

Березюк О.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИН ДЛЯ СБОРА И ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Винницкий национальный технический университет

Аннотация: В статье описана разработанная оригинальная компьютерная программа "MatModel", позволяющая численно исследовать математические модели приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов в виде систем дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутта-Фельберга 4-го порядка со сменным шагом интегрирования и получать соответствующие результаты в виде графиков и таблиц. Приведен пример результатов численного исследования динамики привода рабочих органов для одной из технологических операций.

Ключевые слова: информационные технологии, математическое моделирование, проектирование машин, мусоровоз, твердые бытовые отходы.

Abstract: The article describes the developed original computer program "MatModel", which allows numerically to investigate the mathematical models of actuators of working bodies of machines for the collection and primary processing of solid domestic wastes in the form of systems of differential equations using the Runge-Kutta-Feelberg 4th level with variable step integration and get relevant results in the form of charts and tables. An example of the results of a numerical study of the dynamics of the drive of the working bodies on one of the technological operations is given.

Key words: information technologies, mathematical modelling, designing of machines, dustcart, solid domestic wastes.

Наряду с проблемой твердых промышленных отходов [1-5] важной является проблема твердых бытовых отходов (ТБО), годовой объем которых в украинских населенных пунктах превышает 46 млн. м³, 93,9% из которых вывозятся на полигоны и свалки, и лишь 5,1% перерабатываются и утилизируются на мусоросжигательных заводах. Сбор ТБО является основной задачей санитарной очистки населенных пунктов и осуществляется более чем 4,1 тыс. специальными автомобилями (мусоровозами) [6], а потому связан со значительными финансовыми затратами. Только на перевозку отходов к месту утилизации за пределы санитарной зоны в 30 км расходуется более 45 тысяч тонн горючего в год. Согласно источнику [6] изношенность автопарка мусоровозов коммунальных предприятий Украины составляет почти 70%. Согласно Постановлению Кабинета Министров Украины № 265 [7], среди приоритетных направлений обращения с ТБО есть обеспечение применения коммунальным хозяйством страны современных высокоэффективных мусоровозов, как основного звена в структуре машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов. Поэтому разработка научно-

технических основ проектирования высокоэффективных рабочих органов машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов является актуальной научно-технической проблемой. В частности актуальным является применение информационных технологий для проектирования таких машин.

В большинстве мусоровозов технологические операции осуществляются с помощью гидравлического привода рабочих органов. Для изучения работы приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки ТБО в наиболее трудных режимах использована методика имитационного моделирования на ЭВМ. К таким критическим режимам нужно отнести: начало и конец движения исполнительных органов. Прыжки давления в случае потери устойчивости или в режиме некачественных переходных процессов, возникающих при пуске гидропривода, могут вызвать разрыв трубопроводов высокого давления, выход оборудования из строя, потерю рабочей жидкости (дорогостоящего минерального масла). Моделирование выполнялось с использованием среды разработки программного обеспечения Delphi в операционной среде Windows.

Системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику приводов рабочих органов мусоровозов, представляют собой системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений нерешаемых относительно старших производных.

Нелинейность этих уравнений заключается в том, что искомые функции – давления рабочей жидкости на разных участках гидропривода, перемещения исполнительных органов машин и их производные входят в дифференциальные уравнения в виде выражений с дробными степенями. Кроме того, некоторые из рассматриваемых уравнений содержат сложные зависимости, которые нельзя линеаризовать обычным разложением их функций в ряд Тейлора. Наличие в вышеупомянутых уравнениях логических функций (функций знака и единичной функции) также усложняет аналитическое их решение. К числу существенных нелинейностей, функции которых имеют разрыв непрерывностей, относятся зависимости коэффициентов трения от скорости подвижных элементов исследуемых гидроприводов. На сегодняшний день нам неизвестны аналитические методы преобразования таких систем дифференциальных уравнений к линейному виду.

Нерешаемость уравнений относительно старших производных и существенные нелинейности позволяют сделать вывод о необходимости применения численных методов решения систем дифференциальных уравнений. Известен целый ряд методов численного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений [8]. Общий недостаток этих методов – громоздкость вычислений, еще раз подтверждающая необходимость использования ЭВМ для интегрирования численными методами систем дифференциальных уравнений при исследовании динамики рабочих процессов гидроприводов плиты прессования ТБО.

Для решения обыкновенных дифференциальных уравнений нужно знать значение переменной и/или ее производной при некоторых значениях независимой переменной. Если эти дополнительные условия задаются при

одном значении независимой переменной, то такая задача называется задачей с начальными условиями, или задачей Коши [8]. К классу задач Коши можно отнести системы обыкновенных дифференциальных уравнений, в которых конкретным значениям независимой переменной – времени t отвечают определенные начальные значения зависимых переменных: давлений рабочей жидкости на разных участках гидропривода, перемещения исполнительных органов машин.

Численное решение задачи Коши широко применяется в разных областях науки и техники, и для него разработано большое количество методов, из которых наиболее известны: методы Ейлера, Рунге-Кутта, Рунге-Кутта-Фельберга, методы конечных разностей и т.п. [8].

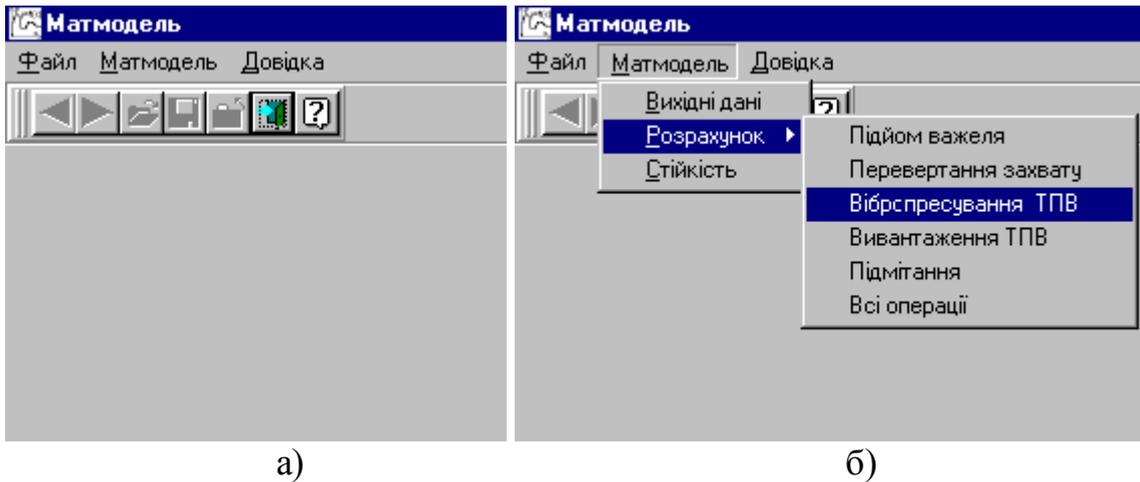
Метод Рунге-Кутта предназначен для получения решения системы дифференциальных уравнений с заданным начальным шагом, относится к численным методам четвертого порядка и является устойчивым. Для получения решения в следующей точке он требует решения только в одной предыдущей точке (в отличие от методов конечных разностей). На каждом шаге интегрирования метод Рунге-Кутта нуждается в вычислении правых частей уравнений системы в четырех точках. Ни погрешность метода, ни ее оценка не получаются в процессе вычислений. Поэтому контроль точности и выбор шага интегрирования проводятся путем сравнения результатов расчетов в одной и той самой точке, полученной с целым и двойным шагом.

В отличие от метода Рунге-Кутта, метод Рунге-Кутта-Фельберга автоматически изменяет шаг интегрирования при выявлении погрешности вычислений, благодаря этому он является несколько более громоздким, но намного точнее.

Таким образом, из сравнения двух численных методов можно сделать вывод о целесообразности применения метода Рунге-Кутта-Фельберга для решения системы дифференциальных уравнений с помощью ЭВМ.

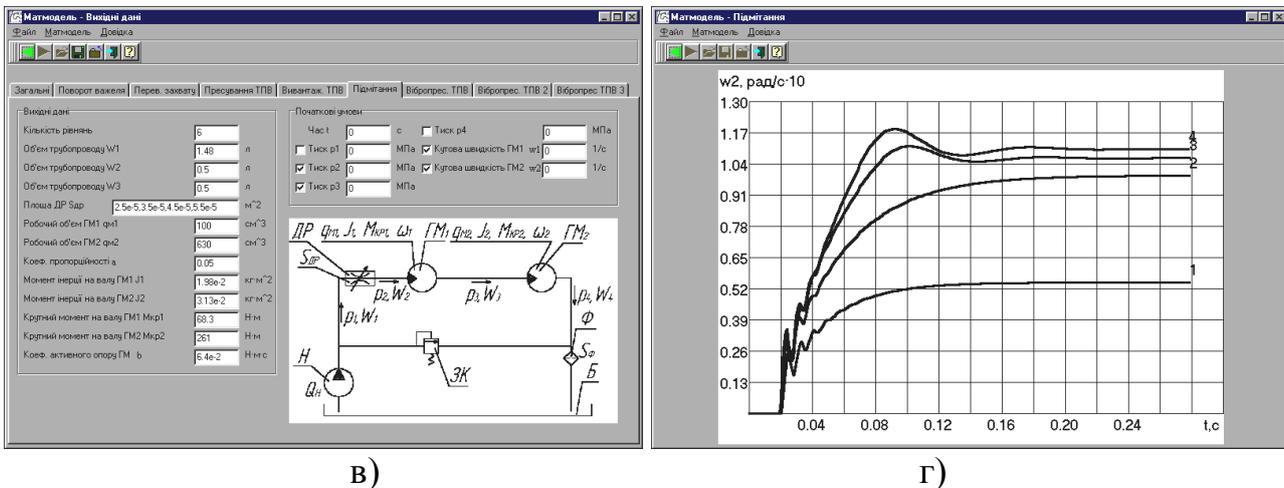
Разработано оригинальную компьютерную программу "MatModel", защищенную свидетельством о регистрации авторского права на произведение [9] и позволяющую вводить значение параметров приводов рабочих органов, численно решать системы дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутта-Фельберга 4-го порядка со сменным шагом интегрирования и получать соответствующие результаты в виде графиков и таблиц.

На рис. 1 представлен общий вид диалогового окна программы "MatModel" для исследования динамики приводов рабочих процессов машин для сбора и первичной переработки ТБО на каждой технологической операции: загрузка ТБО в бункер мусоровоза [10-12], уплотнение ТБО [13], разгрузка ТБО из мусоровоза [14-16], а также работа навесного подметального оборудования, позволяющего расширить функциональные возможности мусоровоза [17-19]. Программа содержит также главное меню и панель инструментов (рис. 1а), подменю для выбора технологической операции (рис. 1б), блоки ввода исходных данных, начальных условий, расчетную схему для каждой из математических моделей (рис. 1в), а также блок вывода результатов (рис. 1г).



а)

б)



в)

г)

Рис. 1. Общий вид диалогового окна программы "MatModel" для исследования динамики приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки ТБО

В процессе исследования в качестве параметров математической модели использовались исходные данные, отвечающие реальным параметрам базовой модели мусоровоза КО-436 [20], а полученные результаты использовались для разработки научно-обоснованных методик проектного расчета параметров приводов [21].

При разработке математических моделей работы гидроприводов мусоровоза были приняты такие допущения [18, 22-28]:

- давление прессования ТБО зависит от их относительной деформации ε и начальной плотности ρ и описывается функцией [22]

$$p_{\varepsilon} = 1,342\varepsilon^{9,17} \rho^{0,592} - 20,83\varepsilon^{9,17} + 0,006795\rho^{0,592} - 0,08158 ; \quad (1)$$

- подвижные части рабочих органов для прессования ТБО принимаем как одномассовую систему, поскольку плита прессования и корпус гидроцилиндра жестко соединены между собой, а шток гидроцилиндра жестко соединен с кузовом мусоровоза, масса которого m_c значительно превышает массу плиты

прессования $m_{ПП}$ и корпуса гидроцилиндра $m_{ГЦ}$ ($m_c = 2500$ кг $\gg \gg m_{ПП} + m_{ГЦ} = 300$ кг), и поэтому принимается неподвижной;

- рабочая жидкость принята сжимаемой и характеризуется коэффициентом сжимаемости;

- коэффициент сжимаемости рабочей жидкости изменяется несущественно с изменением давления и потому считается постоянным;

- расход рабочей жидкости на перетекание из области высокого давления в область низкого давления прямопропорционально зависят от перепада давлений на границе этих областей и характеризуется коэффициентом перетекания рабочей жидкости;

- величина давления в магистрали между фильтром и маслобаком является незначительной и во внимание не принимается;

- сухое трение в подвижных элементах гидроцилиндра и генератора импульсов давления не учитываются из-за отсутствия нормальных усилий в парах трения, в которых использовано уплотнение зазором;

- общий коэффициент трения ТБО по стали, что равняется среднему арифметическому составных коэффициентов, пропорциональный к их процентному содержанию по массе для статического режима и изменяется в сторону значения коэффициента трения с наибольшей плотностью для вибрационного режима [28].

Для примера на рис. 2 показаны результаты численного исследования динамики гидропривода переворачивания контейнера при загрузке ТБО в мусоровоз с помощью математической модели, приведенной в работе [12].

Графики переходных процессов работы гидропривода переворачивания контейнера при загрузке ТБО в мусоровоз получены для параметров, отвечающих реальной серийной модели мусоровоза КО-436 [20] производства ООО "Турбовского машиностроительного завода" (ОАО "АТЕКО"). Цифрами 1-9 на рис. 2 обозначены кривые для разных значений расстояния между центрами обращения захвата и штока: 35 мм, 40 мм, 50 мм, 60 мм, 80 мм, 100 мм, 130 мм, 150 мм, 160 мм, соответственно.

Расчеты проводились с шагом интегрирования $h = 10^{-4}$ с и относительной погрешностью $\varepsilon = 10^{-16}$. Устойчивость решения систем дифференциальных уравнений обеспечивалась проверкой на идентичность результатов, полученных при значениях шагов интегрирования h и $h/2$.

Итак, разработана компьютерная программа "MatModel", позволяющая численно исследовать динамику приводов рабочих органов машин для сбора и первичной переработки твердых бытовых отходов на основе математических моделей в виде систем нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты-Фельберга с сохранением результатов в виде графиков и таблиц, которые могут быть использованы для определения рациональных параметров машин при их проектировании.

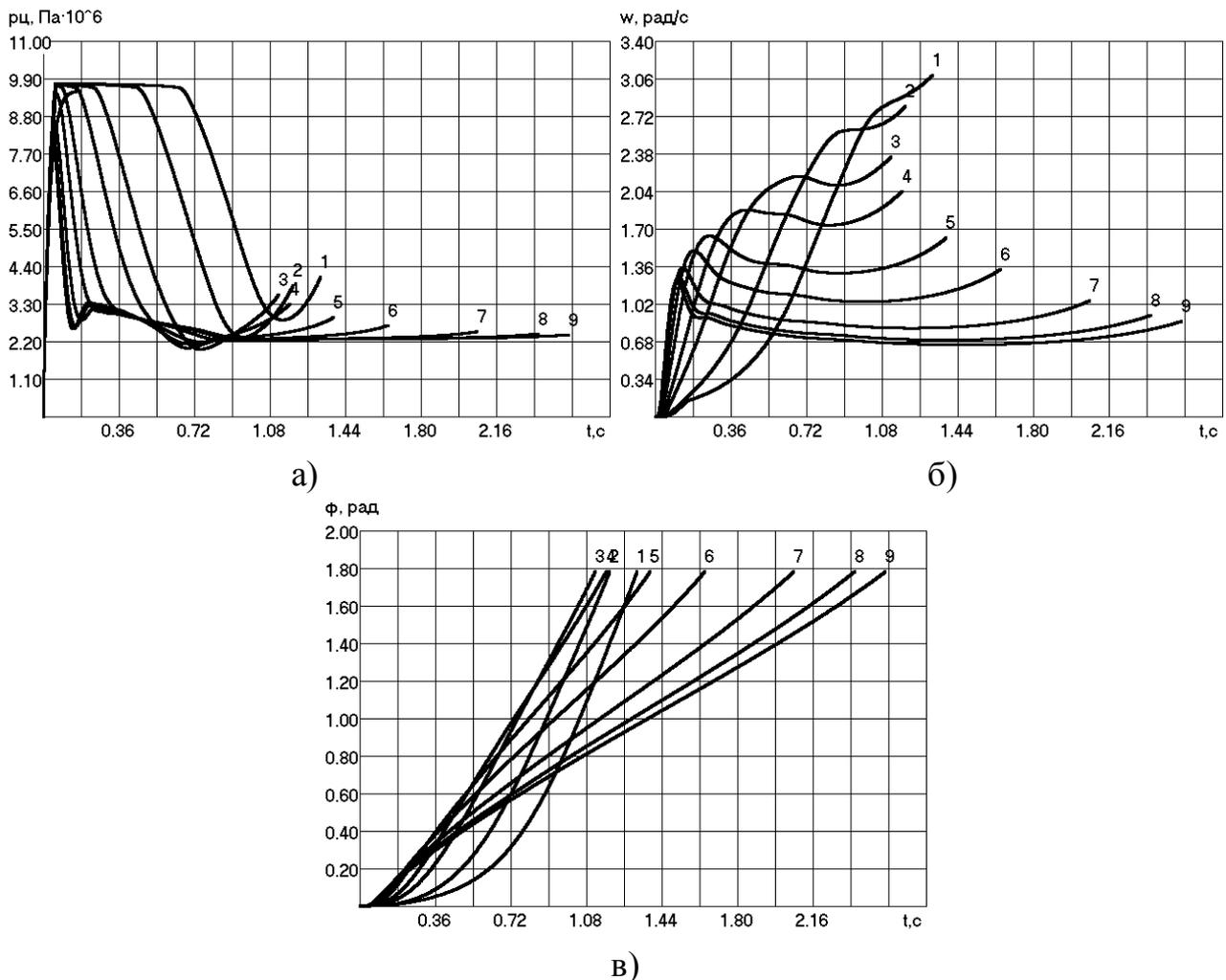


Рис. 2. Результати численного исследования динамики гидропривода переворачивания контейнера при загрузке ТБО в мусоровоз: а) изменение давления в гидроцилиндре; б) угловая скорость переворачивания контейнера в процессе работы; в) изменение угла переворачивания контейнера

Список литературы

1. Ковальський В.П., Сідлак О.С. Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – № 1 (16). – С. 35-40.

2. Ковальський В.П., Очеретний В.П., Лемешев М.С., Бондар А.В. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: Видавництво НУВГіП, 2013. – Випуск 26. – С. 186-193.

3. Лемешев М.С., Христин А.В. Электротехнические материалы для защиты от электромагнитного загрязнения окружающей среды // Инновационное развитие территорий: Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф., 26 февраля 2016 г. – Череповец: ЧГУ, 2016. – С. 78-83.

4. Лемешев М.С., Христин О.В., Березюк О.В. Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв //

Materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference «Aktuální vymoženosti vědy – 2015». – Praha: Publishing House «Education and Science» s.r.o, 2015. – Díl 7. Fyzika. Matematika. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura. Technické vědy. – S. 60-62.

5. Лемешев М. С., Березюк О. В. Легкі бетони отримані на основі відходів промисловості // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2015. – Выпуск 1. Том 13. – С. 111-114.

6. Інформація щодо проведеного моніторингу та аналізу ситуації на ринках поводження з побутовими відходами, їх перероблення та захоронення за 2015 рік. – Режим доступу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/monitoryng_NKREKP_vidhody-2015.pdf.

7. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 2004 року № 265 "Про затвердження Програми поводження з твердими побутовими відходами". – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi? nreg =265-2004-%EF>.

8. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ: справочник. – М. : Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1987. – 240 с.

9. Березюк О.В. Комп'ютерна програма "Математичне моделювання динаміки приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів" ("MatModel") / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64349. – К.: Державна служба інтелектуальної власності України. – Дата реєстрації: 03.03.2016.

10. Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 81-86.

11. Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2009. – № 33. – С. 403-406.

12. Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів перевертання контейнера під час завантаження твердих побутових відходів у сміттєвоз // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 5. – С. 60-64.

13. Березюк О.В. Вплив основних параметрів вібраційного гідроприводу на показники вібрації в процесі ущільнення твердих побутових відходів // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: Збірник наукових праць. – Львів: Каменярь, 2009. – № 8. – С. 380-387.

14. Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів // Машинознавство. – Львів: НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 10 (136). – С. 25-28.

15. Березюк О.В., Савуляк В.І. Вплив характеристик тертя на динаміку гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвоза // Проблеми тертя та зношування. – 2015. – № 3 (68). – С. 45-50.

16. Berezyuk O.V., Savulyak V.I. Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities // *TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies.* – Suceava, Romania, 2015. – No 22. – P. 345-351.

17. Березюк О.В. Розробка та дослідження нової структури екологічної машини для очистки населених пунктів від твердих відходів // *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник.* – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – С. 92-98.

18. Савуляк В.І., Березюк О.В. Технічне забезпечення збирання, перевезення та підготовки до переробки твердих побутових відходів: монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 217 с.

19. Березюк О.В. Регрессия параметров управления приводом рабочих органов навесного подметального оборудования мусоровозов // *Инновационное развитие территорий: Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф., 26 февраля 2016 г.* – Череповец: ЧГУ, 2016. – С. 58-62.

20. Мусоровоз кузовной КО-436: техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Турбов, 1996. – 27 с.

21. Березюк О.В. Методика инженерных расчётов параметров навесного подметального оборудования экологической машины на основе мусоровоза // *Современные проблемы транспортного комплекса России.* – Магнитогорск, 2016. – № 2. – С. 39-45.

22. Березюк О.В. Моделювання компресійної характеристики твердих побутових відходів у сміттєвозі на основі комп'ютерної програми "PlanExp" // *Вісник Вінницького політехнічного інституту.* – 2016. – № 6. – С. 23-28.

23. Гунько І.В. Групповой гидропривод рабочих органов машин сільськогосподарського призначення з послідовним з'єднанням гідромоторів: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03. – Вінниця, 1999. – 274 с.

24. Булыга Ю.В. Разработка и исследование гидроимпульсного привода установки для виброабразивной очистки крупногабаритных деталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03. – Винница, 1996. – 184 с.

25. Севостьянов И.В. Вибропресс с гидроимпульсным приводом для многокомпонентного нагружения порошковых заготовок: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05. – Винница, 1998. – 227 с.

26. Коц И.В. Разработка и исследование клапанов-пульсаторов для гидравлических приводов вибрационных горных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03. – Винница, 1994. – 227 с.

27. Рагозін О.А. Гідроімпульсний привод нової вібропресової формувальної машини з розширеними технологічними параметрами: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03. – Вінниця, 2001. – 256 с.

28. Блехман И.И. Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.