УДК 631.311:001.8

Шустік Л., канд. техн. наук, **Степченко С.,** наук. співроб., **Мариніна Л.,** канд. техн. наук, **Ковтун О.,** наук. співроб.
(УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

Агрегат ґрунтообробний ротаційний АГР-4,2 – багатофункційна ефективна машина для фермера

У статті представлено агрегат ґрунтообробний ротаційний АГР-4,2 виробництва СТВФ «Агрореммаш» (м. Біла Церква), який призначений для суцільного і міжрядного весняного обробітків посівів різних культур. Наведено технічний опис основних вузлів і механізмів АГР-4,2 та опис технологічного процесу. Представлено методику польових досліджень і визначено досліджувані чинники, які залежать від швидкості руху агрегата: повнота руйнування ґрунтової кірки (%), глибина обробітку (см). Визначено умови роботи агрегата та отримано результати досліджень. Встановлено, що за поверхневого зволоження ґрунту на рівні 5,5 мм, яке відповідає10-хвилинній грозовій зливі, зі збільшенням швидкості руху пропорційно зростає і глибина розпушування. За поверхневого зволоження ґрунту на рівні 11,0 мм, що відповідає 20-хвилинній грозовій зливі, відмічено незначне зростання глибини на швидкості руху 10 км/год, тобто загалом агрегат забезпечував стабільність глибини. Агрегат тримає глибину в межах відхилення (3,5 – 11,1) % на різних фонах і за різної товщини кірки. Це свідчить про те, що агрегат руйнує тонку і товсту кірку на фоні «чорнозем з вапняковою кіркою» легко на швидкості (5-15) км/год, а на швидкостях близько 15 км/год та вище візуально спостерігається інтенсивне пилоутворення. Рекомендовано використовувати агрегат ґрунтообробний ротаційний АГР-4,2 на швидкостях від 10 км/год, що може забезпечити наробіток близько 50 га за зміну.

Ключові слова: агрегат ґрунтообробний ротаційний, структурний аналіз, диск зубчастий, наконечник зуба, мікродеформація, мікрооб'єм винесеного грунту, ґрунтова кірка, глибина розпушування, зволоження, грунтові грудкоподібні агрегати.

Постановка проблеми. На початку весняно-польових робіт перед аграріями гостро постає завдання вчасного проведення технологічних заходів із закриття вологи ґрунту, підрізання бур'янів та руйнування ґрунтової кірки на посівах сільськогосподарських культур. Навесні всі капіляри й некапілярні проміжки в ґрунті заповнені водою. Щоб зберегти її, потрібно верхній шар ґрунту подрібнити до дрібногрудкуватого стану, порушити капіляри і цим запобігти випаровуванню вологи. Її запаси стануть потужним чинником, який сприятиме розвитку кореневої системи культури, а отже, створить основу якісного формування врожаю. У посушливий період руйнація кірки – це також захід створення умов адсорбування води з повітря. Крім того, виникає проблема – як на обробленому ґрунті і на посівах культурних рослин застосувати механічне знищення бур'янів. Для реалізації цих заходів виконують операцію боронування ґрунту із застосуванням ротаційних агрегатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Машинобудівний ринок інтенсивно пропонує виробнику різні конструкції ротаційних агрегатів, загалом схожих за принципом дії. Однак відчувається певний інформаційний дефіцит відносно роботи таких машин. Наявна інформація стосується, в основному, ринкової привабливості, порівняння експлуатаційних досліджень тощо. Ця робота є спробою через структурний аналіз вийти на технологічні особливості роботи.

Мета дослідження: технічна експертиза конструкції агрегата, визначення значень показників якості технологічного процесу та експлуатаційно-технологічних показників.

Об'єкт дослідження: агрегат ґрунтообробний ротаційний АГР-4,2 та його складові.

Рис. 1 – Загальний вигляд агрегата грунтообробного ротаційного АГР-4,2

Виклад основного матеріалу. Агрегат ґрунтообробний ротаційний АГР-4,2 (далі – агрегат) (рис.1) виробництва СТВФ «Агрореммаш» (м. Біла Церква) призначений для суцільного і міжрядного обробітків посівів різних культур (зернових, просапних, бобових, овочів тощо), для боротьби з бур'янами, руйнування грунтової кірки, розпушування поверхні поля, насичення грунту повітрям, збереження вологи та підготовки грунту під посів.

Агрегат складається із таких основних вузлів та

© Шустік Л., Степченко С., Мариніна Л., Ковтун О. 2018

механізмів: рами, навісного пристрою, опорних стійок та пружинних секцій з робочими органами – зубчастими дисками.

Рама являє собою зварну конструкцію, виготовлену з поперечної балки квадратного перерізу замкнутого типу. До рами на скобах закріплюються робочі органи.

Навісний пристрій – триточковий, легко обслуговуваний, складається з двох нижніх і одного центрального розкосів. Два нижніх розкоси з'єднуються з нижніми тягами навіски трактора, а центральний – з центральним гвинтом навіски трактора.

Опорні стійки призначені для утримування агрегата під час його зберігання та для унеможливлювання перекидання після від'єднання його від енергозасобу.

Секції робочих органів закріплені на граділях дугоподібної форми та обладнані пружинним пристроєм, що дозволяє регулювати ступінь притискання і, відповідно, заглиблення зубчастих дисків у ґрунт. Секція складається з двох зубчастих дисків «тандемного типу». Вони мають точку коливання на шарнірно встановленому важелі. Попарне кріплення дисків на шарнірно встановленому важелі забезпечує хороше копіювання мікрорельєфу та перерозподіл зусиль для однорідного за глибиною проникнення зубів у ґрунт.

Кожен зубчастий диск обертається на роликовому підшипнику і містить 16 металевих зубів із наконечниками. Наконечник – це трикутна пластина зі зносостійкої сталі, зігнута по товщині, формуючи дві площини. Така конфігурація згину дозволяє під час занурення зуба в ґрунт забезпечити активний вплив на останній, як результат швидкості і форми зуба.

Залежно від напрямку обертання зубчастого диска (що досягається поворотом останнього на 180˚ відносно вертикальної осі) можна досягти пасивного або щадного режимів роботи зуба і, як наслідок, агрегата загалом.

Рис. 2 – Загальний вигляд агрегата ґрунтообробного ротаційного АГР-4,2 під час виконання технологічного процесу

Технологічний процес відбувається так (рис.2): під час руху агрегата по полю його підпружинені секції з зубовими робочими органами заглиблюються в грунт. Завдяки формі та конфігурації наконечника зубового робочого органу відбувається інтенсивне руйнування наявних ґрунтових агрегатів з формуванням мікродеформацій поверхневого шару та виносом з нього мікрооб'ємів грунту. Залежно від глибини проникнення наконечника, його швидкості руху та агрофону можливо досягти виконання різних технологічних функцій (руйнації кірки, пошкодження в поверхневому шарі сходів бур'янів, утворення пористої структури поверхневого шару ґрунту для аерації та адсорбції поверхневої вологи – «сухий полив»).

За результатами випробувань встановлена технічна характеристика агрегата, яка подана в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічна характеристика агрегата грунтообробного ротаційного АГР-4,2.

№ пункту	Зміст пункту	Значення показника за даними випробувань
1	Тип машини	Навісна
2	Конструкційна ширина захвату, м	4,2
3	Агрегатування (клас трактора)	1,4 (трактор Беларус 892)
4	Конструкційна маса, кг	950
5	Кількість персоналу, осіб	1
6	Дорожній просвіт, мм	330
7	Габаритні розміри в робочому положенні, мм: - довжина - ширина - висота	 1240 4400 1200
8	Габаритні розміри в транспортному положенні, мм: - довжина - ширина - висота	 1240 4400 1650
9	Кількість пружинних стійок, шт.	19
10	Кількість зубчастих дисків, шт.	38
11	Діаметр зубчастого диска по висоті зуба, мм	600
12	Висота зуба, мм	130
13	Висота наконечника, мм	70

На основі структурного аналізу встановлено вплив робочих органів агрегата – зубчастих дисків на грунт.

Елементи конструкції зубчастого диска, механізми взаємодії зубів з наконечниками у грунті та формування їхніх слідів показано на рисунках 3-5.

Рис. 3 – Структура будови зубчастого диска

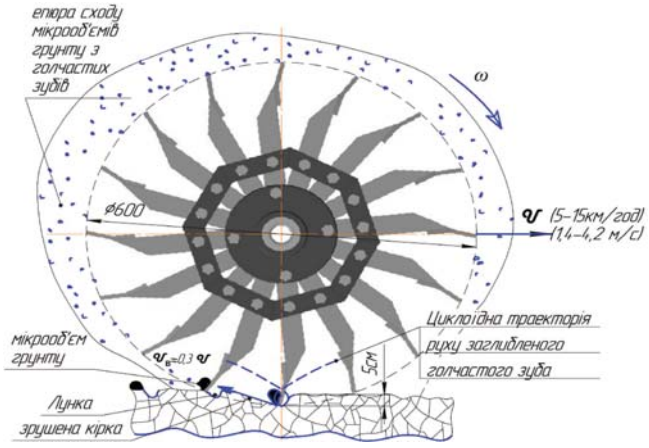
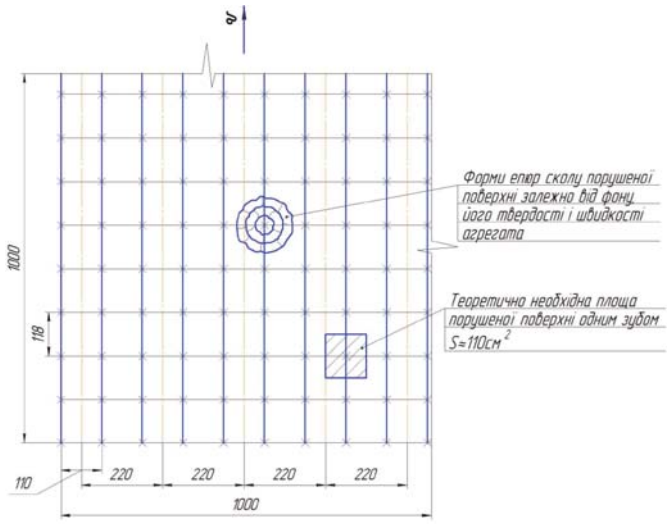
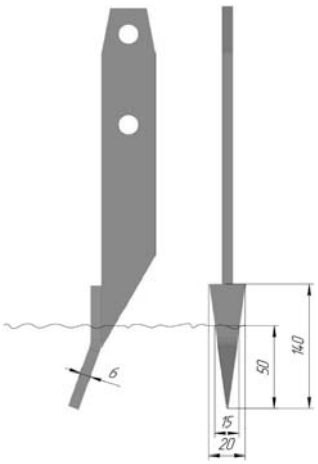


Рис. 4 –Взаємодія зубів дисків з ґрунтом



а)



б)

Рис. 5 – Конструкційно-розрахункова схема формування слідів зубчастими дисками на площині: а) схема; б) глибина входження зубів

Розрахунково зубчасті диски по ходу борони на кожному квадратному метрі площі формують близько 90 мікродеформацій. На надмалій швидкості загострені зуби контактують, залежно від глибини їх проникнення в ґрунт, з невеликою часткою поверхні (наприклад на глибинах від 0,5 до 5 см з часткою поверхні не більше одного відсотка - 0,23-0,8 %) і руйнація поверхневого шару буде незначною у вигляді слідів. Значне порушення поверхні ґрунту здійснюється за умов швидкого обертання дисків, що стає можливим на швидкостях у межах 5 км і більше, коли стає відчутним динамічно ударний характер контакту зубів з ґрунтом. При цьому швидкість виносу його мікрооб'ємів за таких параметрів зубчастих дисків сягає 20-30 % від швидкості агрегата V.в≈0,2...0,3V

Теоретично кожна мікродеформація для повного знищення кірки має складати близько 110 см² порушеної поверхні S глибиною H, що є наслідком проникнення зубів на глибину попереднього обробітку. Розмір порушеної площі S є похідною від твердості фону, швидкості агрегата V, конструкційних особливостей зубців і параметрів зубчастого диска.

Виходячи з експертного оцінювання, агрегат повинен порушити не менше 90 % ґрунтової поверхні та тримати глибину проникнення зубців на рівні копіювання цього параметра попередньо обробленого ґрунту з відхиленням близько 5 %.

Отже, ключовими досліджуваними чинниками є повнота руйнування ґрунтової кірки (%), глибина обробітку (см), що залежать від швидкості руху агрегата.

Апробація та польові дослідження. Апробація агрегата на щільних ґрунтах показала, що останні, твердість яких перевищує 4 МПа, не можуть бути характерним фоном для цього агрегата, оскільки зубчастий диск майже не проникає у ґрунт і лише залишає сліди у вигляді проколів (рис.6) з виносом мікрообємів без порушення значних площ поверхні, а також засвідчила індивідуальний характер роботи окремих дисків.

Рис. 6 – Реальний вигляд слідів, сформованих зубчастими дисками агрегата на ущільнений ґрунт

Для перевірки роботи агрегата в польових умовах на характерному фоні передбачалась попередня підготовка фону – грунтової кірки, для чого фрагмент поля – ділянку завширшки 5 м та завдовжки кратною трьом проходам агрегата – ущільнювали котком та штучно зволожували, імітуючи рівень опадів 5,5 мм та 11,0 мм, що рівнозначно дії відповідно 10- або 20-хвилинних злив, що протягом дня за 30°С навколишнього повітря дозволяє отримати кірку різної товщини.

а)

б)

Рис. 7 – Вигляд поверхні поля з наявною грунтовою кіркою та після проходу агрегата зі швидкістю: а) 5 км/год, б) 15 км/год (на поверхні домінують грудкоподібні ґрунтові агрегати)

У лабораторно-польових умовах змінними чинниками вибрано різні ґрунтові фони, рівні їхньої вологості та змінна швидкості (див. табл. 3). На рисунку 7 та 8 показано характер порушення ґрунтової поверхні за умов зміни швидкості агрегата.

Перевірка роботи агрегата на швидкості 15 км/год та вище засвідчила в цих умовах випробувань інтенсивне пилоутворення на поверхні ґрунту (рис.8).

Повнота руйнації оцінювалась накладанням на

ґрунт сітки площею 1 м², яка містила 400 комірок та встановленням на цьому статистичному масиві зрушених і не зрушених комірок (рис.9)

Рис. 8 – Вигляд поверхні поля з порушеною грунтовою кіркою після проходу агрегата зі швидкістю 15 км/год і вище (домінують пиловидні частини грунту)

Рис. 9 – Загальний вигляд процедури обліку кількості зруйнованих комірок кірки на поверхні грунту

Умови роботи агрегата ґрунтообробного ротаційного АГР-4,2 показані в таблиці 2.

Оцінка показників якості роботи агрегата ґрунтообробного ротаційного АГР-4,2 показана в таблиці 3.

Таблиця 3 – Оцінка показників якості роботи агрегата ґрунтообробного ротаційного АГР-4,2

Показник *	Значення показника за даними								
	за НД**	випробувань							
Робоча ширина захвату, м	-	4,2							
Робоча швидкість руху, км/год, з рівнем зволоження, мм	Не менше 5,0	5		10		15		5	10	15
		5,5	11,0	5,5	11,0	5,5	11,0	11,0	11,0	11,0
Глибина розпушування: - середня, см	6-14	7,9	6,8	8,3	7,1	8,8	6,8	8,7	9,0	8,7
- середньоквадратичне відхилення, ± , см	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	1,5	1,5
- коефіцієнт варіації, %	-	17,6	17,3	14,7	17,5	12,7	15,9	13,8	16,8	17,0
Руйнування ґрунтової кірки, %	Не менше 90,0	96,2	94,2	98,7	93,7	96,2	91,5	84,0	97,0	93,7
* - згідно СОУ 74.3-37-155:2004 ** - вихідні вимоги Вр 46.16.04.33-97										

Експериментально-польовий дослід проводився на трьох варіантах зволоження ґрунту (1 – 5,5 мм; 2 – 11,0 мм, тип ґрунту – чорноземний з вапняковою кіркою; 3 – 11,0 мм, чорнозем звичайний) і на трьох швидкостях: 5 км/год, 10 км/год та 15 км/год (за НД – більше 5 км/год).

Таблиця 2 – Умови роботи агрегата ґрунтообробного ротаційного АГР-4,2

Показник	Значення показника			
	за НД*	за даними випробувань		
Культура (агрофон)	Зернові, просапні, бобові, овочеві і т.д.	Пар		
Попередній обробіток	-	Дискування весняне		
Вид роботи	Суцільний та міжрядний обробіток ґрунту з метою знищення бур'янів, руйнування кірки, розпушування поверхні поля та підготовки ґрунту під посів	Суцільний обробіток з метою руйнування ґрунтової кірки		
Агрегатування, клас трактора	1,4-2,0	Беларус 892		
Тип ґрунту і назва за механічним складом	За картою ґрунтів господарства	Чорноземи легкосуглинкові з вапняковою кіркою		Чорноземи типові середньогумусні легкосуглинкові
Щільність опадів, мм		5,5	11,0	11,0
Варіант		I	II	III
Рельєф	Схил до 7°	Рівний		
Мікрорельєф	Вирівнений	Вирівнений		
Вологість ґрунту за шарами, %:	14-30			
0-5,0 см		13,4	24,5	30,9
5,1-10,0 см		18,1	24,6	39,8
10,1-15,0 см		19,7	33,5	39,4
Твердість ґрунту за шарами, МПа:	До 4,0			
0-5,0 см		078	1,23	1,12
5,1-10,0 см		1,42	2,29	2,38
10,1-15,0 см		1,99	2,37	2,57
Засміченість бур'янами, шт./м²		1,9	2,0	
Висота бур'янів, см	До 25	10,1	10,1	
*- вихідні вимоги Вр 46.16.04.33-97				

Умови проведення випробувань ротаційного агрегата АГР-4,2 були задовільними. Вологість і твердість ґрунту становили відповідно: 1 – (13,4-19,7) % та (0,78-1,99) МПа; 2 – (24,5-33,5) % та (1,23-2,37) МПа; 3 – (30,9-39,4) % та 1,12-2,57 МПа (за НД – 14-30 % та 4,0 МПа). Показник вологості ділянки з рівнем зволоження (11,0 мм – варіант 3) перевищував допустиме значення.

За результатами агротехнічної оцінки якості роботи агрегата на різних швидкостях отримано такі дані.

Глибина розпушування на різних швидкостях за варіантами:

5 км/год: (1,0 – 7,9) см, (2,0 – 6,8) см, (3,0 – 8,7) см; 10 км/год: (1,0 – 8,3) см, (2,0 – 7,1) см, (3,0 – 9,0) см; 15 км/год: (1,0 – 8,8) см, (2 – 6,8) см, (3 – 8,7) см, що відповідає вимогам НД (6-14) см.

Слід відмітити, що за зволоження 5,5 мм (варіант 1) зі збільшенням швидкості руху пропор-

ційно зростає і глибина розпушування. За зволоження 11,0 (варіанти 2 і 3) незначне зростання глибини відмічено на швидкості руху 10 км/год, тобто загалом агрегат забезпечував стабільність глибини.

Показники агрооцінювання, наведені в табл.3, інтерпретовано графічно на рис. 10 та 11. При цьому на рис. 10 показано взаємозв'язок глибини обробітку зі швидкістю руху, а на рис. 12 – взаємозв'язок останнього чинника з повнотою руйнування кірки.

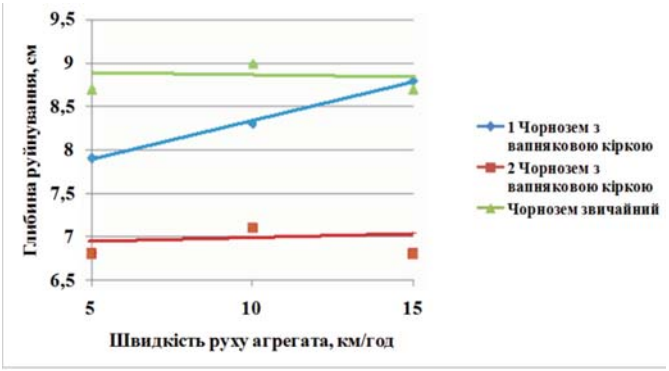


Рис. 10 - Залежність глибини руйнування кірки від швидкості руху агрегата

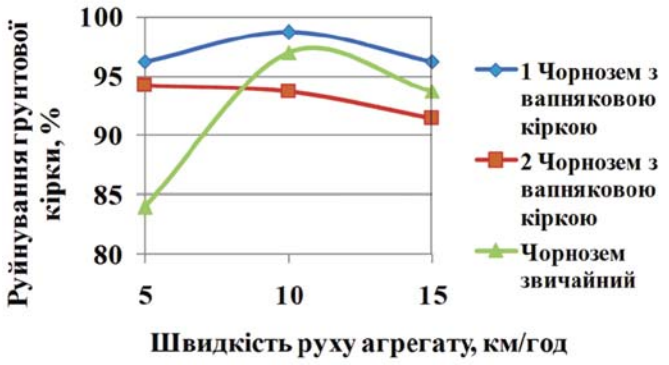


Рис. 11 – Залежність повноти руйнування ґрунтової кірки від швидкості руху агрегата

Агрегат утримує глибину в межах відхилення (3,5 – 11,1) % на різних фонах і різній товщині кірки. Причому, вищі відхилення наявні у перезволожених нижніх шарів. Можна прогнозувати, що з їх підсиханням стабільність глибини буде стійкішою.

Руйнування ґрунтової кірки, яке є одним з базових критеріїв оцінювання ротаційного агрегата, свідчить про те, що тонка і товста кірки на фоні «чорнозем з вапняковою кіркою» (яка є крихкою через малий вміст в'язкого компонента – гумусу) легко руйнується на швидкості (5-15) км/год. Однак із наближенням до швидкості 15 км/год візуально спостерігається інтенсивне пилоутворення.

Для чорнозему звичайного зі зв'язаною ґрунтовою кіркою якість кришення тісно корелює зі швидкістю агрегата. При цьому найповніше руйнування відповідає швидкості, вищій за 10 км/год.

Руйнування кірки на швидкості 25 км/год може бути причиною вітрової ерозії ґрунтової поверхні.

Рекомендується процес руйнування кірки проводити на швидкостях від 10 км, що може забезпечити наробіток близько 50 га за зміну. Обмежувальним чинником може бути надмірне пилоутворення.

Висновки. Під час проведення функційних випробувань агрегата ґрунтообробного ротаційного АГР-4,2 [1], якому притаманні параметри зубчастого диска, конструкційним аналізом встановлено базові оцінювальні показники – глибина обробітку та повнота руйнування ґрунтової кірки.

Агрегат утримує глибину з відхиленням 3,5 – 11,1% на різних фонах і різній товщині кірки. Причому вищі відхилення є похідною перезволожених нижніх шарів. Можна прогнозувати, що з їх підсиханням стабільність глибини буде стійкою, що є сприятливим для руйнації кірки, пошкодження в поверхневому шарі бур'янів без негативного впливу на культурні рослини, утворення пористої структури поверхневого шару для аерації та адсорбції повітряної вологи.

Руйнування ґрунтової кірки, яке є одним з базових критеріїв оцінювання ротаційного агрегата, свідчить, що тонка і товста кірки на фоні «чорнозем з вапняковою кіркою» (яка є крихкою через малий вміст в'язкого компонента – гумусу – (з порушенням достатніх за експертним оцінюванням площі грунтової поверхні, яка має бути не менше 90 %) легко руйнується на швидкості (5-15) км/год. Однак на підвищених швидкостях, близько 15 км/год і вище, візуально спостерігається інтенсивне пилоутворення.

Для чорнозему звичайного зі зв'язаною грунтовою кіркою якість кришення тісно корелює зі швидкістю агрегата. При цьому найбільш повне руйнування відповідає швидкості понад 10 км/год, вище чого фіксується пилоутворення.

Додатковий дослід руйнування кірки за таких умов на швидкості 25 км/год показав різке збільшення утворення пиловидних структур.

Загалом можна зробити висновок, що агрегат ґрунтообробний ротаційний завдяки тандемному розміщенню дисків здатний забезпечити глибину обробітку, а форма зуба на швидкості більше 10 км/год надає можливість руйнуванню більше 90 % ґрунтової кірки, забезпечуючи обробіток близько 50 га за зміну. За такої умови обмежувальним чинником може бути лише надмірне подрібнення ґрунтових агрегатів.

Література

1. Протокол функційних випробувань № 01-16-2017. Агрегат ґрунтообробний ротаційний АГР 4,2, типорозмірного ряду АГР-3,5; АГР-4,2.

Аннотация. *В статье представлен агрегат почвообрабатывающий ротационный АГР-4,2 производства СТВФ «Агрореммаш» (г. Белая Церковь), который предназначен для сплошной и междурядной весенней обработки посевов различных культур. Приведено техническое описание основных узлов и механизмов АГР-4,2 и описание технологического процесса. Представлена методика полевых исследований и определены исследуемые факторы, которые зависят от скорости движения агрегата: полнота разрушения почвенной корки (%), глубина обработки (см). Определены условия работы агрегата и получены результаты исследований. Установлено, что при поверхностном увлажнении почвы на уровне 5,5 мм, которое соответствует 10-минутному грозовому ливню, с увеличением скорости движения пропорцио-*

нально растет и глубина рыхления. При поверхностном увлажнения почвы на уровне 11,0 мм, что соответствует 20-минутному грозовому ливню, отмечен незначительный рост глубины на скорости движения 10 км / ч, то есть агрегат обеспечивал стабильность глубины. Агрегат удерживает глубину в пределах отклонения (3,5 - 11,1)% на разных фонах и при разной толщине корки. Это свидетельствует о том, что агрегат разрушает тонкую и толстую корку на фоне «чернозем с известняковой коркой» легко на скорости (5-15) км / ч, а на скоростях около 15 км / ч и выше визуально наблюдается интенсивное пылеобразование. Рекомендуется использовать агрегат почвообрабатывающий ротационный АГР-4,2 на скоростях от 10 км / ч, что может обеспечить наработку около 50 га за смену.

Summary. *In the article the soil cultivating rotational АГР-4,2 unit made by "Agroremmash" company (Bila Tserkva) is represented, which is intended for continuous and inter-row spring cultivating of different crops. The technical description of the main units and mechanisms of the АГР-4,2 and the description of the technological process is given. The method of field research is presented and the studied factors depend on the speed of the unit: the completeness of the destruction of the soil crust (%), the depth of cultivation (cm). The conditions of operation of the unit are determined and the results of researches are obtained. It was established that for surface soil moisture at 5.5 mm, which corresponds to a 10-minute storm shower, with increasing speed of motion, the depth of loosening increases proportionally. For surface soil moisture at a level of 11.0 mm which corresponds to a 20-minute storm shower, a slight increase in depth at a velocity of 10 km / h was noted, that is, the unit generally provided stability for depth. The unit maintains depth within the range (3.5 - 11.1)% for different backgrounds and for different thickness of the crust. This indicates that the unit destroys the thin and thick crust against the background of "black earth with limestone crust" easily at a speed (5-15) km / h, and at the speed of about 15 km / h and above visually intense dust formation is observed. It is recommended to use soil cultivating rotational АГР-4,2 unit at the speeds of 10 km / h, which can provide about 50 ha per shift productivity.*

Стаття надійшла до редакції 16 серпня 2017 р.