванням, введенням штучних витоків та інше [3, 7]. Але відсутні факти впровадження в практику сільськогосподарського машинобудування систем приводів, які дозволяють змінювати режим роботи відповідно зміни стану технологічної системи. Значне перевищення потужності застосованих гідроприводів від визначених для стеблових кормів викликано можливістю перевантажень при попаданні в зону різання міжвузля кукурудзи, камінців та інших твердих включень, що при нерегульованих режимах різальних механізмів призводить до значних перевантажень, що викликає необхідність багаторазового запасу потужності таких гідроприводів [2, 8].

В різних галузях техніки використовують системи керування роботою приводів, які забезпечують адаптацію режимів їх роботи до зміни значень параметрів стану технологічної системи. В галузі металообробки широко використовуються методи керування процесами різання матеріалів, розроблені Б.С. Балакшиним та його учнями, які передбачають стабілізацію сил різання шляхом зміни в процесі обробки параметрів режиму різання. Високу ефективність даного метода керування технологічним процесом підтверджує його широке розповсюдження в практиці верстатобудування та інших машин, призначених для обробки різанням різних матеріалів. На сьогодні даний метод керування процесом різання, який забезпечує значне підвищення продуктивності при мінімальних енерговитратах не отримав розповсюдження у сільськогосподарському машинобудуванні. Запровадження засобів адаптації роботи робочих органів сільськогосподарських машин до умов їх функціонування спроможне суттєво підвищити ефективність використання даних машин.

Формулювання цілей статті

Мета роботи – розробити математичну модель гідравлічного привода різача для відокремлення та вивантаження блок-порції від кормового моноліту, що дозволить на проєктній стадії оцінити пристосованість створюваного механізму до конкретних умов роботи.

Виклад основного матеріалу

Принципову конструктивно-технологічну схему різача для відокремлення та вивантаження блок-порції стеблових корму від кормового моноліту представлено на рис. 1.

Навісне обладнання складається з вантажопідійомної системи навантажувача ПКУ-0,8 і нового робочого органу (різача для силосу), який містить раму 1 з виловним захватом 2, механізми подачі 5 (поворотний гідроциліндр) і приводу ножа 4 (гідромотор). Ніж 6 з приводним механізмом 4 рухається по направляючій рамі 3. Рама являє собою зварну конструкцію та складається з двох вертикальних стійок з кронштейнами кріплення до стріли навантажувача, верхнього і нижнього горизонтальних брусів. На нижньому брусі кріпляться вила 2. Для запобігання осипання корму рама має грати.

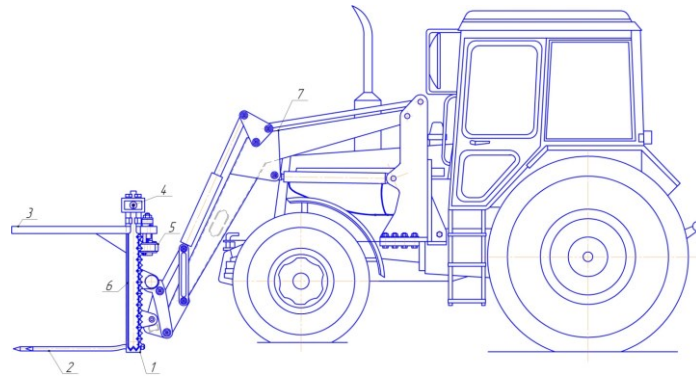


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема різача для силосу:
1 – рама, 2 – вила, 3 – направляюча рамка, 4 – гідромотор, 5 – поворотний гідроциліндр, 6 – ніж, 7 – фронтальний навантажувач

Механізм подачі 5 призначений для пересування й орієнтації ножа паралельно тракторній переміщенню. Він містить телескопічний важіль з опорним роликом, що встановлено в направляючій рамці різача (на рис. 1 не показано) для силосу і приводиться в рух від поворотного гідроциліндра 5, направляюча рамка з'єднана з верхнім брусом рами та з метою забезпечення жорсткості посилена розкосами. Ролик розташований в направляючій рамці та може перекочуватися по ній. Телескопічний важіль орієнтує ніж в площині, паралельній тракторній переміщенню ножа в будь-якій її точці.

Механізм приводу забезпечує зворотно-поступальний рух ножа 6 і містить каретку, гідромотор 4, направляючі, водило, в пазу якого розміщений ексцентрик. Він насаджений на вал гідромотора і приводить водило з ножем в коливальний рух. Каретка оснащена двома кронштейнами. Привод виконавчих гідродвигунів різача для силосу здійснюється від вільного каналу гідросистеми трактора.

Розрахункову схему гідравлічного приводу різача для відокремлення та вивантаження блок-порції стеблового корму від кормового моноліту наведено на рис. 2.

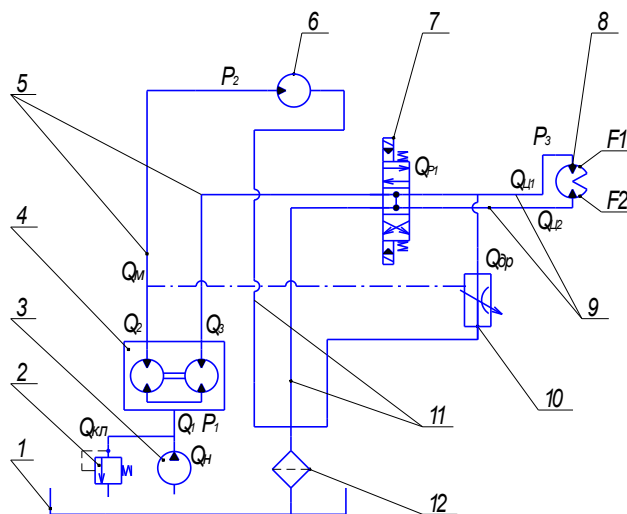


Рис. 2. Розрахункова схема гідравлічного приводу ножового механізму різача для відокремлення та вивантаження блок-порції стеблового корму від кормового моноліту: 1 – гідробак, 2 – запобіжний клапан, 3 – гідронасос, 4 – об'ємний роздільник потоку, 5 – напірна гідролінія, 6 – гідромотор, 7 – чотириохлінійний трипозиційний розподільник з електрогідравлічним керуванням, 8 – поворотний гідроциліндр, 9 – гідролінія зливу, 10 – керований дросель, 11 – лінії зливу, 12 – фільтр, 13 – лінія підйому

Основна задача даного гідравлічного приводу – забезпечення оптимальної подачі ножового механізму і захист гідромотора від перевантаження. Це зумовлене тим, що при відокремленні стеблового корму від кормового моноліту виникають умови (промерзання, змінність фракційного складу та вологості корму, попадання сторонніх предметів та інше), коли необхідно регулювати подачу ножового механізму.

Дана задача вирішується завдяки тому, що рідина, яка нагнітається насосом, рівномірно розподіляється об'ємним роздільником потоку між гідромотором приводу ножового механізму і поворотним гідроциліндром подачі ножового механізму. Керування подачею ножового механізму при необхідності здійснюється регульованим дроселем, який частково відводить рідину в бак з нагнітальною порожниною лінії поворотного гідроциліндра.

Принцип дії гідравлічного приводу різача для відокремлення та вивантаження блок порції стеблового корму: робоча рідина (масло) насосом 3 із бака 1 через об'ємний роздільник потоку 4 розподіляється в робочі порожнини гідромотора 6 та поворотного гідроциліндра 8 через чотириохлінійний трипозиційний розподільник 7 з електрогідравлічним керуванням. Відпрацьована рідина з порожнини поворотного гідроциліндра 6 через розподільник 7 і фільтр 12 зливається в бак. Гідропривод має запобіжний

клапан 2. Надлишок робочої рідини, що нагнітається до поворотного гідроциліндра 8 відводиться з нагнітальної порожнини лінії зливу 9 в бак через регульований дросель 10.

Відомі переваги гідравлічного привода, в тому числі адаптивного до технологічного навантаження, неодноразово доведені теоретичними дослідженнями, а також широким практичним досвідом використання їх в різних галузях промисловості. В той же час слід зазначити, що практика використання гідравлічного привода адаптивного до зміни технологічного навантаження на робочих органах в аграрному виробництві достатньо обмежена.

Тому недостатньо розроблені методики розрахунку та вибору параметрів гідравлічного привода робочих органів сільгоспмашин з врахуванням особливостей технологічних процесів, пов'язаних з цим навантаженням, умов різання стеблових корму та ін. [2, 9].

Розробленню досліду зразка має передувати детальний аналіз можливих режимів роботи гідравлічного привода, який дозволить обґрунтовано вибрати параметри даного привода.

Найбільш ефективним методом вирішення поставленої задачі є математичне моделювання процесу роботи досліджуваної системи з врахуванням особливостей характеристик та впливу факторів, притаманних для відповідного технологічного процесу агропромислового виробництва.

Математична модель гідравлічного привода різачка для відокремлення та вивантаження силосу розроблялася на основі закономірностей та характеристик, якими визначається робота гідравлічної та механічної систем. Відповідно складається рівняння балансу (нерозривності) потоків робочої рідини, опор потоків рідини при її протіканні через гідролінії та гідроагрегати, а також рівняння сил та моментів, діючих на робочі органи різачка силосу та вихідні ланки виконавчих гідро двигунів [10].

При складанні математичної моделі гідропривода робочих органів різачка для відокремлення та вивантаження силосу прийняті припущення, які дозволяють не враховувати ряд факторів, вплив яких за умов роботи даного гідропривода є другорядним або незначним.

Відповідно до умов роботи гідропривода різачка для відокремлення та вивантаження блок порції стеблових корму від кормового моноліту прийнято наступні припущення:

- відстань між елементами гідросистеми незначна, що дозволяє розглядати її як систему з зосередженими параметрами і не розглядати вплив хвильових процесів;
- течія рідини в зазорах у з'єднаннях деталей гідроагрегатів та гідроапаратури має ламінарний характер;
- пульсація подачі насоса, яка звичайно становить 1-3 %, з урахуванням високої частоти обертання вала насоса не викликає збудження коливань тиску у гідросистемі;
- течія рідини через робочі вікна золотника має турбулентний характер;
- гідролінії, які з'єднують насос та керуючу і виконавчу гідроапаратуру, достатньо короткі і мають невеликий поперечний переріз, тому втрати тиску в них по довжині та на місцевих опорах можна знехтувати;
- густина, в'язкість та коефіцієнт витрати робочої рідини не залежать від температури завдяки роботі гідрооб'ємної системи в усталеному температурному режимі;
- коефіцієнт податливості рідини не залежить від тиску і вмісту газової складової, так як в усталеному режимі роботи гідромеханізму його величина змінюється незначно;
- тиск підпору на зливні незначний і практично незмінний;
- коефіцієнт витоків і перетоків рідини у складових гідроагрегатів постійний і не залежить від розмірів та форми щілин;
- люфти у шарнірах відокремлювача та корпусу ножа завдяки регулюванню незначні і не викликають відповідних автоколивань системи в цілому.

Відповідно до схеми, яка зображена на рисунку 2, рівняння балансу (нерозривності) потоків робочої рідини в гідролініях та порожнинах гідропривода різачка для відокремлення та вивантаження блок корції корму з врахуванням зазначених вище припущень мають наступний вигляд:

$$Q_H = Q_{кл} + Q_2 + Q_3 + Q_{ум1} + Q_{деф1}, \quad (1)$$

де Q_H – витрата рідини, що подається від насосної станції, $Q_{кл}$ – витрата рідини, що потрапляє в бак гідросистеми через запобіжний клапан, Q_2 – витрата рідини у порожнині роздільника потоку, що забезпечує рух гідромотора, Q_3 – витрата рідини у порожнині роздільника потоку, що забезпечує рух поворотного ротора з заданою швидкістю, $Q_{ум1}$ – витрата витікання рідини, $Q_{деф1}$ – витрата рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском P_1 .

Витрати рідини для напірної порожнини мотора:

$$Q_2 = Q_m + Q_{ум2} + Q_{пер} + Q_{деф2}, \quad (2)$$

де Q_m – витрата рідини, що подається на гідромотор, $Q_{ум2}$ – витрата витікання рідини з даної порожнини внаслідок її негерметичності, $Q_{пер}$ – витрата на перетікання рідини з порожнини гідромотора під дією перепаду тисків P_1 та P_2 , $Q_{деф2}$ – витрата рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском P_2 .

Витрати рідини для напірної порожнини поворотного гідроциліндра має вигляд:

$$Q_3 = Q_{ц1} + Q_{ор} + Q_{ум3} + Q_{пер} + Q_{деф3}, \quad (3)$$

де $Q_{ц1}$ – витрата рідини у кільцевій порожнині, що забезпечує рух поворотного ротора з заданою швидкістю, $Q_{ор}$ – витрата рідини, що перетікає через регульований дросель, $Q_{ум3}$ – витрата витікання рідини з даної

порожнини внаслідок її негерметичності, Q_{nep} – витрати на перетікання рідини з порожнини поворотного гідроциліндра під дією перепаду тисків P_1 та P_3 , Q_{def2} – витрати рідини на компенсацію деформації порожнини, що знаходиться під тиском P_3 .

Фактична витрата рідини, що подається від нерегульованого насоса, визначається згідно виразу [3]

$$Q_i = q_i \cdot n_i \cdot \eta_{i\alpha i}, \quad (4)$$

де q_i – робочий об'єм насоса; n_i – частота обертання вала насоса; $\eta_{i\alpha i}$ – об'ємний коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса.

Витрата рідини, що потрапляє до гідромотора та поворотного гідроциліндра, обчислюється за наступними залежностями:

$$Q_2 = q_1 \cdot n_{\partial n1} \cdot \eta_{об \partial n1}, \quad (5)$$

$$Q_3 = q_2 \cdot n_{\partial n2} \cdot \eta_{об \partial n2}, \quad (6)$$

де q_1, q_2 – робочий об'єм роздільника потоку, $n_{\partial n1}, n_{\partial n2}$ – частота обертання вала роздільника потоку, $\eta_{об \partial n1}, \eta_{об \partial n2}$ – об'ємний коефіцієнт корисної дії роздільників потоку.

Витрати на витікання рідини крізь зазори в з'єднаннях деталей гідроапаратури і гідромеханізмів обчислюються, як витрати рідини крізь плоску щілину при прийнятих припущеннях:

- форма поверхонь, утворюючих канал витікання, досконала;
- шорсткість поверхонь до уваги не приймається;
- зазор симетричний.

В цьому випадку витрати рідини на витікання крізь поперечний перетин зазору будуть визначатися такими залежностями:

$$Q_{ум1} = \sigma_1 \cdot p_1, \quad (7)$$

$$Q_{ум2} = \sigma_2 \cdot p_2, \quad (8)$$

$$Q_{ум3} = \sigma_3 \cdot p_3, \quad (9)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – коефіцієнти витоків рідини з порожнин, які знаходяться під дією тисків p_1, p_2, p_3 відповідно.

Витрати, які виникають при деформації об'ємів порожнин гідропривода, заповнених рідиною, завдяки зміні тиску в цих порожнинах, визначаються залежностями:

$$Q_{def1} = K_1 \cdot W_1 \cdot \frac{dP_1}{dt}, \quad (10)$$

$$Q_{def2} = K_2 \cdot W_2 \cdot \frac{dP_2}{dt}, \quad (11)$$

$$Q_{def3} = K_3 \cdot W_3 \cdot \frac{dP_3}{dt}, \quad (12)$$

де K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти податливості відповідної магістралі та порожнин даної гідросистеми; W_1 – об'єм магістралі від насосної станції до входу в об'ємний роздільник потоку, W_2 – об'єм магістралі, що з'єднує об'ємний роздільник потоку з гідромотором, W_3 – об'єм магістралі, що з'єднує об'ємний роздільник потоку з поворотним гідроциліндром, $dP_1/dt, dP_2/dt, dP_3/dt$ – швидкість зміни тиску в порожнинах.

Витрати, які виникають при перетіканні рідини через запобіжний клапан та регульований дросель:

$$Q_{кл1} = \mu \cdot f_{np} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|P_1 - 0|} \cdot \text{sign}(P_1), \quad (13)$$

$$Q_{др} = \mu \cdot f(P_2) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{|P_3|} \cdot \text{sign}(P_3), \quad (14)$$

$$f(P_2) = f(x_3), \quad (15)$$

де μ – коефіцієнт витрати, f_{np}, f – площа прохідного перерізу робочого вікна клапана, $f(x_3)$ – площа прохідного вікна дроселя, ρ – густина робочої рідини, p_1 – тиск в нагнітальній порожнині, p_2 – тиск в нагнітальній порожнині гідромотора, p_3 – тиск в кільцевій порожнині поворотного гідроциліндра.

Фактична витрата рідини гідромотором визначається згідно виразу

$$Q_M = q_M \cdot \omega_1 / \eta_{обМ}, \quad (16)$$

де q_M – робочий об'єм мотора, ω_1 – кутова швидкість мотора, $\eta_{обМ}$ – об'ємний коефіцієнт корисної дії мотора.

Витрати, які виникають при перетіканні рідини в поворотному гідроциліндрі мають вигляд:

$$Q_{ц1} = F_{1ц} \cdot v_{ц} = F_{1ц} \cdot \frac{dx_{ц}}{dt}, \quad (17)$$

де $F_{1ц}$ – ефективна площа поршня гідроциліндра, $v_{ц}$ – швидкість руху поршня.

Витрата, яка виникає при перетіканні рідини між кільцевими порожнинами поворотного гідроциліндра 8:

$$Q_{i\dot{\alpha}\delta 3} = \sigma_{35} \cdot p_3 \quad (18)$$

Рівняння руху вала гідромотора розглядаємо з аналізу балансу моментів

$$\dot{I}_i = \dot{I}_{\dot{\alpha}} + \dot{I}_{\dot{\delta}} + \dot{I}_{\dot{\delta}\delta}, \quad (19)$$

M_{in} – момент інерції механізму, M_{mn} – момент технологічного навантаження, M_{mp} – момент сили тертя.

$$q_i \cdot P_2 = I_{i\dot{\delta}} \cdot \frac{d^2\varphi_i}{dt} + M_{\dot{\delta}} + \beta_{\dot{\delta}\delta} \cdot \frac{d\varphi_i}{dt}, \quad (20)$$

де I_{np} – приведений момент інерції до валу гідромотора, $d^2\varphi_M/dt$ – кутове прискорення вала гідромотора, M_{mn} – момент від технологічного навантаження, β_{mp} – коефіцієнт рідинного тертя в гідромоторі, $d\varphi_M/dt$ – кутова швидкість обертання.

Рівняння руху поворотного гідроциліндра розглянемо з аналізу балансу сил

$$F_1 v_{\dot{\alpha}} = F_{mn} + F_{mp} + F_{in} = F_{in} v_{\dot{\alpha}} = F_{mn} + \beta_{\dot{\alpha}} \cdot v_{\dot{\alpha}} + I_{np} \cdot \frac{dv_{\dot{\alpha}}}{dt} \quad (21)$$

де F_{mn} – момент технологічного навантаження на гідроциліндрі, F_{mp} – момент сили тертя, F_{in} – момент інерційного навантаження на гідроциліндрі, $v_{\dot{\alpha}}$ – швидкість руху поршня, $\beta_{\dot{\alpha}}$ – коефіцієнт рідинного тертя в гідроциліндрі, I_{np} – приведений момент інерції механізму, $dv_{\dot{\alpha}}/dt$ – швидкість переміщення.

Слід відмітити, що розглянуті процеси не взаємозв'язані, структурно описуються відмінними рівняннями, тому подальший їх аналіз здійснюється окремо.

Складену математичну модель відмічає високий порядок похідних, а також наявність ряду нелінійних залежностей, що визначають залежність витрат через дроселююче вікно. У зв'язку з цим найбільш раціональним являється вирішення даної системи диференціальними рівняннями з використанням програмного продукту MathCad.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Розроблена математична модель гідравлічного привода різачка для відокремлення та вивантаження блок-порції стеблових кормів від кормового моноліту враховує основні характеристики об'ємного гідропривода та дозволяє врахувати особливості технологічного навантаження на робочих органах при різних умовах роботи машин, що дозволяє досліджувати вплив конструктивних параметрів привода на різних етапах та вибирати значення параметрів, що забезпечують задану подачу ножового механізму при мінімальних регулюваннях.

Література

1. Ratushna N. Методичні підходи до створення нової сільськогосподарської техніки у відповідності з вимогами ринку наукоємної продукції / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // MOTROL. – 2007. – № 9А. С. 119–123.
2. Руткевич В.С. Адаптивний гідравлічний привод блочно-порційного відокремлювача консервованого корму / В.С. Руткевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – № 4(99). – С. 108–113.
3. Фінкельштейн З.Л. Експлуатація, обслуговування та надійність гідравлічних машин і гідроприводів : навч. посіб. / Фінкельштейн З.Л., Андренко П.М., Дмитрієнко О.В. – Харків : Видавничий центр. НТУ “ХПІ”, 2014. – 308 с.
4. Руткевич В.С. Інноваційні засоби для вивантаження стеблових кормів з траншейних сховищ / В.С. Руткевич, В.П. Кушнір, О.О. Остапчук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 1 (305). – С. 261–269.
5. Іванов М.І. Підвищення експлуатаційної ефективності блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів шляхом гідрофікації привода робочих органів / М.І. Іванов, С.А. Шаргородський, В. С. Руткевич // Промислова гідравліка і пневматика. – 2013. – № 1 (39). – С. 91–96.
6. Шмат С. І. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом [Електронний Ресурс] / С. І. Шмат, П. Г. Лузан, С. В. Колісник // КНТУ. – 2010. – Режим доступу : <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/4971>
7. Shargorodskiy S. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith / S. Shargorodskiy, V. Rutkevych // Slovak international scientific journal. – 2021. – № 54. – P. 10–20.
8. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // INMATEH - Agricultural Engineering. – 2019. – Vol. I, № 1 (57). – P. 37–44.
9. Руткевич В.С. Математичне моделювання роботи гідравлічного привода секцій широкозахватного культиватора з послідовним спрацюванням гідроциліндрів / В.С. Руткевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – № 2 (101). – С. 37–47.

10. Rutkevych V. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor / V. Rutkevych, I. Kupchuk, V. Yaropud, V. Hraniak, S. Burlaka // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2022. – № 2 (98). – P. 64–69.

References

1. Ratushna N. Metodychni pidkhody do stvorennia novoi silskohospodarskoi tekhniki u vidpovidnosti z vymohamy rynku naukoiemnoi produktsii / N. Ratushna, I. Mahmudov, A. Kokhno // *MOTROL*. – 2007. – № 9A. С. 119–123.
2. Rutkevych V.S. Adaptivnyi hidravlichnyi pryvod blochno-portsiinoho vidokremlivacha konservovanoho kormu / V.S. Rutkevych // *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. – 2017. – № 4(99). – С. 108–113.
3. Finkelshtein Z.L. Eksploatatsiia, obsluhovuvannia ta nadiinist hidravlichnykh mashyn i hidropryvodiv : navch. posib. / Finkelshtein Z.L., Andrenko P.M., Dmytriienko O.V. – Kharkiv : Vydavnychiy tsentr. NTU “KhPI”, 2014. – 308 s.
4. Rutkevych V.S. Innovatsiini zasoby dlia vyvantazhennia steblovykh kormiv z transheinykh skhovyshch
5. / V.S. Rutkevych, V.P. Kushnir, O.O. Ostapchuk // *Herald of Khmelnytskyi National University*. – 2022. – № 1 (305). – С. 261–269.
6. Ivanov M.I. Pidvyshchennia eksploatatsiinoi efektyvnosti blochno-portsiinoho vyvantazhuvacha konservovanykh kormiv shliakhom hidrofikatsii pryvoda robochykh orhaniv / M.I. Ivanov, S.A. Sharhorodskiy,
7. V. S. Rutkevych // *Promyslova hidravlika i pnevmatyka*. – 2013. – № 1 (39). – С. 91–96.
8. Shmat S. I. Tendentsii staloho rozvytku suchasnoho silskohospodarskoho mashynobuduvannia v Ukraini i za rubezhem [Elektronnyi Resurs] / S. I. Shmat, P. H. Luzan, S. V. Kolisnyk // *KNTU*. – 2010. – Rezhym dostupu : <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/4971>
9. Shargorodskiy S. Investigation of drive power of the mechanism for separation of stem feed from feed monolith / S. Shargorodskiy, V. Rutkevych // *Slovak international scientific journal*. – 2021. – № 54. – R. 10–20.
10. Ivanov M.I. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed / M.I. Ivanov, V.S. Rutkevych, O.M. Kolisnyk, I.O. Lisovoy // *INMATEH - Agricultural Engineering*. – 2019. – Vol. I, № 1 (57). – P. 37–44.
11. Rutkevych V.S. Matematychno modeliuвання roboty hidravlichnoho pryvoda sektsii shyrokozakhvatnoho kultyvatora z poslidovnym spratsiuvanniam hidrotsylindriv / V.S. Rutkevych // *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. – 2018. – № 2 (101). – С. 37–47.
12. Rutkevych V. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor
13. / V. Rutkevych, I. Kupchuk, V. Yaropud, V. Hraniak, S. Burlaka // *Przegląd Elektrotechniczny*. – 2022. – № 2 (98). – P. 64–69.

Надійшла/Paper received : 04.10.2022 р. Надрукована/Printed :01.11.2022 р.