

УДК 631.353.7.001.1/.55:631.516:631.875

**М. Корчак**, candidate of Technical Sciences, State Agrarian and Engineering University in Podilya

## **SUBSTANTIATION OF POWER INDEXES OF ROUGH-STEM SPECIES PLANTS REMAINS GRINDER**

**Annotation.** The analysis of technology and construction machinery for soil cultivation littered with plant residues of rough-stem crops.

There was grounded a sequence of fulfillment and structure of technological processes of combined way in field cultivation littered with plant rests.

There was also elaborated power-capacity and ecologically affective technology of soil cultivation littered with plant residues of rough-stem crops, as well as a grinder for its realization.

An experimental model of combined grinder was manufactured, as well as there were based technological parameters, modes of its operation and their rational value.

An electronic measuring complex and software is developed and made, which enable to register and process indexes of work the experimental setting.

Investigational dependence of power is on the occasion of grinder from structural parameters and office hours.

The analysis of power indexes of work milling cutter and grinder is conducted on the whole.

The results of investigations were implemented into production and were also determined technical and economical, power and ecological indices of effectiveness in application of grinder.

**Keywords:** a grinder, plant rests of rough-stem crops, soil, electronic measuring complex, power indexes of work, multivariable experiment, results of experimental researches.

**М.М. Корчак**, кандидат технічних наук, в.о. доцента ПДАТУ

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ ГРУБОСТЕБЛОВИХ КУЛЬТУР**

Проведено аналіз технологій і конструкцій машин для обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур. Розроблено і виготовлено експериментальну установку подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур та описано принципи її роботи.

Розроблено і виготовлено електронний вимірювальний комплекс та програмне забезпечення, які дають змогу реєструвати та обробляти показни-

ки роботи експериментальної установки. Проведено експериментальні дослідження та визначено вплив основних параметрів на якісні та енергетичні показники. Виконання повного факторного експерименту дало змогу отримати аналітичну залежність потужності на привод від основних впливаючих факторів.

Досліджено залежність потужності на привод подрібнювача від конструктивних параметрів та режимів роботи. Проведено аналіз енергетичних показників роботи фрези та подрібнювача в цілому.

**Ключові слова:** подрібнювач, рослинні залишки грубостеблових культур, ґрунт, електронний вимірювальний комплекс, енергетичні показники роботи, багатфакторний експеримент, результати експериментальних досліджень.

**Постановка проблеми в цілому та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Засміченість поля грубостебловими пожнивними рештками є досить поширеною проблемою, однак традиційні шляхи її вирішення і деякі нові не повною мірою забезпечують і дають бажаний результат. Крім того, одного обробітку стерні грубостеблових культур пасивними робочими органами недостатньо, а обробіток, що проводять повторним дискуванням або лушенням, потребує значних енергетичних витрат, витрат часу та коштів [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Існують комбіновані агрегати, що мають наступні недоліки: не повністю загортають подрібнені рослинні залишки в ґрунт; мають складну конструкцію та низьку технологічну надійність; маючи велику металомісткість, чинять великий тиск на ґрунт, збільшуючи його ущільнення; не забезпечують екологічно чистої технології обробітку ґрунту [3-5].

Крім того, обробіток пасивними та активними робочими органами деяких подрібнювачів здійснюється на всю ширину захвату агрегату, що потребує додаткових затрат енергії [6, 7]. Агрегати не повністю пристосовані до деяких умов, які диктує стан аграрного сектору України (наприклад, такі умови як стан поля, можливість агрегатувати з тракторами нижчого класу, менші питомі витрати пального на обробіток тощо).

Перспективним напрямком удосконалення існуючих комбінованих агрегатів є зменшення енергетичних витрат на виконання

технологічного процесу та кількості проходів, зменшення металоємкості їх конструкцій, підвищення продуктивності, забезпечення необхідного обробітку без шкідливого впливу на екологію.

**Метою** публікації є обґрунтування основних енергетичних показників роботи розробленого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.** На основі аналізу існуючих технологій та конструкцій, а також обґрунтуванні послідовності виконання процесів розробленого комбінованого способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур, розроблено експериментальну установку подрібнювача. Польова установка подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур (рис. 1) містить раму 1, на якій розташовані розподільники 2, фрезерні секції 3, плоскі дискові ножі 4, вирівнювальні щитки 5 та прикочувальні котки 9.

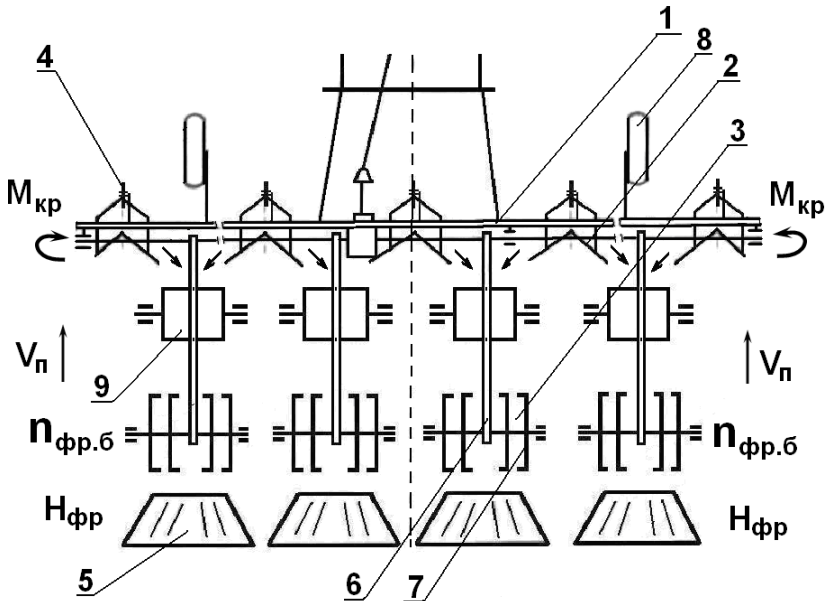


Рис. 1. Польова експериментальна установка комбінованого подрібнювача

Фрезерні секції 3 включають приводи 6, фрезерні барабани з Г-подібними ножами 7 та вирівнювальні щитки 5. Розподільники 2 – це розпушувальні лапи з напрямними крилами, які розташовуються перед фрезерними секціями в міжряддях. Попереду машини встановлені закріплені на рамі 1 опорні колеса 8.

Працює польова установка таким чином. При переміщенні машини вздовж рядків поля після збирання грубостеблових культур розподільники 2 рухаються в міжряддях, транспортуючи залишені після збирання стебла та інші рослинні залишки в зони подрібнення (до рядків посіву), де вони подрібнюються ножами 7 фрезерних секцій 3 і перемішуються з ґрунтом. Забиванню розподільників 2 грубими рослинними залишками запобігають плоскі дискові ножі 4, що перерізують довгі стебла в міжряддях, завдяки чому рослинні залишки потрапляють на бокові стінки розподільників, якими вони переміщуються. Прикочувальні котки 9, що працюють по рядках посіву, ущільнюють рослинні залишки, які були спрямовані розподільниками. Фрезерні барабани працюють в зонах подрібнення. Ґрунт і рослинні залишки відкидаються ножами та за допомогою напрямних ребер вирівнювальних щитків 5 розподіляються по фронту руху агрегату, вирівнюючи поверхню поля.

Активні робочі органи установки розміщені лише в смузі рядка, яка є зоною подрібнення. Подрібнення залишків із всього фронту ширини захвату досягається за допомогою розподільників, які спрямовують стебла та інші рослинні залишки з міжрядь в зони подрібнення. Для ущільнення згорнених рослинних залишків, а також покращення процесу подрібнення, позаду розподільників по рядках посіву перед фрезами встановлені прикочувальні котки, які виконують роль протирізальних пристроїв.

Завдяки подрібненню в зонах рядків енергія на фрезерування використовується ефективно (не використовується на обробіток міжрядь).

Під час експериментальних досліджень визначали вплив частоти обертання фрезерного барабана, робочої швидкості подрібнювача і глибини обробітку на якісні і енергетичні показники роботи.

Для виміру вказаних параметрів в процесі вивчення установка оснащена тензообладнанням. Вимірювальна апаратура змонтована безпосередньо на тракторі. Силові та швидкісні параметри вимірювали змонтованими тензометричними та інерційними датчиками. Дослідний зразок комбінованого подрібнювача зображено на рис. 2.



*Рис. 2. Дослідний зразок подрібнювача рослинних залишків  
грубостеблових культур КФП-2,8: а – загальний вигляд;  
б – в транспортному положенні*

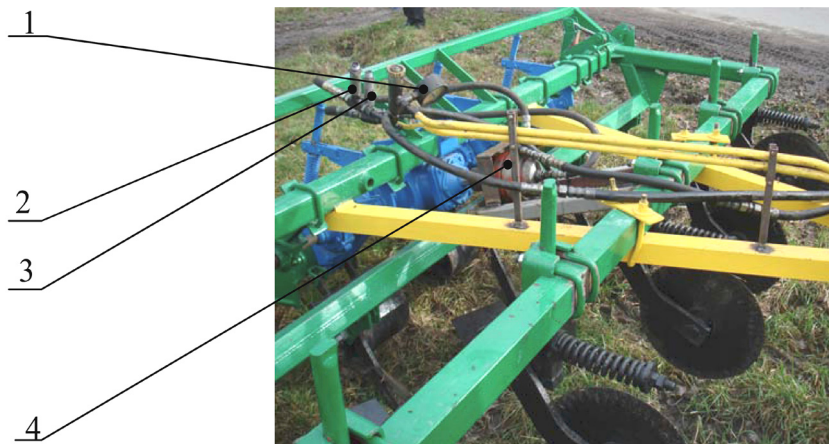
Привод фрезерних секцій експериментальної польової установки подрібнювача може здійснюватись як від ВВП, так і від гідросистеми трактора.

Для проведення замірів енергетичних показників на експериментальній установці було встановлено датчики вимірювального комплексу, детальний опис якого наведений нижче.

При розробці конструкції експериментальної установки подрібнювача була врахована можливість встановлення необхідних датчиків та можливості зміни рівнів факторів за допомогою набору змінних деталей, позиційного встановлення окремих вузлів, а також введення дросельного управління гідроприводом подрібнювача.

Вибір елементів гідроприводу проводили виходячи з необхідної швидкості руху подрібнювача та розрахункової потужності на його привід. Після проведених розрахунків було прийнято на-

ступні елементи гідроприводу (рис. 3): силова установка 4 – гідромотор планетарний МГП-80; регулюючий пристрій 1 – дросель-витратомір ДР-70; 2 і 3 – датчики тиску тензометричні типу ТДД-100 та ТДД-200.



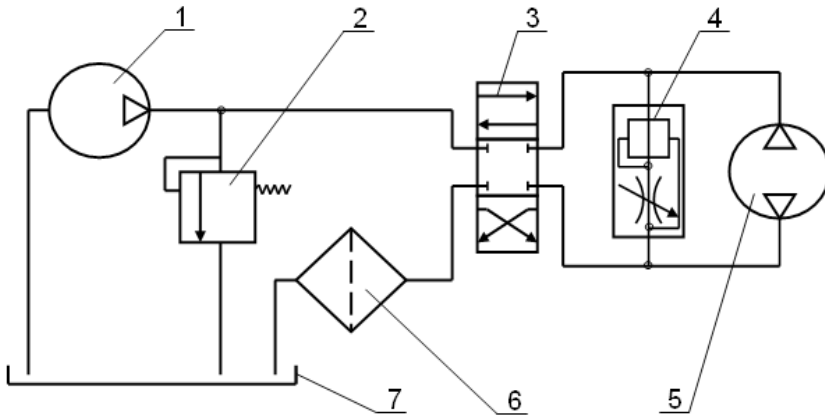
*Рис. 3. Елементи гідроприводу подрібнювача*

Гідравлічна схема подрібнювача містить три основних частини: силова (насосна), де механічна енергія приводного двигуна перетворюється в гідравлічну енергію робочої рідини; розподільчо-регулювальна, яка забезпечує зміну напрямку руху робочої рідини від насоса до гідромотора та гідробака, регулює швидкість потоку робочої рідини, а отже і швидкість дії виконавчого механізму; виконавча (гідродвигун), яка приводить в рух робочі органи машини.

У гідравлічну систему входять: гідробак, трубопроводи, фільтри, запобіжні клапани та інше допоміжне обладнання.

З метою забезпечення можливості регулювання швидкості обертання робочого органу для його приводу обираємо гідросистему з дросельним регулюванням. Привод гідромотора проводимо від гідросистеми трактора.

Виходячи з кінематичної схеми подрібнювача, будемо принципovu гідравлічну схему (рис. 4).



*Рис. 4. Гідравлічна схема приводу робочих органів  
подрібнювача: 1 – гідронасос; 2 – запобіжний клапан;  
3 – розподільник; 4 – дросельно-регулюючий пристрій;  
5 – гідромотор; 6 – фільтр; 7 – гідробак.*

Від правильності вибору робочої рідини залежить працездатність гідроприводу та довговічність гідрообладнання. Навіть оптимально спроектована гідросистема може бути непрацездатною або малоефективною, якщо робоча рідина не буде відповідати умовам експлуатації.

Марку робочої рідини вибирали виходячи з умов експлуатації, типу насоса і відповідальності гідросистеми. Чим нижча температура повітря, тим менша повинна бути в'язкість рідини. З метою уніфікації з гідросистемою трактора в якості робочої рідини вибираємо масло М10Г2к.

Для вимірювання тиску масла в напірній та зливній магістралі встановлені датчики резистивного типу. Для контролю частоти обертання гідромотора, а також швидкості руху установки було встановлено датчики індукційного типу (рис. 5); для вимірювання тягового опору агрегату – тензоланку типу КЭД – 5 (рис. 6).

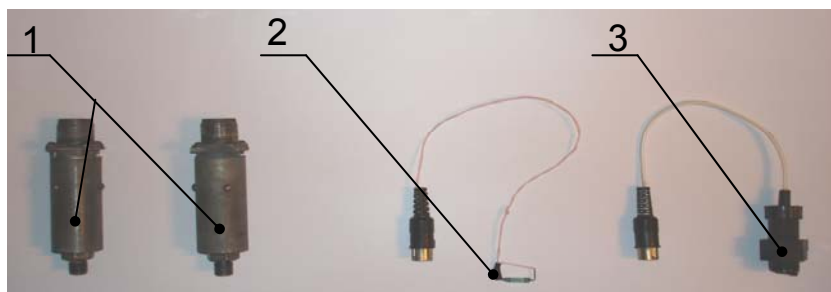


Рис. 5. Схематичне зображення вимірювальних датчиків:  
1 – датчики тиску масла в напірній і зливній магістралях  
ТДД-100, ТДД-200; 2 – датчик швидкості руху подрібнювача;  
3 – датчик частоти обертання ведучого вала



Рис. 6. Обладнання для вимірювання тягового опору  
експериментальної польової установки подрібнювача

Для реєстрації вимірюваних параметрів спроектований та виготовлений електронний вимірювальний комплекс (рис. 7), який забезпечує високу точність та надійність вимірювання, можливість роботи з датчиками резистивного та імпульсного типу, а також можливість використання в польових умовах та живлення від електросистеми трактора.

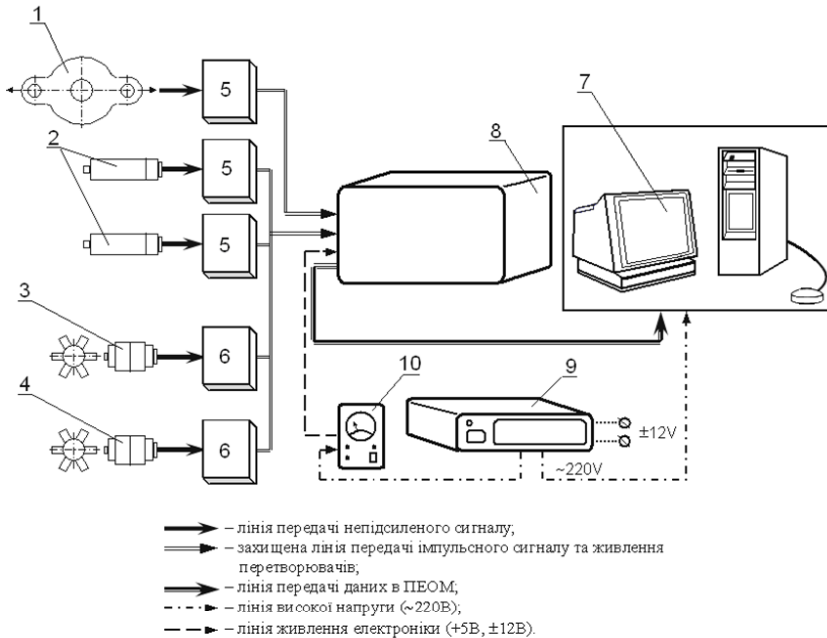


Рис. 7. Структурна схема електронного вимірювального комплексу: 1 – датчик тягового зусилля резистивного типу; 2 – датчики тиску масла в напірній та зливній магістралі; 3, 4 – імпульсні датчики частоти обертання ведучого вала подрібнювача та швидкості руху машини; 5 – перетворювач резистивного сигналу; 6 – підсилювачі-формувачі; 7 – ПЕОМ; 8 – лічильник-комутатор; 9 – перетворювач напруги; 10 – блок живлення

Призначення та процес роботи основних елементів вимірювального комплексу наступні.

Датчик тягового зусилля 1 резистивного типу призначений для вимірювання тягового опору експериментальної установки. При зміні тягового зусилля на датчику змінюється опір чутливих тензоелементів, який перетворювач резистивного сигналу 5 вимірює та перетворює в цифровий сигнал різної частоти. Цей сигнал передається через захищену лінію передачі імпульсного сигналу на лічильник-комутатор 8.

Аналогічно працюють датчики тиску масла в напірній та зливній магістралі 2 та відповідні їм перетворювачі резистивного сигналу 5.

Підсилювачі-формувачі 6 призначені для підсилення сигналу імпульсних датчиків частоти обертання ведучого вала подрібнювача 3 та швидкості руху машини 4 і формування їх для передачі на лічильник-комутатор 8 через захищену лінію передачі імпульсного сигналу.

Лічильник-комутатор 8 призначений для почергової реєстрації показників перерахованих датчиків, а також формування та передачі інформації в ПЕОМ 7, яка закріплена на тракторі.

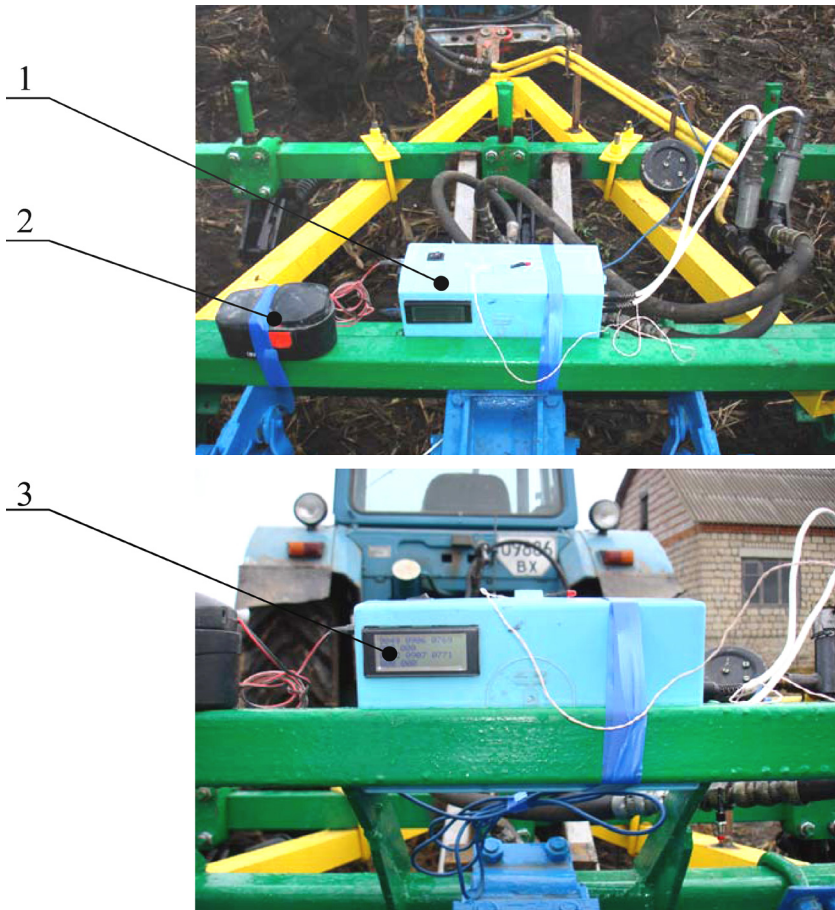
ПЕОМ 7 під управлінням спеціальної програми керує роботою електроніки вимірювального комплексу, одержує та опрацьовує інформацію про виміряні величини та зберігає її на магнітний носій інформації.

Розташування окремих елементів вимірювального комплексу експериментальної установки подрібнювача наведено на рис. 8.

Для живлення ПЕОМ та вимірювального комплексу високою напругою використовується перетворювач напруги 9, який живиться від електричної мережі трактора і видає змінний струм напругою 220 В.

Блок живлення 10 видає стабілізовану напругу +5 В, +12 В та -12 В для живлення електронних компонентів вимірювального комплексу, а також забезпечує вимірювальні містки датчиків резистивного типу стабілізованою опорною напругою.

Коректну роботу вимірювального комплексу забезпечувала спеціально розроблена програма. Попередньо складено його структурну і принципову електронну схему.



*Рис. 8. Основні елементи вимірювального комплексу та їх розташування: 1 – лічильник-комутатор; 2 – блок живлення; 3 – шкала реєстрації показників*

Для виконання досліджень та заміру основних енергетичних показників роботи експериментальної установки використовували спеціальну вимірювально-реєструючу апаратуру.

Вимірювальним комплексом в автоматичному режимі реєструвалися: тиск масла в напірній та зливній магістралі, тяговий опір агрегату.

Енергетичні показники роботи машини обчислювались спеціально розробленою програмою електронного вимірювального комплексу. При цьому використовувались наступні аналітичні залежності [8]:

– крутний момент на ведучому валу подрібнювача:

$$M_{кр} = q_m \Delta P \eta_{зм} \frac{1}{2\pi}, \quad (1)$$

де  $q_m$  – робочий об'єм гідромотора, см<sup>3</sup>/об.;

$\Delta P = P_n - P_{зл}$  – перепад тиску на гідромоторі, МПа;

$\eta_{зм}$  – механічний к.к.д. гідромотора;

– потужність на привод подрібнювача:

$$N_n = M_{кр} \cdot \omega_n, \quad (2)$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент на валу подрібнювача, Н × м;

$\omega_n$  – частота обертання, хв<sup>-1</sup>;

– загальна потужність на агрегування польової установки:

$$N_a = R_a V_m + N_n, \quad (3)$$

де  $R_a$  – тяговий опір агрегату, кН;

$V_m$  – швидкість руху агрегату, м/с;

$N_n$  – потужність на привод подрібнювача, кВт.

З метою встановлення основних закономірностей показників роботи та об'єктивного аналізу експериментальних даних умови проведення лабораторних досліджень експериментальної установки визначалися у відповідності до існуючих вимог [9-11].

Після вибору основних факторів на другому етапі досліджень проводили досліди, які передбачали складання плану повнофакторного експерименту (ПФЕ) 2<sup>n</sup>. Експериментальну установку подрібнювача під час проведення польових досліджень зображено на рис. 9.

Для визначення впливу експлуатаційних параметрів (робочої швидкості подрібнювача, частоти обертання фрезерного барабана і глибини фрезерування на енергетичні показники) були проведені польові досліди з використанням тензообладнання, встановленого на польовій установці.



*Рис. 9. Експериментальна установка подрібнювача під час проведення польових досліджень*

Таким чином за результатами тензометрування фрези отримані енергетичні показники.

Потужність на привод фрези залежить від кінематичного режиму роботи і глибини фрезерування. Збільшення необхідної потужності на привод фрези при збільшенні глибини обробітку пояснюється зростанням кількості ґрунту, що поступає на фрезу (висота стружки).

Залежність потужності на привод фрезерного барабана від поступальної швидкості та глибини обробітку зображено на рис. 10, 11. Максимальне значення потужності при максимальних агротехнічно допустимих значеннях поступальної швидкості, частоти обертання фрезерного барабана і глибини не перевищує 2,4 кВт.

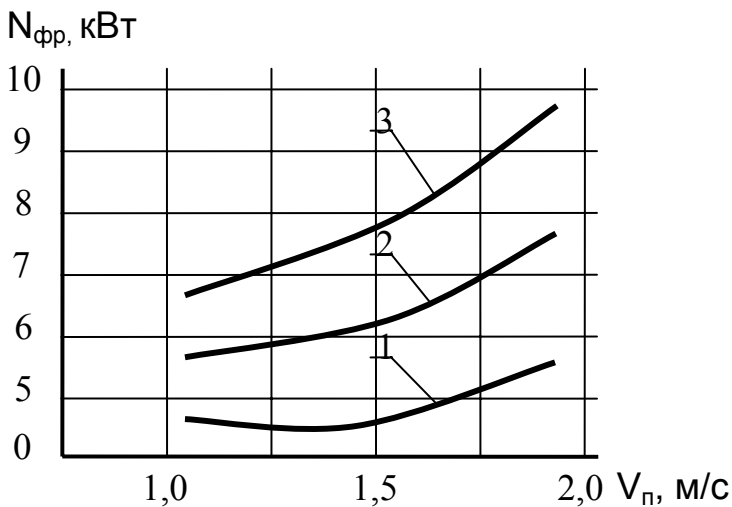


Рис. 10. Залежність потужності на привід фрезерних барабанів  $N_{\text{фр. заг.}}$  від поступальної швидкості подрібнювача  $V_n$ :

1 –  $H_{\text{фр.}} = 4 \text{ см}$ ; 2 –  $H_{\text{фр.}} = 6 \text{ см}$ ;  
3 –  $H_{\text{фр.}} = 8 \text{ см}$ ;  $n_{\text{фр. бар.}} = 430 \text{ хв.}^{-1}$ ;  $W = 17,4\%$

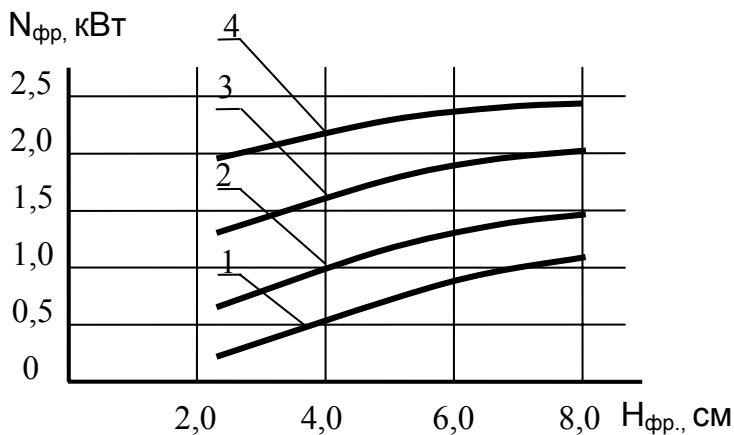


Рис. 11. Залежність потужності на привід фрезерного барабана  $N_{\text{фр.}}$  від глибини фрезерування  $H_{\text{фр.}}$ :

1 –  $V_n = 1,0 \text{ м/с}$ ; 2 –  $V_n = 1,5 \text{ м/с}$ ; 3 –  $V_n = 2,0 \text{ м/с}$ ;  
4 –  $V_n = 2,5 \text{ м/с}$ ;  $n_{\text{фр. бар.}} = 430 \text{ хв.}^{-1}$ ;  $W = 17,4\%$

Необхідна потужність для приводу фрезерних секцій збільшується зі зростанням поступальної швидкості, частоти обертання і глибини обробітку. Крутий момент має максимальне значення по частоті обертання, що співпадає з оптимальним значенням по кришенню ґрунту. Максимальне значення моменту склало 65 Н·м, а потужність – майже 2,4 кВт.

Аналізуючи графіки (рис. 12, 13), видно, що швидкість робочого ходу квадратично впливає на затрати потужності агрегування подрібнювача. Затрачувана потужність на агрегування подрібнювача, що складається з потужності на подолання тягового опору та потужності на привод, збільшується зі збільшенням глибини обробітку.

Максимальне значення затрачуваної потужності (при максимальних значеннях поступальної швидкості і глибини обробітку) складає 30,1 кВт, що становить майже 55% по використанню потужності двигуна.

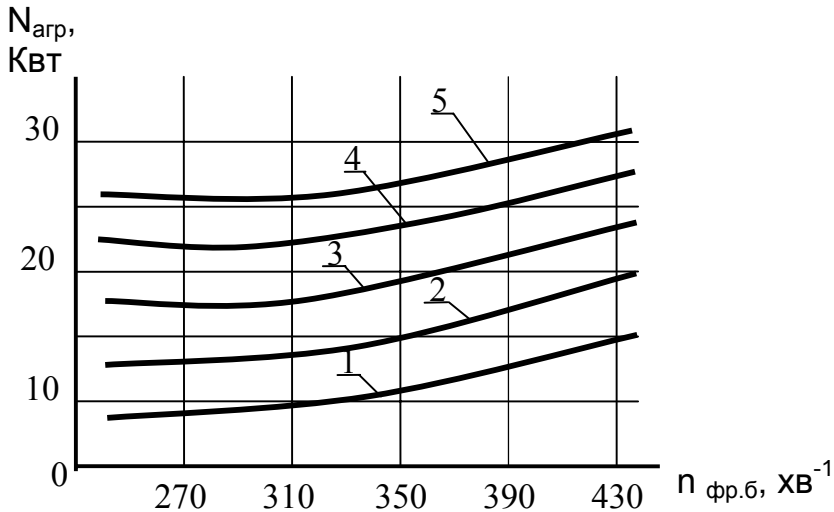


Рис. 12. Залежність потужності на агрегування подрібнювача  $N_{\text{агр}}$  від частоти обертання фрезерного барабана  $n_{\text{фр.б.}}$ :  
 1 –  $V_n = 1,0$  м/с; 2 –  $V_n = 1,5$  м/с; 3 –  $V_n = 1,8$  м/с; 4 –  $V_n = 2,2$  м/с;  
 5 –  $V_n = 2,4$  м/с;  $H_{\text{фр}} = 8$  см;  $W = 17,4\%$

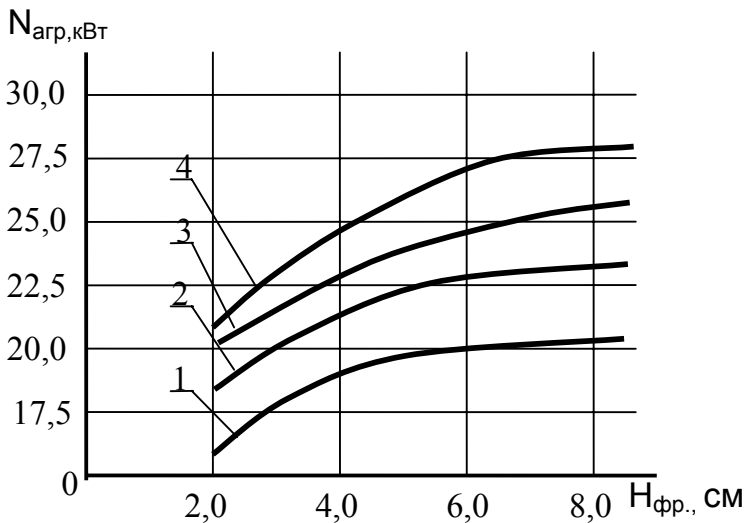


Рис. 13. Залежність потужності на агрегування подрібнювача  $N_{агр}$  від глибини фрезерування  $H_{фр.}$ : 1 –  $V_n = 1,0$  м/с; 2 –  $V_n = 1,5$  м/с; 3 –  $V_n = 1,9$  м/с; 4 –  $V_n = 2,3$  м/с

Отримані результати впливу робочих, конструктивних, експлуатаційних параметрів подрібнювача на агрономічні та енергетичні показники дозволили отримати межі реально можливих значень глибини обробки, поступальної швидкості агрегату і частоти обертання фрезерного барабана.

При швидкостях руху експериментальної установки подрібнювача  $V_n$  1,11 м/с; 1,58; 1,83; 2,17; 2,56 м/с тяговий опір  $R_{агр}$  становив 4,586 кН; 5,214; 6,104; 6,948; 8,247 кН відповідно.

Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача  $R_{агр.}$  від поступальної швидкості  $V_n$  та глибини обробки  $H_{фр.}$  зображено на рис. 14, 15.

Після проведення відсіюючих та пошукових експериментів, відповідно до методики проведення експериментальних досліджень для отримання достовірної та повної інформації про дослідницький процес були проведені основні досліді за методом повнофакторного центрально-композиційного ортогонального планування.

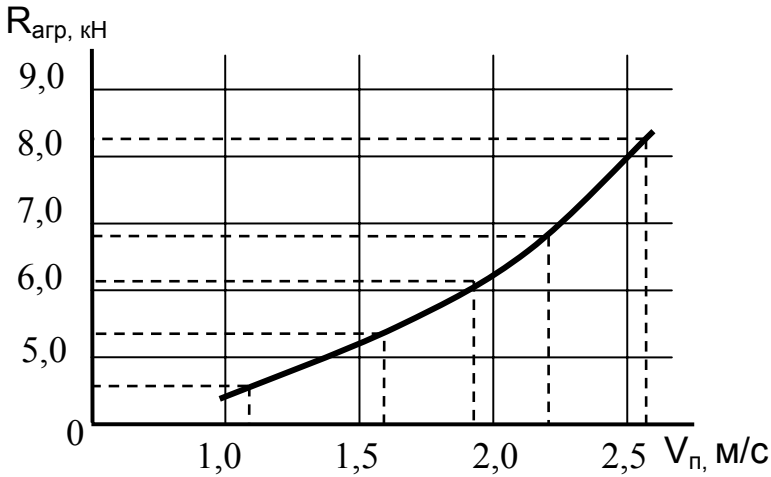


Рис. 14. Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача  $R_{агр}$  від поступальної швидкості  $V_п$ :  
 $H_{фр} = 8$  см;  $n_{фр.бар} = 430$  хв.<sup>-1</sup>

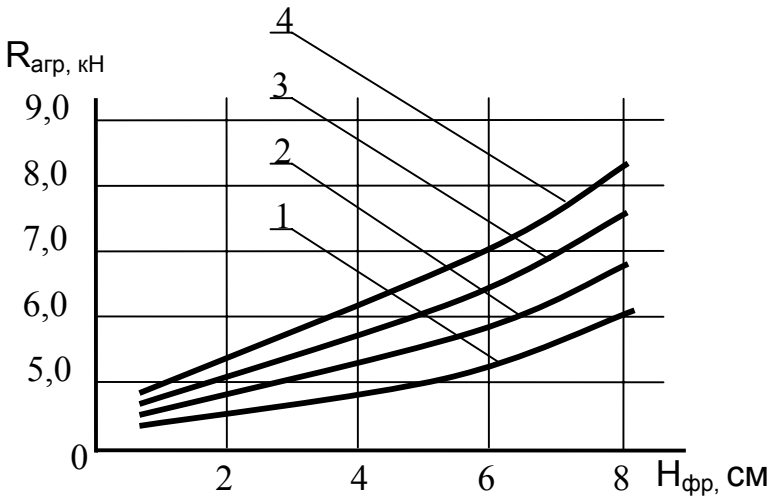


Рис. 15. Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача  $R_{агр}$  від глибини обробітку  $H_{фр}$ :  
 1 –  $V_п = 1.0$  м/с; 2 –  $V_п = 1.5$  м/с; 3 –  $V_п = 2.0$  м/с;  
 4 –  $V_п = 2.4$  м/с;  $n_{фр.бар} = 430$  хв.<sup>-1</sup>

Після проведення теоретичного аналізу і пошукових відсіюючих експериментів виявлені параметри, які найбільше впливають на виконання технологічного процесу: глибина обробітку  $H_{фр}$ , частота обертання фрезерного барабана  $n_{фр.бар}$ , швидкість руху агрегату  $V_a$ . Отже, основні досліді проводили по плану трьохфакторного експерименту (ПФЕ)  $2^3$ .

Одночасно з якісною оцінкою роботи експериментальної установки проводилась енергетична оцінка – визначення потужності на привод подрібнювача  $N_n$  та потужності на агрегування  $N_a$  в цілому. Для цього за допомогою електронного вимірювального комплексу реєструвались покази тензодатчиків тиску масла в нагнітальній  $P_n$  та зливній  $P_z$  магістралях гідроприводу подрібнювача, частота обертання ведучого вала подрібнювача  $n_n$ , а також тяговий опір експериментальної установки  $R_a$ . За аналітичними залежностями визначались такі параметри: крутний момент на привод подрібнювача  $M_{кр}$ , потужність на привод подрібнювача  $N_n$  та загальна потужність на агрегування  $N_a$ .

Загальна потужність на агрегування визначалась за спеціальною методикою і складалась з потужності на привод подрібнювача та потужності на пересування експериментальної установки, що залежить від поступальної швидкості руху машини та тягового опору. Ці показники реєстрували електронним вимірювальним комплексом.

Кількість вимірювань для забезпечення заданої надійності дослідів визначали згідно таблиці В.І. Романовського [9, 11, 12]. Повторюваність дослідів була п'ятикратна. Перевірку гіпотези однорідності дисперсій проводили за критерієм Кохрена, значимість коефіцієнтів регресії – за критерієм Стюдента, перевірку адекватності моделі – за критерієм Фішера.

У результаті опрацювання експериментальних даних для потужності на привод подрібнювача було отримано рівняння регресії в кодованій формі:

$$y_4 = 5,7562 + 1,1053X_2 + 2,3212X_3 - 0,4346X_1X_2 + + 0,5124X_2X_3 - 0,5568X_2^2, \quad (4)$$

$$\text{де } x_1 = \frac{V_n - 2,0}{0,5}, \quad x_2 = \frac{H_{фр} - 6,0}{2,0}, \quad x_3 = \frac{n_{фр.бар} - 320}{130}.$$

Після переходу від кодованих позначень факторів до натуральних рівняння регресії набуло вигляду:

$$N_n = -8,1654 + 2,1534 \cdot V_n + 4,6531 \cdot H_{фр} + 0,05437 \cdot n_{фр.бар} - 1,1246 \cdot V_n \cdot H_{фр} + 0,01954 \cdot H_{фр} \cdot n_{фр.бар} - 0,7495 \cdot H_{фр}^2 \quad (5)$$

Перевірка згідно критерію Фішера вищевказаних залежностей дозволяє стверджувати, що гіпотеза про адекватність моделі при п'ятивідсотковому рівні значущості не відкидається.

Отримане рівняння досліджувалось за допомогою програмного пакета MATLAB 6. Поверхня відгуку та графік ліній однако-вих значень наведено на рис. 16 та 17.

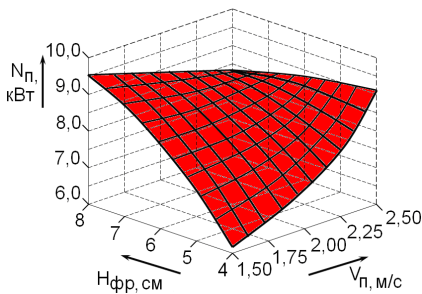


Рис. 16. Залежність потужності на привод подрібнювача  $N_n$  від робочої швидкості  $V_n$  та глибини обробітку  $H_{фр}$

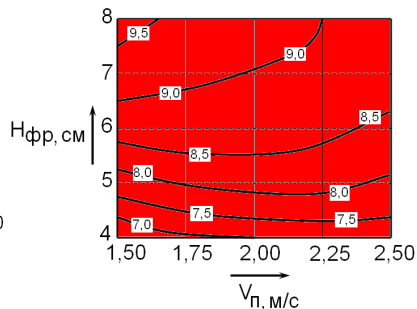


Рис. 17. Графік ліній однакових значень для потужності на привод подрібнювача  $N_n$

Одержане рівняння описує поверхню тривимірного просторового тіла. Допустимими значеннями факторів для цих параметрів оптимізації будуть ті, координати яких потрапляють всередину об'єму відповідних їм тіл.

Побудова залежності дала змогу вивести раціональні режими роботи подрібнювача:  $H_{фр} = 4-8$  см,  $n_{фр.бар} = 275...450$  хв.<sup>-1</sup>,  $V_n = 4,5...6,5$  км/год. Аналізуючи рівняння (5) та рис. 16, видно, що

найбільший вплив на потужність на привод подрібнювача має частота обертання фрезерного барабана та поступальна швидкість.

Новизну технічних рішень підтверджено деклараційними патентами України: № 29342, № 31514, № 33819, № 33829, № 90538А, № 90535А, № 93012 [13-19].

**Висновки і пропозиції.** 1. Для підтвердження результатів теоретичних досліджень, а також проведення основних дослідів розроблена і виготовлена лабораторно-польова експериментальна установка комбінованого подрібнювача.

2. Для автоматизації реєстрації показників та зменшення затрат праці на опрацювання результатів вимірювання розроблено і виготовлено електронний вимірювальний комплекс та програмне забезпечення, яке дає змогу реєструвати показники роботи експериментальної установки: частоту обертання ведучого вала подрібнювача, швидкість руху, потужність на привод подрібнювача, а також тяговий опір експериментальної установки.

3. Виготовлено пристрої для зняття характеристик у процесі роботи експериментальної установки.

4. Складений алгоритм розрахунку і планування повного багатофакторного експерименту дає змогу дослідити вплив швидкості подрібнювача, глибини обробітку та частоти обертання фрезерного барабана на потужність на привод подрібнювача.

5. Визначені результати роботи подрібнювача, що показали динаміку впливу технологічних параметрів та режимів роботи на якісні показники.

6. Визначено фактори, які найбільше впливають на показники якості роботи подрібнювача: глибина обробітку  $H_{фр.}$ , частота обертання фрезерного барабана  $n_{фр.бар.}$ , швидкість руху агрегату  $V_a$ . Виконання повного факторного експерименту дало змогу отримати аналітичну залежність потужності на привод (5) від вказаних факторів.

7. У результаті опрацювання експериментальних даних обґрунтовані раціональні значення наступних режимів роботи подрібнювача: глибина обробітку  $H_{фр.} = 6-8$  см, частота обертання фрезерного барабана  $n_{фр.бар.} = 275...450$  хв<sup>-1</sup>, швидкість руху агрегату  $V_a = 4,5...6,5$  км/год.

8. Для обґрунтування приводу експериментальної установки подрібнювача досліджено залежність потужності на привод від його конструктивних параметрів та режимів роботи. Встановлено, що в області раціональних режимів роботи подрібнювача потужність на його привод  $N_n$  становить 8,5...9,5 кВт.

### Список використаних джерел

1. Булавин Н.И. Обработка почвы в современном земледелии / Н.И. Булавин // Сб. науч. тр. – Воронеж, 1985. – С. 90-101.
2. Панов И.М. Основные пути снижения энергозатрат при обработке почвы / И.М. Панов, Н.М. Орлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 8. – С. 27-30.
3. Антонов А.П. Комбинированные сельскохозяйственные агрегаты. Альбом-справочник / Антонов А.П., Кабаков Н.С., Щербина П.А., Гаврюшин В.И. – М. : Россельхозиздат, 1975. – 183 с.
4. Пат. 4522267, США, МКИ А01В 49/04. Shredder / plow combination / Lew son Richard A., Ronald D. Wetherell. – № 448937; Заявл. 13.12. 82; Опубл. 11.06. 85; НКИ 172/28.
5. Кочев В.И. Комбинированные почвообрабатывающие машины / В.И. Кочев // Техника в сельском хозяйстве. – 1979. – № 12. – С. 13-14.
6. А.с. 471075, СССР, МКИ А01В49/02. Почвообрабатывающий агрегат / Спирин А.П., Яцук Е.П., Марченко О.С., Грицик М.И., Никонов П.К., Боронихин Г.И., Орлов В.П., Поляков А.Г., Пархоменко В.А., Шестопалов В.Г., Тарасов В.П. – № 1913771; заявл. 26.04. 73; опубл. 25.05. 75, Бюл. № 19.
7. А.с. 523653, СССР, МКИ А01В49/02, А01В31/00. Почвообрабатывающая машина / Жук А.Ф., Кабаков Н.С., Гогунский Г.Г., Гильштейн П.М., Сонис З.Г., Марченко О.В., Холяво Ч.А., Кирюхин В.Г., Панов И.М. – № 1907397; заявл. 13.04. 73; опубл. 05.08. 76, Бюл. № 29.
8. Ловкис З.В. Гидроприводы сельскохозяйственных машин / Ловкис З.В. – Минск: Ураджай, 1986. – 216 с.
9. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.

10. Мельников В.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / Мельников В.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. – Л. : Колос, 1972. – 194 с.

11. Налимов В.В. Статистические методы планирования экспериментов / Налимов В.В. – М. : Наука, 1970. – 378 с.

12. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 207 с.

13. Пат. 29342, Україна, МПК А 01 В 33/00. Фрезерний подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Говоров О.Ф. – № u200710230; заявл. 14.09. 2007; опубл. 10.01. 2008, Бюл. № 1.

14. Пат. 31514, Україна, МПК А 01 В 33/00. Подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Говоров О.Ф. – № u200714212; заявл. 18.12. 2007; опубл. 10.04. 2008, Бюл. № 7.

15. Пат. 33829, Україна, МПК А 01 В 33/00. Комбінований культиватор-подрібнювач / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № u200803382; заявл. 17.03. 2008; опубл. 10.07. 2008, Бюл. № 13.

16. Пат. 33819, Україна, МПК А 01 В 33/00 Комбінований фрезерний культиватор-подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № u200803323; заявл. 17.03. 2008; опубл. 10.07. 2008, Бюл. № 13.

17. Пат. 90538, Україна, МПК А 01 В 33/00. Спосіб звільнення поля від рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Яковенко А.І. – № a2008 04264; заявл. 04.04. 2008; опубл. 11.05. 2010, Бюл. № 9.

18. Пат. 90535, Україна, МПК А 01 В 49/02 (2006.01). Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № a2008 03070; заявл. 11.03. 2008; опубл. 11.05. 2010, Бюл. № 9.

19. Пат. 93012, Україна, МПК (2014.01) А01 В33/00. Вирівнювальний антиерозійно-екологічний ґрунтообробний пристрій / Корчак М.М., Андреев О.А. – № u2014 04543; заявл. 28.04. 2014; опубл. 10.09. 2014, Бюл. №17.

**Аннотация.** Проведён анализ технологий и конструкций машин для возделывания почвы, засоренной растительными остатками толстостебельных культур. Разработана и изготовлена экспериментальная установка измельчителя растительных остатков толстостебельных культур и описан принцип её работы.

Разработан и изготовлен электронный измерительный комплекс и программное обеспечение, которые дают возможность регистрировать и обрабатывать показатели работы экспериментальной установки.

Проведены экспериментальные исследования и определено влияние основных параметров на качественные и энергетические показатели. Выполнение полного факторного эксперимента дало возможность получить аналитическую зависимость мощности на привод от основных влияющих факторов.

Исследовано зависимость мощности на привод измельчителя от конструктивных параметров и режимов работы.

Проведен анализ энергетических показателей работы фрезы и измельчителя в целом.

**Ключевые слова:** измельчитель, растительные остатки толстостебельных культур, почва, электронный измерительный комплекс, энергетические показатели работы, многофакторный эксперимент, результаты экспериментальных исследований.