

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
зав. кафедрою СГМ
к.т.н., доцент
_____ Сергій ЛЕЩЕНКО
“ ____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

"Удосконалення безприводного робочого органу мульчувача
рослинних залишків"

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-22М-1.2
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____ Колодійчук Микола Іванович
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник проекту
доцент, канд.техн.наук
_____ Дмитро БОГАТИРЬОВ
« ____ » _____ 2024 р.
Рецензент Володимир ДУДІН

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнологічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 13 механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітньо - наукова програма ОНП 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

«__» _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Колодійчук Микола Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення безприводного робочого органу мульчувача рослинних залишків
2. Керівник роботи Богатирьов Дмитро Володимирович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 10.06.2024 р.
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи підвищення ефективності подрібнення рослинних решток на заданий розмір із найменш можливими витратами енергетичних ресурсів

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Богатирьов Д.В., доцент, к.т.н.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка та оформлення частин на основі матеріалів, зібраних під час переддипломних практик	05.03.2024 р.	
2.	Проведення необхідних розрахунків та оформлення «Наукова частина»	18.03.2024 р.	
3.	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділу «Інженерна частина»	21.04.2024 р.	
4.	Проведення необхідних розрахунків та оформлення розділів «Охорона праця», «Економічна частина», графічної частини роботи.	15.04.2024 р.	
5.	Нормоконтроль, рецензування, захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК кафедри СГМ	Згідно графіку	

Дата видачі завдання
«10» березня 2024 р.

Підпис керівника _____

Д.В. Богатирьов
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«10» березня 2024 р.

Підпис здобувача _____

М.І. Колодійчук
(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				<u>Заново розроблена</u>		
			КПА 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Документація по науковій</u>		
				<u>частині</u>		
A1			КПА 00.004 НЧ	Класифікація подріднювачів		
				рослинних решток	1	
A1			КПА 00.006 НЧ	Дослідна частина	1	
				<u>Документація по інженерній</u>		
				<u>частині</u>		
A0			КПА 00.000 СБ	Коток-подріднювач КП-4.5	1	
A1			КПА 03.000 СБ	Коток-подріднювача	1	
A3			КПА 07.208	Тримач	1	
A3			КПА 06.003	Пружина	1	
A4			КПА 07.043	Пластина	1	
A3			КПА 03.601	Ніж	1	

					КПА 00.000 ВП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Колодійчук			Відомість	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Богатирьов					1	2
Н. контр.		Мачок				ЦНТУ, зр. ГМ(СМ)19М-1,9		
Затв.		Лещенко						

ВСТУП

Останнім часом в Україні з'явилися нові та незвичайні для місцевих аграріїв технології рослинництва. Першим кроком до змін стало застосування імпортової техніки, зокрема комбайнів, які залишали на полях більшу частину не зернової маси врожаю. Це дозволило підвищити ефективність збирання врожаю та скоротити час жнив, але виникла проблема обробки рослинних залишків. Найпростіший вихід для українських виробників полягав у масовому застосуванні дискових ґрунтообробних агрегатів. Однак, такий підхід призвів до руйнування верхнього родючого шару ґрунту, змінання агрономічно цінних структур, перетворення їх на безструктурний пил, ущільнення нижніх шарів ґрунту, погіршення аерації та інфільтрації, а також зниження запасів вологи в нижніх горизонтах.

За кордоном у таких випадках використовують спеціальні мульчувачі рослинних залишків (МРЗ). В Україні подібна техніка мало відома, дорога і вважається виробниками додатковими витратами, які можна уникнути. Крім того, через конструктивні особливості цих машин, у традиційних українських агротехнологіях вони не завжди забезпечують належну якість мульчування рослинних залишків.

Наприклад, на полях Кіровоградської області значне місце в сівозмінах займає соя, яка вирощується на третині або четвертій частині загальних посівних площ великих господарств. Багаторічні дослідження показали, що маса зерна сої становить лише 40-50% від загальної маси врожаю, решта ж залишається у вигляді соломи. Неефективне використання цих залишків призводить до значних втрат. Встановлено, що мульчовані залишки сої, використані як добриво, підвищують врожайність: сої на 2,9%, ячменю на 2,4%, пшениці на 7%, кукурудзи на 5% і соняшнику на 5,2%.

					ПКА 00.000 ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.	Колодійчук				Пояснювальна записка						Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Богатирьов												2	
Н. контр.	Мачок													
Затв.	Лещенко													
					ЦНТУ, ГМ-22М-2									

Багато вітчизняних аграріїв спалюють рослинні залишки прямо на полях, що призводить до втрат азоту, вуглеводів та погіршення мікрофлори ґрунту. Тим часом закордонні агровиробники протягом останніх десятиліть активно використовують не зернову частину сільськогосподарських культур для підвищення родючості ґрунту, одночасно зберігаючи та накопичуючи цінні агротехнічні агрегати у гумусовому шарі. Для виконання цих завдань застосовуються спеціальні машини – мульчувачі рослинних залишків (МРЗ).

Метою дослідження є підвищення ефективності мульчування рослинних залишків до заданого розміру з мінімальними енерговитратами. Об'єктом дослідження виступає процес мульчування рослинних залишків мульчувачем. Предметом дослідження є вплив параметрів мульчувача з горизонтальною віссю обертання робочих органів на ефективність подрібнення рослинних залишків. Ця магістерська робота спрямована на вдосконалення конструкції мульчувача коткового типу.

					ГКА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		3

Мульчувачі EURO TRIPLEX 800 мають робочу ширину захвату 8 метрів і можуть працювати на швидкості до 10 км/год, що забезпечує високу продуктивність при обробці великих площ. Потужність тракторів, які використовуються з цим мульчувачем, варіюється від 100 до 190 кВт. Завдяки таким характеристикам, ці машини забезпечують ефективне подрібнення та рівномірний розподіл рослинних залишків, що сприяє покращенню структури ґрунту та підвищенню його родючості.

Таким чином, мульчувачі рослинних залишків є важливими інструментами в сучасних агротехнологіях, які сприяють збереженню родючості ґрунту, покращенню мікрофлори та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

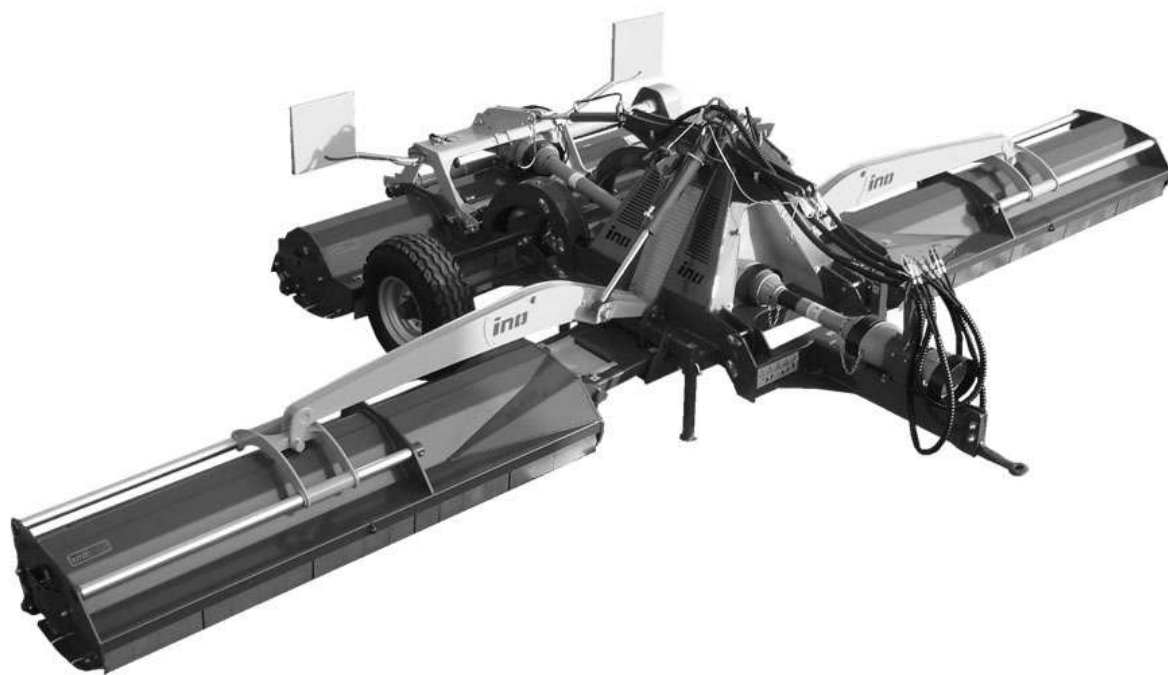


Рис. 2.1. Мульчувач EURO TRIPLEX 800

						ПКА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			7

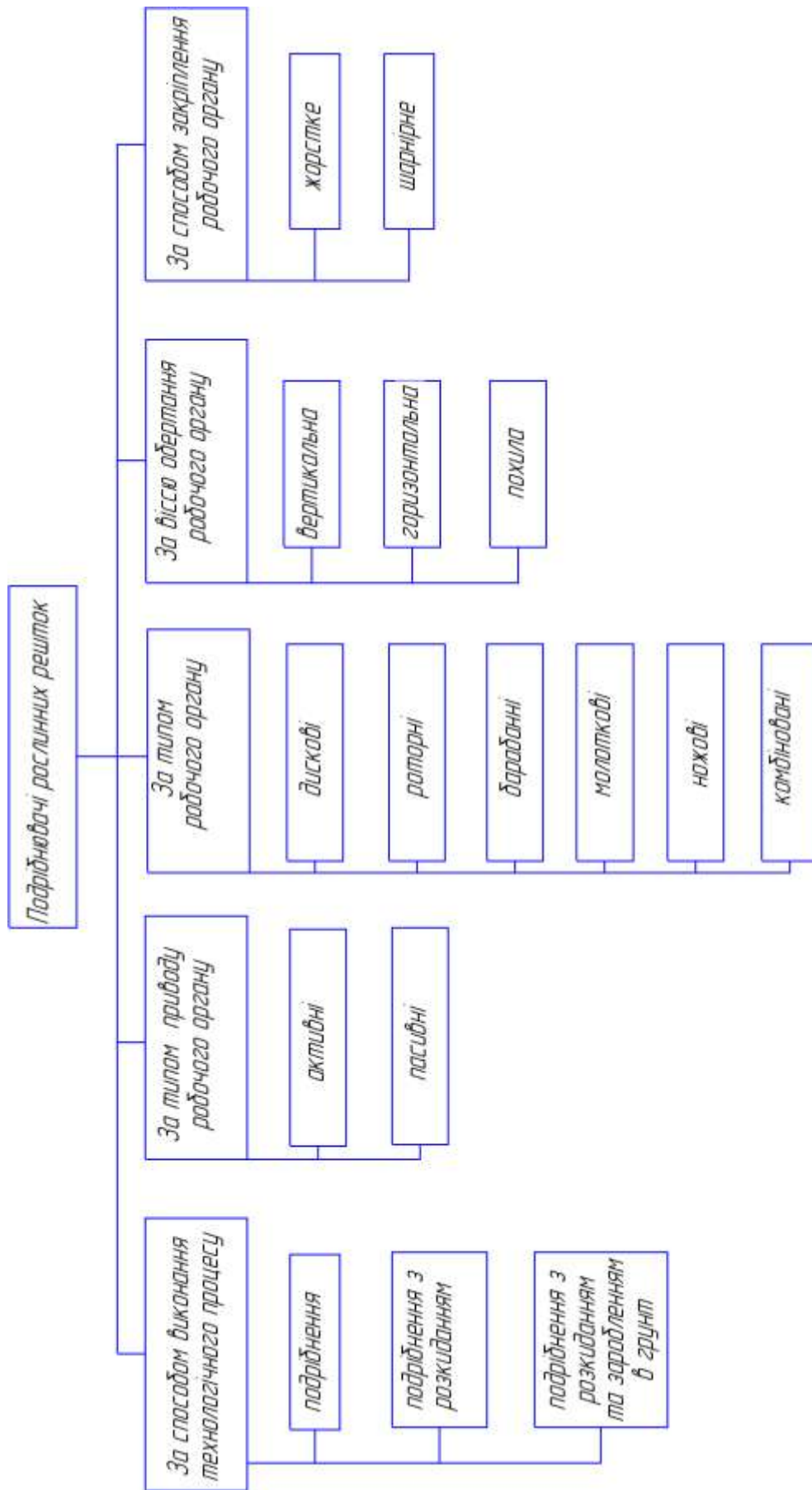


Рис. 2. 3 Класифікація МРЗ

проходила випробування на виробничих ділянках сільськогосподарських підприємств Кіровоградської області.

В удосконаленій машині використано жорстку центральну раму, що інтегрується з причіпним пристроєм 1 (див. рис. 2.4, 2.5). До цієї рами шарнірно приєднані два бічні роторні барабани з ножами для копіювання поверхні поля в поперечному напрямку. Гідроциліндрами 6 барабани можуть переводитись у вертикальне положення. Задній барабан 3 жорстко з'єднаний з рамою. Для зручності транспортування або маневрування на полі на короткій відстані коток може переходити в транспортне положення за допомогою гідравлічного механізму 5 з двома опорними колесами.

Ця нова конструкція мульчувача коткового типу засвідчила свою ефективність у реальних умовах експлуатації та відповідає вимогам сучасного сільського господарства.



Рис.2.4. Коток-мульчувач рослинних залишків КП-4,5

						ГКА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			12

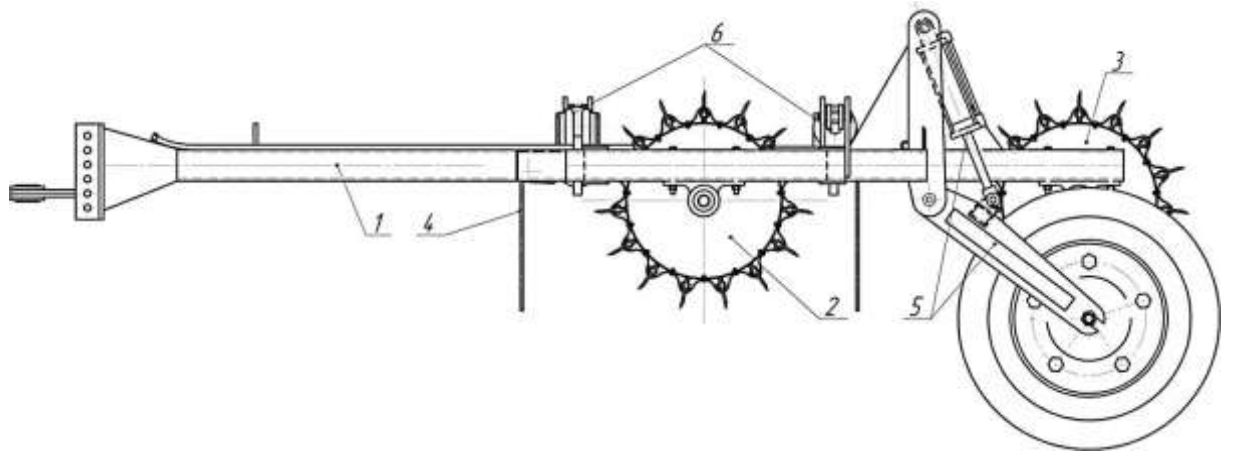


Рис.2.5. Мульчувач КП-4,5:

«На основі аналізу наявних конструкцій мульчувачів коткового типу та результатів досліджень окремих їх секцій, проведених науковцями кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ, була розроблена вдосконалена версія цієї машини (див. рис. 2.5). Ця конструкція успішно впроваджена на виробничих ділянках аграрних підприємств Кіровоградської області. У новій конструкції мульчувача коткового типу використовується жорстка центральна рама, що інтегрується з причіпним пристроєм 1 (див. рис. 2.27). До цієї рами шарнірно приєднані два передні роторні барабани 2 для копіювання поверхні поля в поперечному напрямку. Задній роторний барабан 3 жорстко з'єднаний з рамою. Для забезпечення зручності транспортування або маневрування на полі на короткі відстані мульчувач може переходити в транспортне положення за допомогою гідравлічних циліндрів 6. Ширина захвату одного переднього барабана становить 1500 мм, а діаметр барабана по краю лез – 1100 мм. Ширина ножевої полоси складає 150 мм. Ножі змінні і закріплюються до упорів на циліндричній поверхні барабана болтовими з'єднаннями. Відстань між ножами по діаметру барабана, а отже і задана довжина подрібнених рослинних залишків, становить 17 см. Граблі-напрямники 4 (див. рис. 2.7), що складаються з валу 1 та пружинних пальців 2, встановлені для покращення рівномірності мульчування рослинних залишків. Регулювання положення пальців у вертикальній площині дозволяє змінювати їх активність впливу на

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ПКА 00.000 ПЗ

Арк.

13



Рис. 2.9 Ділянка поля після соняшника



Рис. 2.10. Визначення кількості залишків

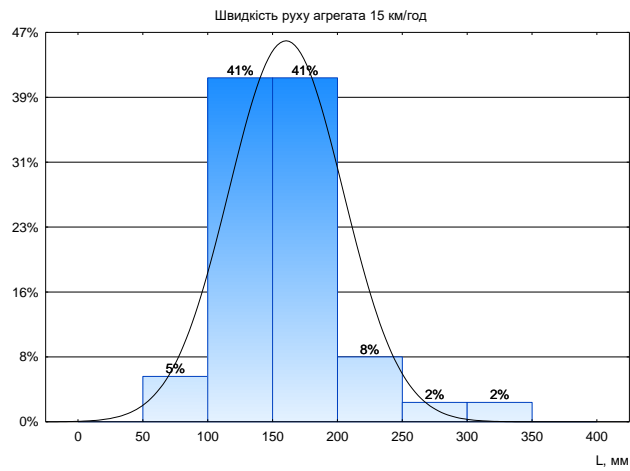
Показником якості прийнято відсоток по найбільшій кількості рослинних залишків, розміри яких не перевищують вказаного значення $L_{тр}=200$ мм, після виконання процесу подрібнення. Аналіз гістограми розподілу залишків стебел соняшника за довжиною L після обробітку (рис. 2.11 а-б) показав, що найбільша кількість залишків має довжину 100-200 мм. Дана довжина пояснюється тим, що відстань між ножами мульчувача коткового типу становить 150 мм. Збільшення швидкості агрегата забезпечує подрібнення рослинних залишків на менші розміри. Тобто кількість рослинних залишків довжиною до 150 мм збільшується, а з розмірами більше за 200 мм – зменшується. Також слід відмітити зменшення пропущених та неповністю подрібнених рослинних залишків. Експериментально визначений діапазон швидкостей від 15 до 24 км/год враховує особливості роботи мульчувача коткового типу у польових умовах, а саме рух агрегату на схилах-підйомах, як у вертикальній, так і у горизонтальній площині. Збільшення швидкості за межі 24 км/год може впливати як на керованість агрегату так і збільшувати навантаження на раму та робочі органи мульчувача коткового типу та механізм начіпки для трактора.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

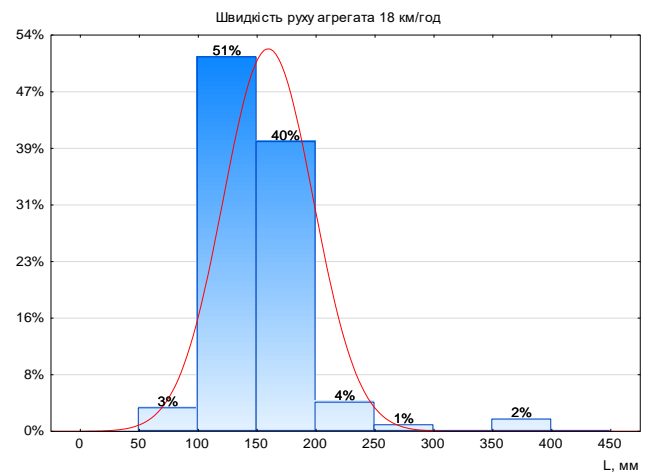
ГКА 00.000 ПЗ

Арк.

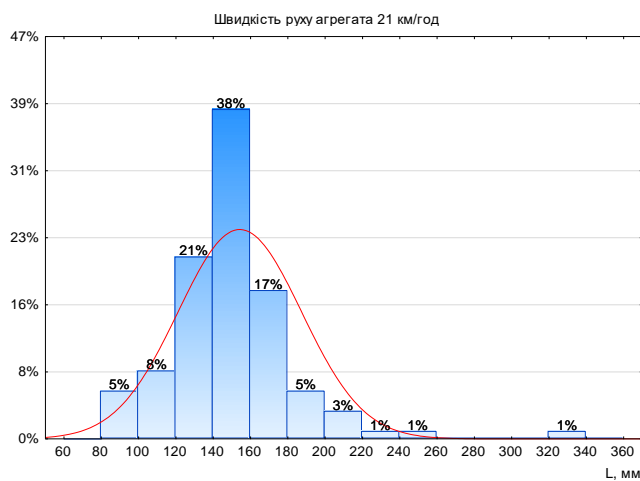
19



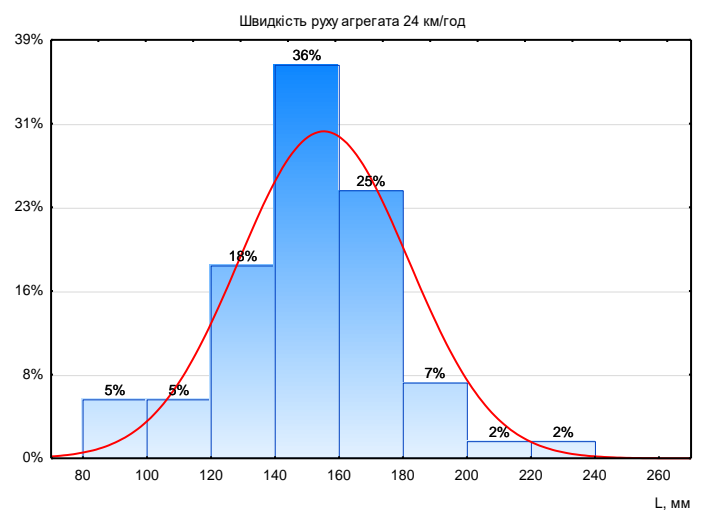
а



б



в



г

Рис. 2.11 – демонструє гістограму розподілу залишків стебел соняшнику за їх довжиною L після обробітку при різних швидкостях руху агрегата:

- «а) ступінь подрібнення $C=88\%$ при швидкості 15 км/год;
- б) ступінь подрібнення $C=93\%$ при швидкості 18 км/год;
- в) ступінь подрібнення $C=94\%$ при швидкості 21 км/год;
- г) ступінь подрібнення $C=96\%$ при швидкості 24 км/год.» [13]

Згідно вимог ННЦ "ІМЕСГ" УААН, рослинні залишки не повинні перевищувати 200 мм. Всі (понад 99%) подрібнені залишки відповідають цьому критерію (рис. 2.11 а-б).

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ПКА 00.000 ПЗ

Арк.

20

потрапляють під барабани з ножами мульчувача коткового типу» [8] або в умовну камеру подрібнення [7].

«Використання додаткових робочих органів – граблин при будь-якому розташуванні стебел в просторі забезпечує незначне, але стабільне підвищення показника мульчування (2–3%). Значно більший ефект (до 5%) спостерігається при мульчуванні лежачих стебел. При цьому якість мульчування менше залежить від поступальної швидкості агрегату. Зазначено, що робоча швидкість може бути збільшена майже на 1 м/с, що є важливим для підвищення загальної продуктивності машини» [7].

«Розташування граблин перед барабаном з ножами дозволяє ефективно повертати стебла таким чином, щоб зменшити поперечний перетин перерізу стебла. Аналіз відеофіксації процесу мульчування показує, що граблини орієнтують стебла під кутами від 82° до 102° до осі обертання барабану з ножами. Показник мульчування збільшується на 6–7% при швидкостях руху агрегату від 22 до 24 км/год на таких культурах, як соняшник та кукурудза» [8-9].

					ГКА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		22

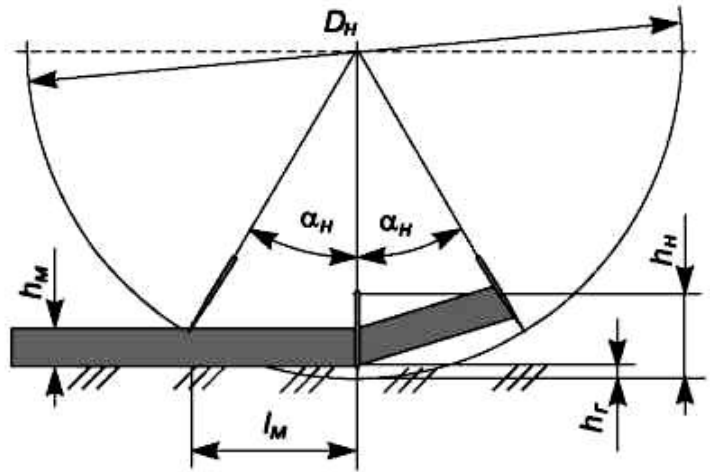


Рис. . Схема різання рослин барабанно-ножовим ротором

Діаметр ножового барабана D_H і кількість ножів на ньому n_H визначаються, виходячи з найбільшої товщини стиснутого шару рослинної маси h_M і глибини врізання ножів у ґрунт h_T та мінімальної довжини різки l_M за умови, коли кожен наступний ніж починає різання маси зразу після закінчення різання попереднім ножом (рис.).

$$D_H \leq \frac{2l_M}{\sin \alpha_H}; \quad (1)$$

$$n_H \leq \text{Ціле}(\pi \cdot D_H / l_M); \quad (2)$$

$$\text{tg}(\alpha_H / 2) \geq \frac{h_M + h_T}{l_M}. \quad (3)$$

Після перетворення формули (3) отримаємо вираз [2]

$$\sin \alpha_H \geq \frac{2 \text{tg}(\alpha_H / 2)}{1 + \text{tg}^2(\alpha_H / 2)} = \frac{2l_M (h_M + h_T)}{l_M^2 + (h_M + h_T)^2}. \quad (4)$$

Підставимо вираз (4) у формули (1) і (2) та отримаємо вирази

$$D_H \leq \frac{l_M^2 + (h_M + h_T)^2}{h_M + h_T}; \quad (5)$$

$$n_H \leq \text{Ціле} \left(\frac{\pi [l_M^2 + (h_M + h_T)^2]}{l_M (h_M + h_T)} \right). \quad (6)$$

Найбільшу товщину стиснутого шару рослинної маси h_M можна подати через її найбільшу урожайність U_M і щільність стиснутої подрібненої маси γ_M

$$d_{\text{ст}} \leq h_M \geq U_M / \gamma_M,$$

де $d_{\text{ст}}$ — діаметр стеблини.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Мінімальний питомий кут загвинчування ножів β_n визначиться за умови одночасного різання не менше, ніж двома ножами

$$\beta_n \geq a_n \cdot D_n / B_p, \quad (8)$$

де B_p — довжина ножового барабана.

Мінімальна ширина ножів h_n функціонально залежить від товщини стиснутого шару рослинної маси h_m і глибини врізання ножів у ґрунт h_r , а конструктивно — від товщини ножа δ_n і кута його заточки χ_n

$$\delta_n \cdot \operatorname{ctg}(\chi_n) + \Delta h_n \leq h_n \leq h_m + h_r + \Delta h_n, \quad (9)$$

де Δh_n — неробоча ширина, потрібна для закріплення ножа на барабані.

Глибина врізання ножів у ґрунт h_r залежить від коливання рельєфу поверхні поля по довжині ножового барабана B_p (по його ширині захвату). При збільшенні B_p глибина h_r має збільшуватися. Збільшення ж глибини врізання ножів у ґрунт h_r небажане, тому що воно потребує додаткового тиску ножового барабана на ґрунт, сприяє залипанням ножів ґрунтом, ускладнює виштовхування різаної маси з-поміж ножового простору і збільшує тяговий опір машини. Тому в допосівному обробітку і під час посіву треба забезпечувати вирівнювання поверхні поля. Також є небажаним збільшення довжини ножового барабана B_p .

Довжина ножового барабана B_p має бути оптимальною з суто конструкторських міркувань, оскільки її збільшення різко посилює вимоги щодо міцності і жорсткості ротора, а зменшення — потребує встановлення декількох роторів, що ускладнює конструкцію машини і машинно-тракторного агрегату (МТА).

Сила тиску ножового барабана на ґрунт P_6 складається із сили, потрібної для різання рослинної маси P_p , сили, потрібної для затискування порізаної рослинної маси $P_{зм}$ між ножами, сили, потрібної для здирання налиплого на ножі ґрунту $P_{нг}$ і сили, потрібної для стискування виштовхувачів порізаної маси P_v

$$P_6 = P_p + P_{зм} + P_{нг} + P_v. \quad (10)$$

Сила P_p залежить від кількості одночасно виконуваних різань вздовж напрямку руху N_p (за виконання умов (5) і (6) $N_p=1$), питомого зусилля різання даної рослини конкретним ножом q_p і довжини ножового барабана B_p

$$P_p = N_p \cdot q_p \cdot B_p. \quad (11)$$

Питоме зусилля різання рослинної маси q_p буде залежати, по-перше — від стану лез ножів (кут і гострота заточки), по-друге — від

фізико-механічних властивостей рослинної маси (наявність твердих деревовидних чи соковитих стеблин і листя, їх товщина і вологість, а також товщина рослинного шару h_m) і, по-третє — від стану поверхні поля (тип ґрунту, його твердість і вологість). Подібне “моделювання” різання рослинної маси можна спостерігати при звичайному кухонному нарізанні зелені: краще нарізається неперезріла соковита маса гострим з малим кутом заточки ($5-10^\circ$) ножом на рівній твердій поверхні. Якщо поверхня нерівна, то краще (повніше) різання відбувається на дещо м'якій поверхні. Досліди з різакон дисково-ножового типу [3] підтвердили наведені висновки, а саме: краще перерізувався соковитий горох, ніж гірчиця, на рівних ділянках з поверхневою твердістю ґрунту в межах 3–5 МПа і вологістю 12–16% гострими дисками. На нерівній ущільненій поверхні (по колії трактора) і на розпушеній поверхні різання маси, особливо гірчиці, було незадовільним.

За будь-яких умов зусилля q_p буде визначатися зусиллям перерізання конкретним клином стеблин однієї культури, яке на близьких етапах органогенезу можна вважати прямо пропорційним їх діаметру, тобто

$$q_p / d_{ст} \approx q_{pc} / d_{стc} \approx \text{Const}, \quad (12)$$

де q_{pc} , $d_{стc}$ — середні значення відповідно q_p , $d_{ст}$.

Сила затискування порізаної рослинної маси між ножами $P_{зм}$ — це сила тертя стиснутих силою $P_{см}$ між ножами частинок стеблин по боковій поверхні ножів, але якщо кут β_n буде не менше за кут тертя між ножом і стеблиною $\varphi_{мн}$, то різана маса буде зісковзувати з поверхні ножів, не деформуючись і $P_{зм}=0$.

Силу стиснення $P_{см}$, за невеликих значень деформації, можна умовно вважати пропорційною цій деформації

$$P_{см} \approx N_p \cdot E_{ст} \cdot \Delta l_m \cdot F_{ст} \cdot n_{ст}, \quad (13)$$

де $E_{ст}$ — модуль пружності стеблини; Δl_m — середнє значення відносної осової деформації стеблин; $F_{ст}$ — середня площа перерізу однієї стеблини; $n_{ст}$ — середня кількість стеблин в одному перерізі ножа барабана.

Але ця сила не може перевершити критичну силу $P_{кр}$, при якій затиснуті між ножами стеблини втратять стійкість і почнуть вигинатися як стержні з шарнірно закріпленими кінцями [4], тобто

$$P_{см} \leq P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E_{ст} \cdot J_{ст}}{l_m^2} n_{ст}, \quad (14)$$

де $J_{ст}$ — момент інерції перерізу однієї стеблини.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

Таким чином, значення сили $P_{зм}$ визначиться за умовою

$$\begin{aligned} P_{зм} &= 0, \text{ якщо } \beta_H \geq \varphi_{MH} = \arctg(f_{MH}); \\ P_{зм} &= P_{см}(f_{MH} \cdot \cos \beta_H - \sin \beta_H), \text{ якщо } P_{см} < P_{кр}; \\ P_{зм} &= P_{кр}(f_{MH} \cdot \cos \beta_H - \sin \beta_H), \text{ якщо } P_{см} \geq P_{кр}, \end{aligned} \quad (15)$$

де f_{MH} — коефіцієнт тертя рослинної маси об ніж.

Величина Δl_M визначиться (див. рис. 3)

$$\Delta l_M = 1 - \frac{D_H - h_M - 2h_T}{D_H} \cos(\alpha_H / 2), \quad (16)$$

або, після перетворень [2]

$$\Delta l_M = 1 - \frac{D_H - h_M - 2h_T}{D_H} \cdot \frac{l_M^2 - (h_M + h_T)^2}{l_M^2 + (h_M + h_T)^2}. \quad (17)$$

Середня площа $F_{ст}$ і момент інерції, $J_{ст}$ круглого перерізу однієї стеблини визначаються за формулами [4]

$$F_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4}, \quad (18)$$

$$J_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^4}{64}. \quad (19)$$

Середня кількість стеблин в одному перерізі ножового барабана

$$n_{ст} \approx 4 \frac{h_M \cdot P}{\pi \cdot d_{ст}^2} \eta_{ст}, \quad (20)$$

де $\eta_{ст}$ — середня об'ємна частка стеблин в рослинній масі.

Підставивши в (13) вирази (17), (18), (19) і (20), отримаємо

$$P_{см} \approx N_p \cdot \sigma_{ст} \cdot h_M \cdot B_p \cdot \eta_{ст} \left(1 - \frac{D_H - h_M - 2h_T}{D_H} \cdot \frac{l_M^2 - (h_M + h_T)^2}{l_M^2 + (h_M + h_T)^2} \right), \quad (21)$$

$$P_{кр} \approx \frac{\pi^2 \cdot E_{ст} \cdot h_M \cdot B_p \cdot d_{ст}^2 \cdot \eta_{ст}}{16l_M^2}. \quad (22)$$

Налипий на лезі ножа ґрунт буде здиратися рослинною масою при її різанні, а силу його здирання з леза ножа $P_{нг}$ можна подати як силу зрізу

$$P_{нг} = [\tau_{зрг}] \cdot h_T \cdot B_p, \quad (23)$$

де $[\tau_{зрг}]$ — припустима напруга зрізу налиплого ґрунту.

Надійне виштовхування порізаної маси буде в разі, якщо сила стискування виштовхувачів P_B буде значно більшою за силу P_{3M} , тобто

$$P_B = k_{3B} \cdot P_{3M} + p_B \cdot B_p, \quad (24)$$

де k_{3B} — коефіцієнт запасу сили стискування виштовхувачів, $k_{3B} > 1$; p_B — питома сила виштовхування не затиснутих стеблин.

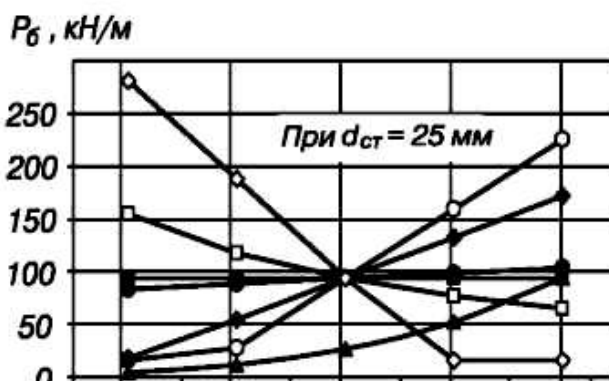
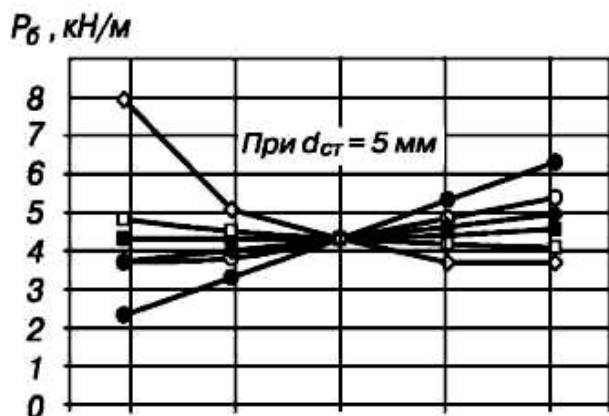
Таким чином, отримані всі залежності, необхідні для забезпечення роботоздатності конструкції запропонованого різачка-мульчувача.

За запропонованими формулами виконані орієнтовні розрахунки для декількох варіантів стану рослинної маси і поля (табл., рис. 4) при: $\gamma_M = 720 \text{ кг/м}^3$ [5]; $d_{ст} = 5 \text{ мм}$; $\eta_{ст} = 0,5$; $h_T = 10 \text{ мм}$; $\delta_H = 3 \text{ мм}$; $\chi_H = 10 \text{ град.}$; $\Delta h_H = 10 \text{ мм}$; $[\tau_{зрг}] = 50 \text{ кПа}$ [7]; $k_{3B} = 1,2$; $B_p = 1,0 \text{ м}$; $p_B = 0,2 \text{ кН/м}$.

Розрахунки показали, що діаметр ножового барабана D_H має бути в межах 200–230 мм, а кількість ножів на барабані n_H в залежності від довжини різки — від 12 (при $l_M = 60 \text{ мм}$) до 8 (при $l_M = 100 \text{ мм}$). Мінімальний кут загвинчування ножів β_H за формулою (8) становить 7,2 град.,

Таблиця. Вихідні дані щодо орієнтовних розрахунків параметрів різачка-мульчувача рослин з барабанно-ножовим ротором

Параметр	Позначка	Розмірність	Джерело інформації	Значення параметра за варіантами розрахунків				
				1	2	3	4	5
Урожайність рослинної маси	U_M	кг/м ²	приймається	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Діаметр стеблини	$d_{ст}$	мм	приймається	5	10	15	20	25
Мінімальна довжина різки	l_M	м	приймається	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Середнє питоме зусилля різання рослин	$q_{рс}$	кН/м	приймається	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Коефіцієнт тертя рослин по сталі	f_{MH}	—	[6]	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Модуль пружності стеблин різаної маси	$E_{ст}$	ГПа	[5]	0,02	0,4	0,8	1,2	1,6
Мінімальна ширина ножа	h_H	м	ф-ли (9) і (7)	27	30	35	40	45



■	1	2	3	4	5	$U, \text{кг/м}^2$
□	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	$l_m, \text{м}$
●	1	2	3	4	5	$q_p, \text{кН/м}$
○	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	f_{MH}
◆	0,02	0,4	0,8	1,2	1,6	$E_m, \text{МПа}$
◇	0	4	8	12	16	$\beta_n, \text{град.}$
▲	5	10	15	20	25	$d_{ст}, \text{мм}$

Рис. 4. Графіки залежності сили тиску ножового барабана на ґрунт $P_б$ від деяких параметрів роботи різачка-мульчувача рослин: □ — “базові” значення в розрахунках; ▲ — при “базових значеннях”

гостроти, кута заточки і товщини ножів, що визначають питомий опір різання, а також від пружності стебел, довжини різки і кута загвинчування лез ножів. Тому бажано використовувати сидерати з тонкою вологою й не пружною масою (наприклад, краще олійна редька ніж ріпак). Бажано, щоб потрібна довжина різки забезпечувалася при мінімальній кількості одночасних перерізень, а кут загвинчування ножів перевершував кут тертя різаних стебел по поверхні ножів, щоб стебла зісковзували з поверхні ножів, не деформуючись. Випробування макет-

а за умови самосковзання порізаної рослинної маси від 6 град. (при $f_{MH}=0,1$) до 17 град. (при $f_{MH}=0,3$).

Графіки залежності сили різання рослинної маси P_p від основних параметрів різачка-мульчувача подані на рис. 4, а, б.

б
Аналіз результатів розрахунків залежностей параметрів конструкції і умов роботи різачка-мульчувача рослин ножово-барабанного типу показав наступне.

Для забезпечення довжини різки рослинної маси в межах 60–100 мм оптимальне значення діаметра ножового барабана має бути в межах 200–230 мм, а кількість ножів — відповідно від 8 до 12. Мінімальна ширина ножів і сила тиску ножового барабана на ґрунт дуже залежать від діаметра стебел рослинної маси, що перерізається. Потрібна сила тиску також в значній мірі залежить від твердості рослинної маси і її вологості,

ного зразка. Згідно з дослідженнями зразка мульчувача коткового типу, встановлено, що ключовими параметрами для забезпечення надійної і якісної роботи є вологість і твердість поверхневого шару ґрунту. Вони мають перебувати в межах 12–16% і 3–5 МПа відповідно.

Для визначення оптимальних конструктивних параметрів запропонованого котка мульчувача коткового типу, використовуються наведені формули і графіки, які враховують конкретні умови його експлуатації, зокрема вид сільськогосподарської культури, її врожайність і довжина стебла. Мінімальна довжина різки повинна складати 60–90 мм. За сприятливих умов при стеблах з діаметрами до 10 мм необхідна сила тиску ножового ротора на ґрунт повинна бути близько 7 кН/м.

3.2. Силевий аналіз механізмів і розрахунок деталей та вузлів на міцність

3.2.1. Розрахунок планки

Повздовжню планку необхідно розрахувати на згин з крученням, з урахуванням того факту, що максимальні дотичні і нормальні напруження виникають у різних точках. У даному випадку, достатньо провести розрахунок на плоский згин, нехтуючи крученням.

$$\sigma_{Б-Б_{max}} = \frac{P \cos \alpha (l_2 + 2l_3 + l_4 + l_5)}{W_{уБ-Б}}$$

де $W_{уБ-Б}$ – момент опору площі перерізу $Б-Б$ відносно осі у :

$$W_{уБ-Б} = \frac{b_n \times b_n^2}{6} = \frac{0,01 \times 0,045^2}{6} \approx 3,375 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$\sigma_{Б-Б_{max}} = \frac{55,6 \times \cos 57^\circ (0,175 + 2 \times 0,225 + 0,365 + 0,415)}{3,375 \times 10^{-6}} \approx 12,6 \text{ Мпа.}$$

						ПКА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			30

Матеріал планки Сталь 20 з характеристиками $\sigma = 600$ МПа, що відповідає вимогам щодо міцності вузла.

3.2.2. Вибір підшипників

«Для осей котків встановимо шарикопідшипники закритого типу 8108 ГОСТ 7242-81

Визначаємо номінальну динамічну вантажопід'ємність 8108 підшипника з каталожною вантажопід'ємністю $C=16,8$ кН, статичною вантажопід'ємністю – $C_0=9,3$ кН. На підшипник діє радіальне навантаження $F_r=17,4$ кН, осьове $F_0=2,06$ кН, частота обертання $n=900$ об/хв., необхідна довговічність $L_h = 10000$ при умові, що $V=K_\sigma=K_t=1,0$.

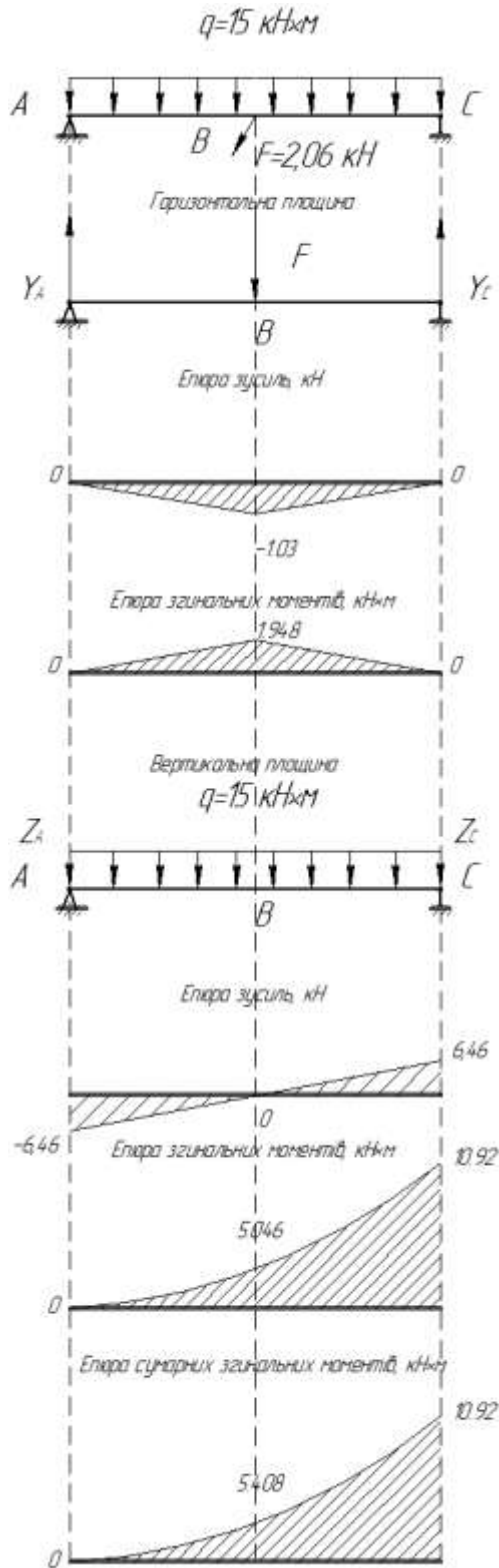
Вибираємо коефіцієнти X та Y . Відношення $\frac{F_0}{C_0} = \frac{2.06}{9.3} = 0.221$, з табл. 6.1 [12], $e=0,221$, $X=0,56$ та $Y=1,15$.

Знаходимо еквівалентне навантаження

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_0) \cdot K_\sigma \cdot K_t = (0,56 \cdot 1 \cdot 1,74 + 1,15 \cdot 2,06) \cdot 1 \cdot 1 = 1,213 \text{ кН}$$

За табл. 21 [12], $\frac{C}{P} = 8,43$, відповідно потрібна динамічна вантажопід'ємність $C = P \cdot 8,43 = 1,213 \cdot 8,43 = 10,225$ кН. Так як найближчий підшипник 8107 має $C=10,1$ кН, то залишаємо 8108, який нас повністю задовольняє.» [9]

3.2.3. Розрахунок осі під підшипник барабану.



Розглядаємо зусилля в горизонтальній площині.

Значення реакцій

$$Y_A = Y_C = \frac{1}{2} \cdot F = \frac{1}{2} \cdot 2,06 = 1,03 \text{ кН}$$

Ділянка $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ ($L=1,16 \text{ м}$)

зусилля

$$Q_A = Y_A;$$

$$Q_B = Y_A - F = 1,03 - 2,06 = -1,03 \text{ кН.}$$

згинаючі моменти

$$M_y = Q_y \cdot x$$

$$M_A = 0; \quad M_B = Y_A \cdot \frac{L}{2} = 1,03 \cdot \frac{1,16}{2} = 1,948$$

кН·м

Ділянка $\frac{L}{2} \leq x \leq L$ ($L=1,16 \text{ м}$)

зусилля

$$Q_B = Y_A - F;$$

$$Q_C = Y_A - F + Y_C = 1,03 - 2,06 + 1,03 = 0 \text{ кН.}$$

згинаючі моменти

$$M_y = Q_y \cdot x$$

$$M_c = 0;$$

Розглядаємо зусилля в вертикальній площині.

Значення реакцій

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

ПКА 00.000 ПЗ

Арк.

32

- необладнаність тракторів автоматичними тягово-зчіпними пристроями для агрегування мульчувача рослинних залишків;
- потенційне підтікання палива, мастил, охолоджувальної рідини та інших технічних рідин;
- відсутність або несправність засобів доступу до робочого місця та місць обслуговування, таких як підніжки, драбини, площадки та огороження;
- недолік пристроїв для запобігання попаданню рослинних залишків на поверхні теплообмінних елементів двигуна трактора, системи охолодження та випускної системи відпрацьованих газів;
- відсутність іскрогасників;
- рухомі механізми та обертання (рух самого агрегату, обертання котків);
- підвищений рівень шуму та вібрації від роботи двигуна трактора та нерівностей поля;
- високий рівень запилення та загазованості робочої зони механізатора, яке зумовлене підняттям пилу з поверхні поля;
- наявність гострих країв елементів конструкції мульчувача рослинних залишків;
- можливість перевертання агрегату під час роботи на схилах, нахил яких перевищує встановлені нормативи;
- проведення робіт з паливно-мастильними матеріалами під час технічного обслуговування і ремонту;
- невідповідність параметрів мікроклімату санітарним нормам під час виконання робіт в польових умовах;
- пожежна небезпека агрегату;
- електронна безпека під час робіт поблизу ліній електропередач;
- наявність хімічних речовин, що можуть бути небезпечними (паливно-мастильні матеріали, фарби, лаки, які використовуються під час ТО та ремонту).

						<i>ПКА 00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			36

Допущено до захисту

Зав. кафедрою СГМ

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

«____» _____ 2024 р.

Графічна частина

кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти здобувача
вищої освіти

на тему «Удосконалення безприводного робочого органу мульчувача рослинних
залишків»

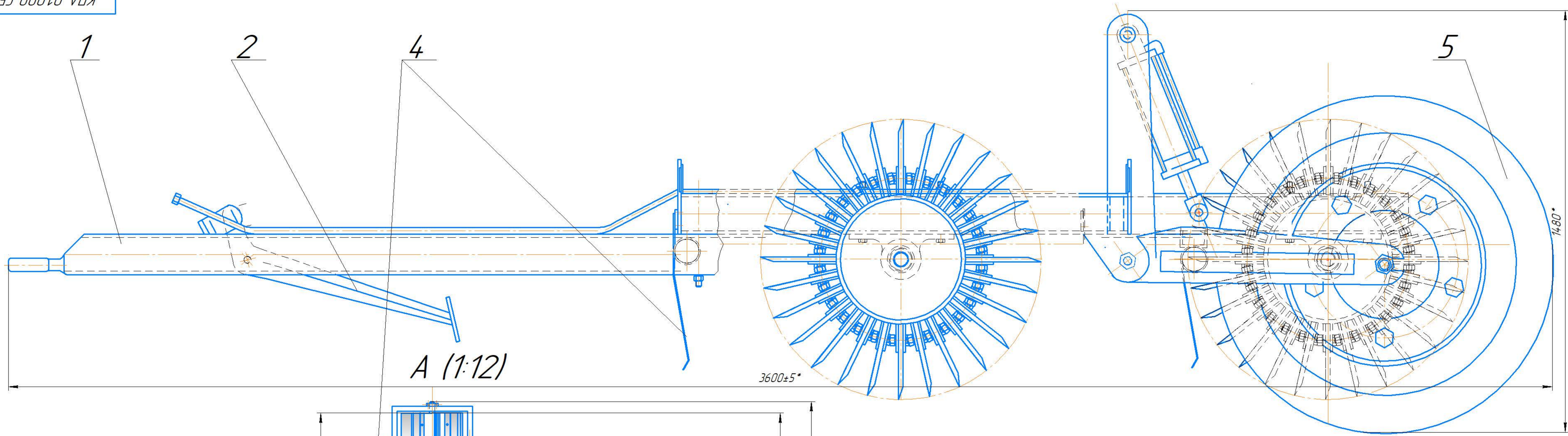
на 5 аркушах формату А1 (змаштабованих на аркушах формату А4)

Виконав здобувач вищої освіти курсу,
групи ГМ-22М-2 ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

	_____	М.І. Колодійчук
Керівник	_____	Д.В. Богатирьов
Нормоконтроль	_____	Ю.В. Мачок

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація</u>		
				<i>Заново розроблена</i>		
A1			КПА 03.000 СБ	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	КПА 03.001	Вісь в зборі	1	
				<u>Деталі</u>		
		2	КПА 03.601	Ніж	28	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		3		Болт М16-6дх28.66.019	28	
				Гайки ГОСТ 5927-70		
		4		М16-7Н.019	28	
				Шайби ГОСТ 6402-70		
		5		16.65Г.019	28	

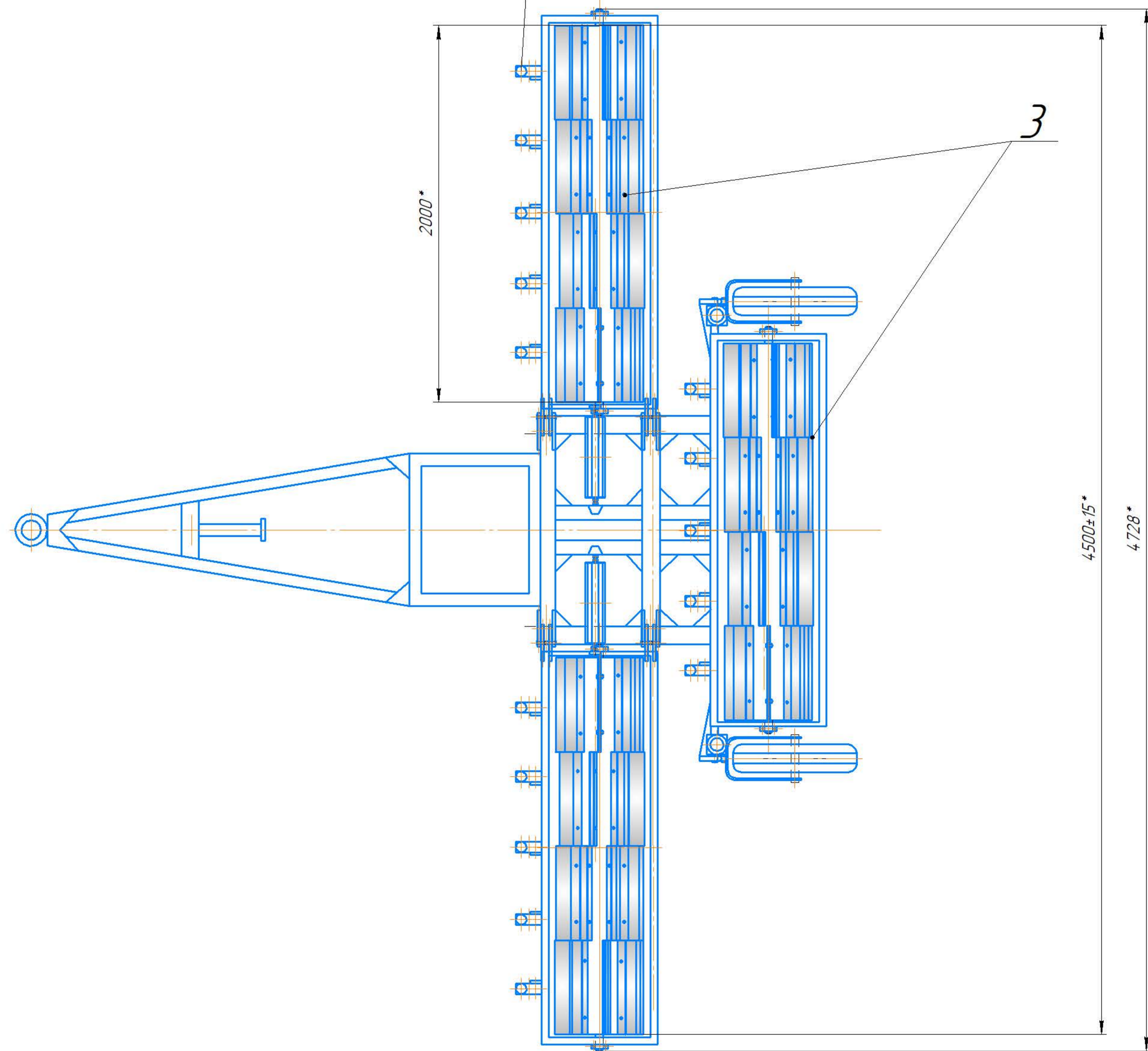
					<i>КПА 03.000</i>			
Зм.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дата				
Розроб.		Колодійчук			<i>Коток-подріднювача</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Богатирьов					1	1
Н. контр.		Мачок			<i>ЦНТУ, гр. ГМ-22М-2</i>			
Затв.		Лещенко						



A (1:12)

3600±5*

1460*



2000*

3

4500±15*

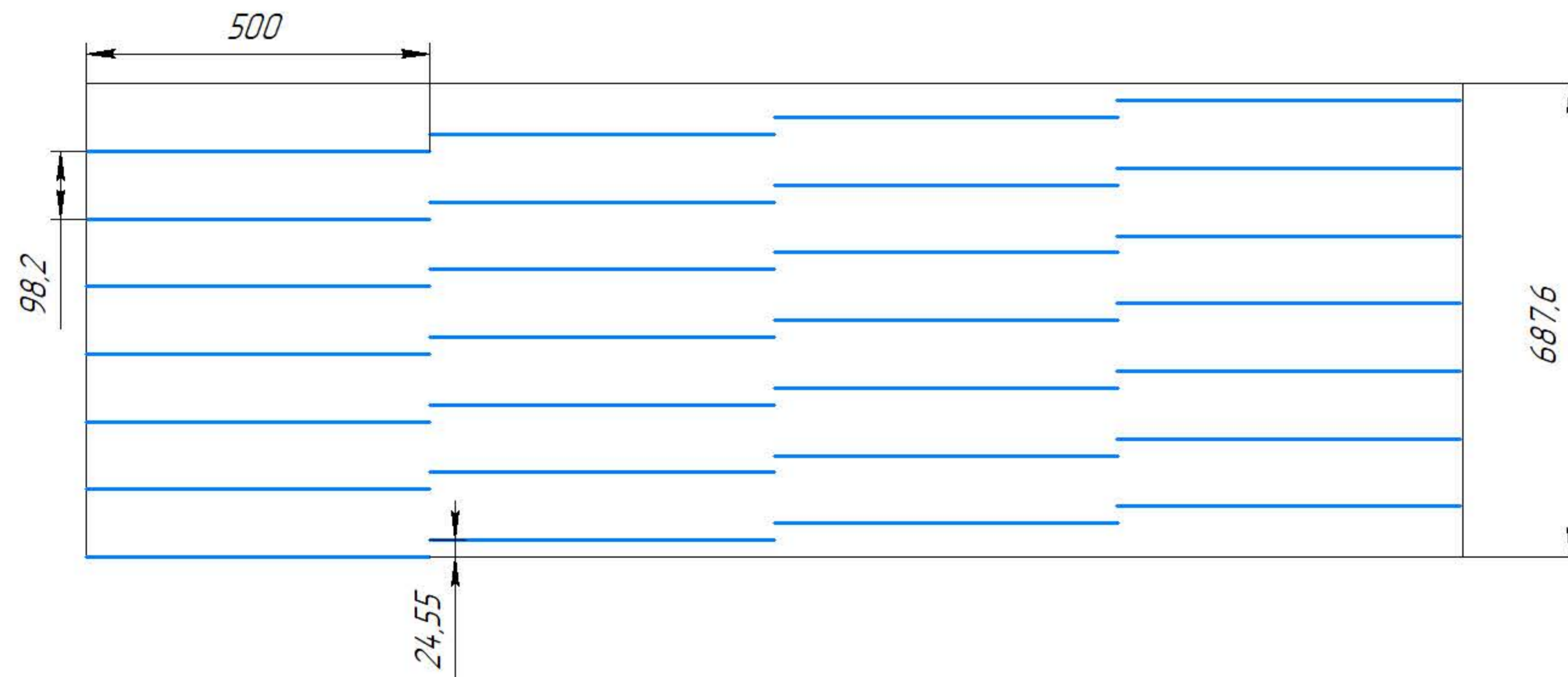
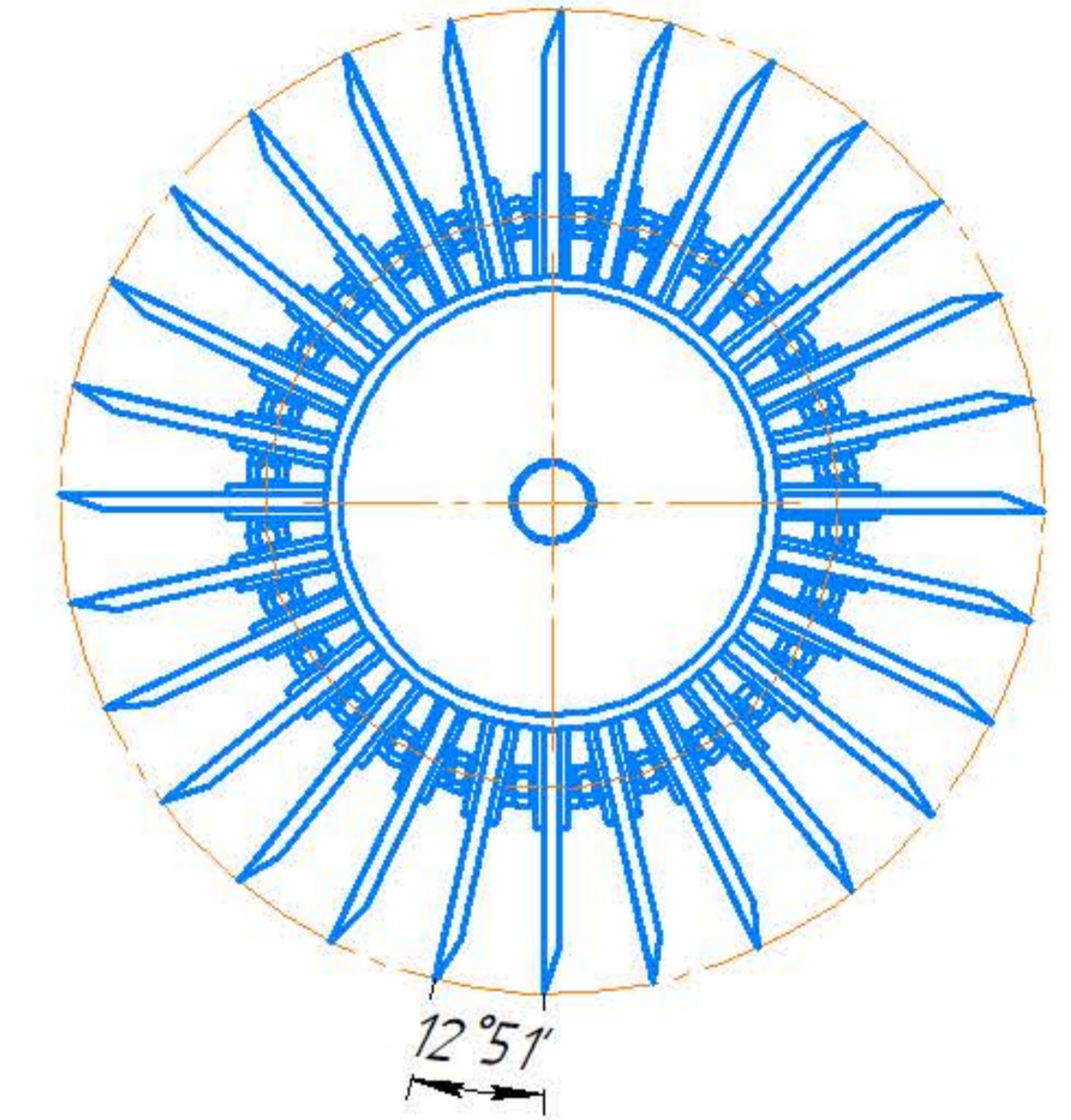
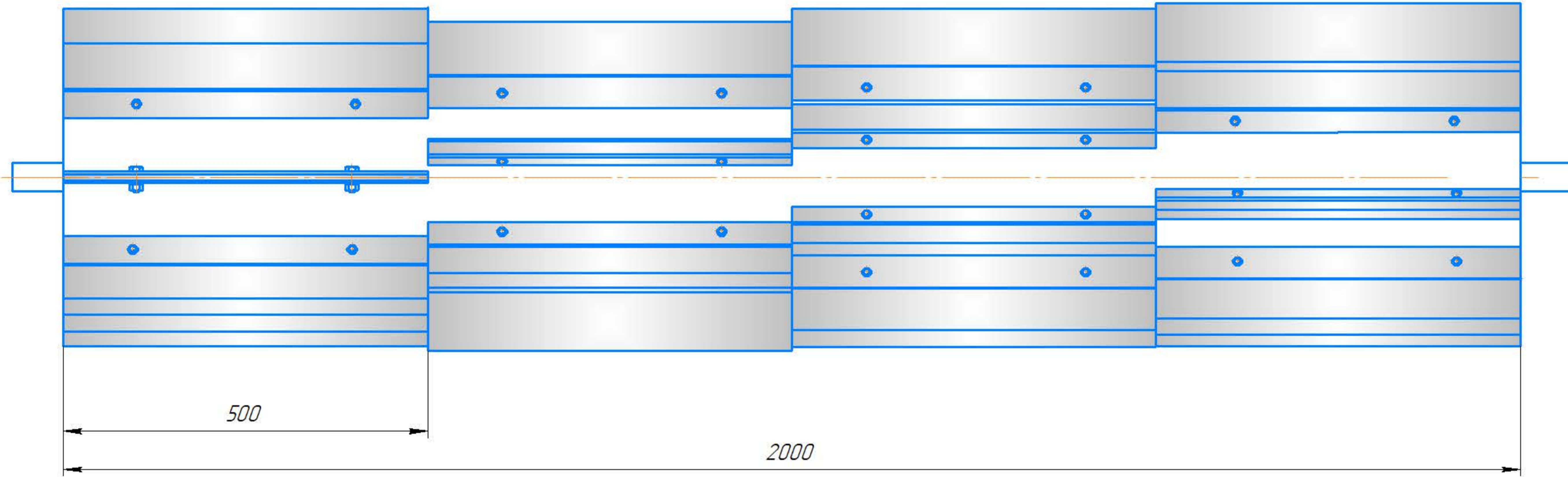
4728*

- Технічна характеристика**
1. Ширина захвату - 4,5 м.
 2. Маса - 1256 кг.
 3. Агрегативання - трактор III тягового класу.
 4. Робоча швидкість 15-24 км/год
 5. Габарити у транспортному положенні: висота - 2620 мм, ширина - 2370 мм.

1. Котак повинен переходити у транспортне або робоче положення без заклинювання не більше ніж за 3 хв.
2. Періодичність: змащення підшипників кожні 4500 годин, ТО гідравлічної системи кожні 2200 годин.
3. Фарбувати "Місце строповки" трафаретом Т-4 ГОСТ 14 763-83
4. Якість готового котка-подріднювача повинна відповідати технічним умовам на КП-4.5.
5. Після збирання котка-подріднювач повинен пройти обкатування основних функціональних вузлів.
6. *Разміри для довідок

КПА 01.000 СБ				Лист	Масса	Масштаб	
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Котак-подріднювач	1278	15
Разраб.	Колодійчук						
Проб.	Богатирьов				Лист	Листов	1
Т.контр.					ЦНТУ, гр. ГМ-22М-2		
И.контр.	Мачок				Формат А1		
Утв.	Лещенко				Копиравал		

Перв. примен. Справ. № Вид. № табл. Вид. шиф. № Вид. № докл. Подп. и дата. Вид. № табл. Подп. и дата.



1. *Разміри для довідок.
2. Зовнішні поверхні фарбувати чорною емаллю ПФ-115 ГОСТ 6465-76.
3. Крутний момент затяжки деталей в місцях кріплення ножів 60- Нм (6 кгс) та короба до циліндра 40-50 Нм (4 - 5 кгс).
4. Фарбувати болти після затяжки різьб.
5. Жолобки на вигляді А-А не показані.

КПА 03.000 СБ				Лист	Масса	Масштаб
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	1	274,8	1:5
Разраб.	Колодійчук					
Проб.	Богатирьов			Лист	Листов	1
Т.контр.				ЦНТУ, зр. ГМ-22М-2		
Н.контр.	Мачок			-		
Чтв.	Лещенко			Формат А2		

Визначення енергоємності процесу роботи котка-подрібнювача рослинних решток

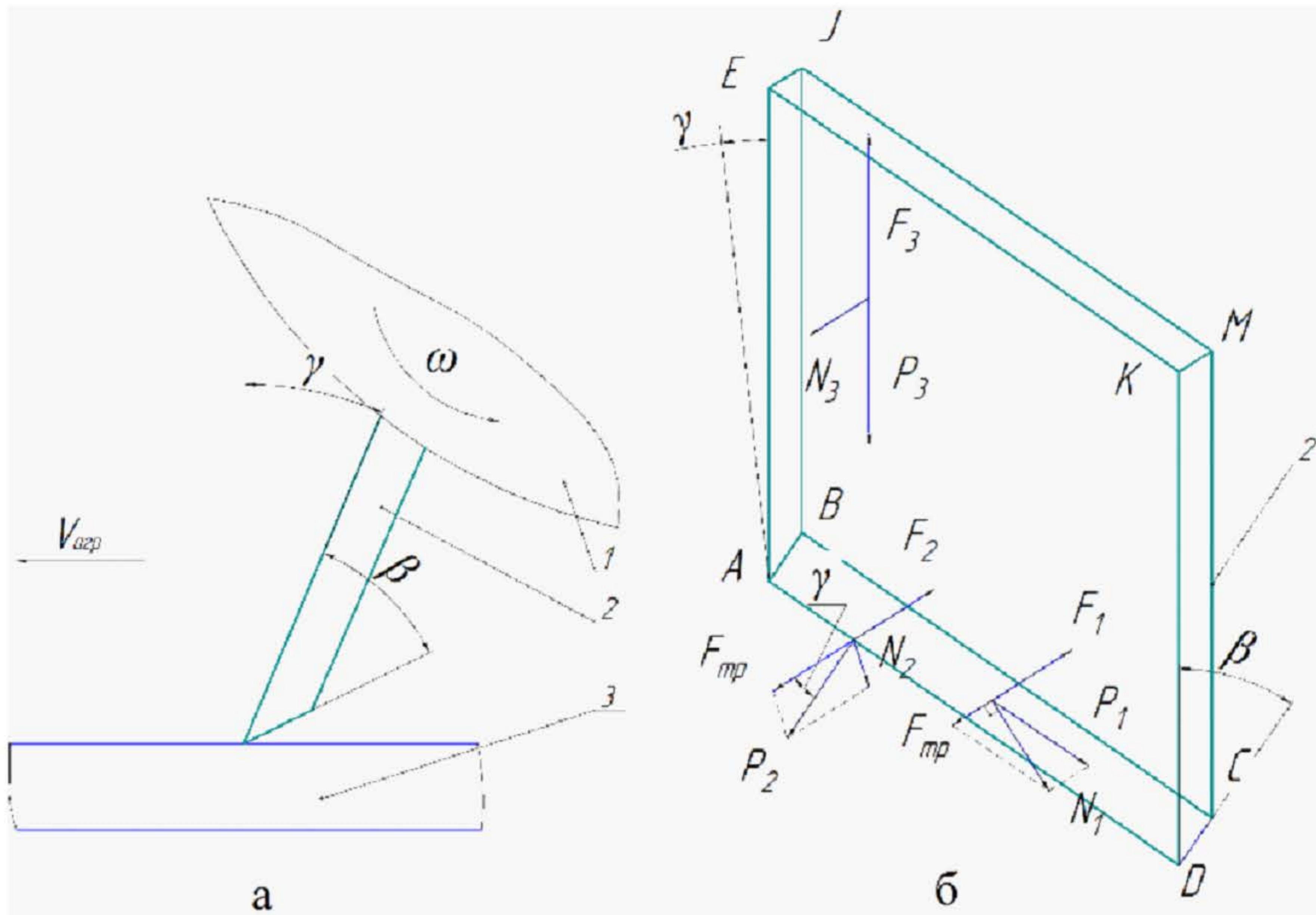


Рис. 1. Розрахункова схема:

а – схема руху котка-подрібнювача; б – схема сил, що діють на ніж

1 – коток; 2 – ніж; 3 – стебло рослини (рослинна рештка)
загальну роботу ножа можна представити у вигляді суми:

$$A = z \cdot (A_{P1} + A_{C1} + A_{C2} + A_{P2} + A_{C3} + A_{P3}) + A_0$$

де z – кількість ножів, шт.;

A_{C1}, A_{C2}, A_{C3} – робота ножа на попереднє стискання матеріалу, відповідно фаскою, різальною кромкою та плоскою гранню ножа, Дж;

A_{P1}, A_{P2}, A_{P3} – робота ножа на подолання сил опору матеріалу, відповідно фаскою, різальною кромкою та плоскою гранню ножа, Дж;

A_0 – робота на подолання котком сили опору повітря, Дж.

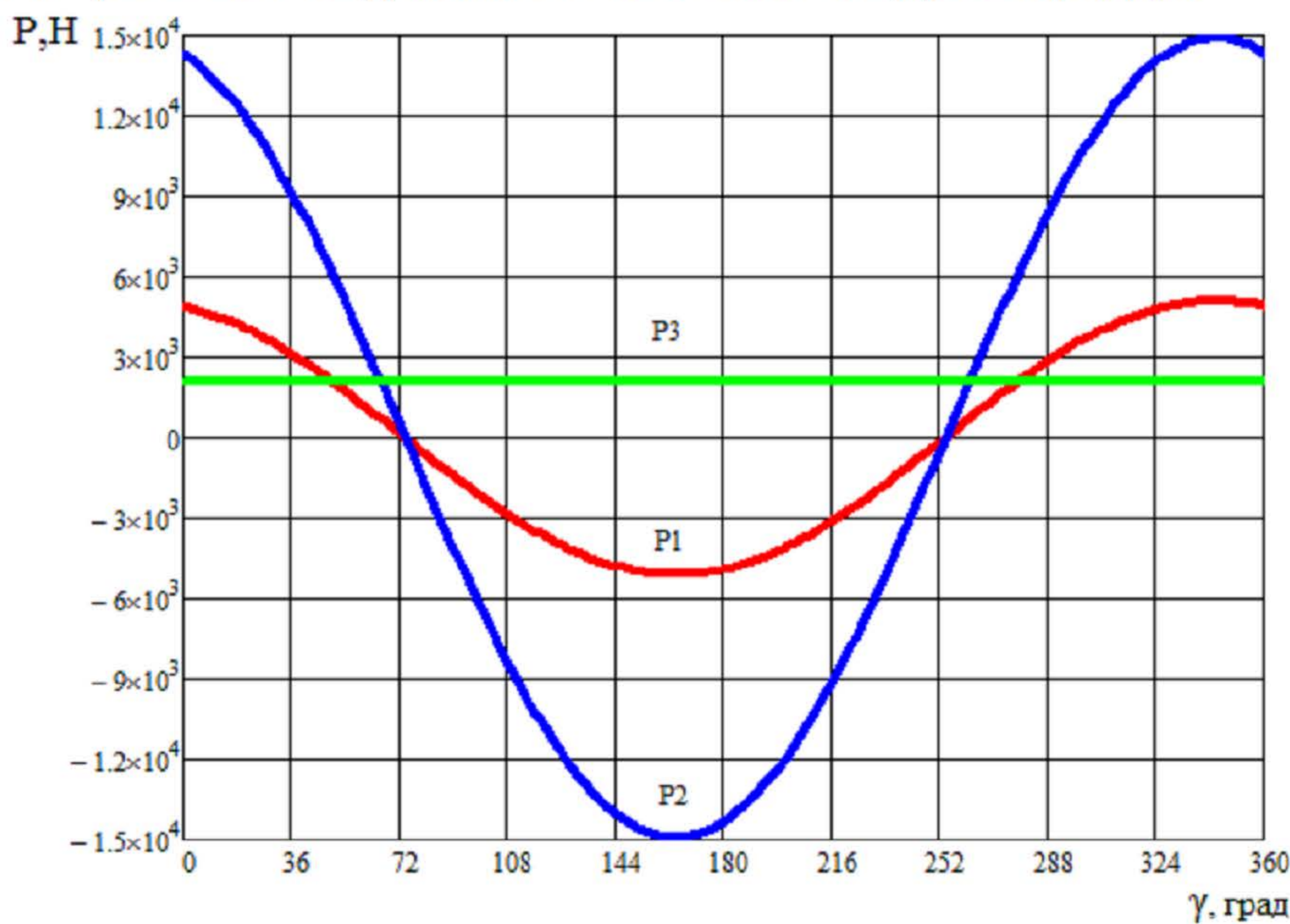


Рис. 2. Залежність складових сил різання (P_1, P_2, P_3) від значення кута γ

Силу для переміщення ножа можна представити у вигляді суми проєкцій на напрям руху ножа від сил: діючих на фаску $ABCD$ (сила P_1), на різальну кромку AD (сила P_2) та на плоску грань $AEKD$ (сила P_3):

$$P_1 = N_1 \cdot \cos \gamma + (F_{тр} - F_1) \cdot \sin \gamma$$

$$P_2 = \frac{(F_{тр} - F_2) \cdot \sin \gamma + N_2 \cdot \cos \gamma}{\sin \beta}$$

$$P_3 = N_3 \cdot f_3,$$

де N_1, N_2, N_3 – сили нормального тиску відповідно: на фаску, різальну кромку та плоску грань ножа, Н;

f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти тертя стебла (рослинної рештки) відповідно: по фасці, різальній кромці та плоскій грані ножа;

β – кут загострення ножа, градус;

$F_{тр}$ – зусилля, що передається від трактора, Н.

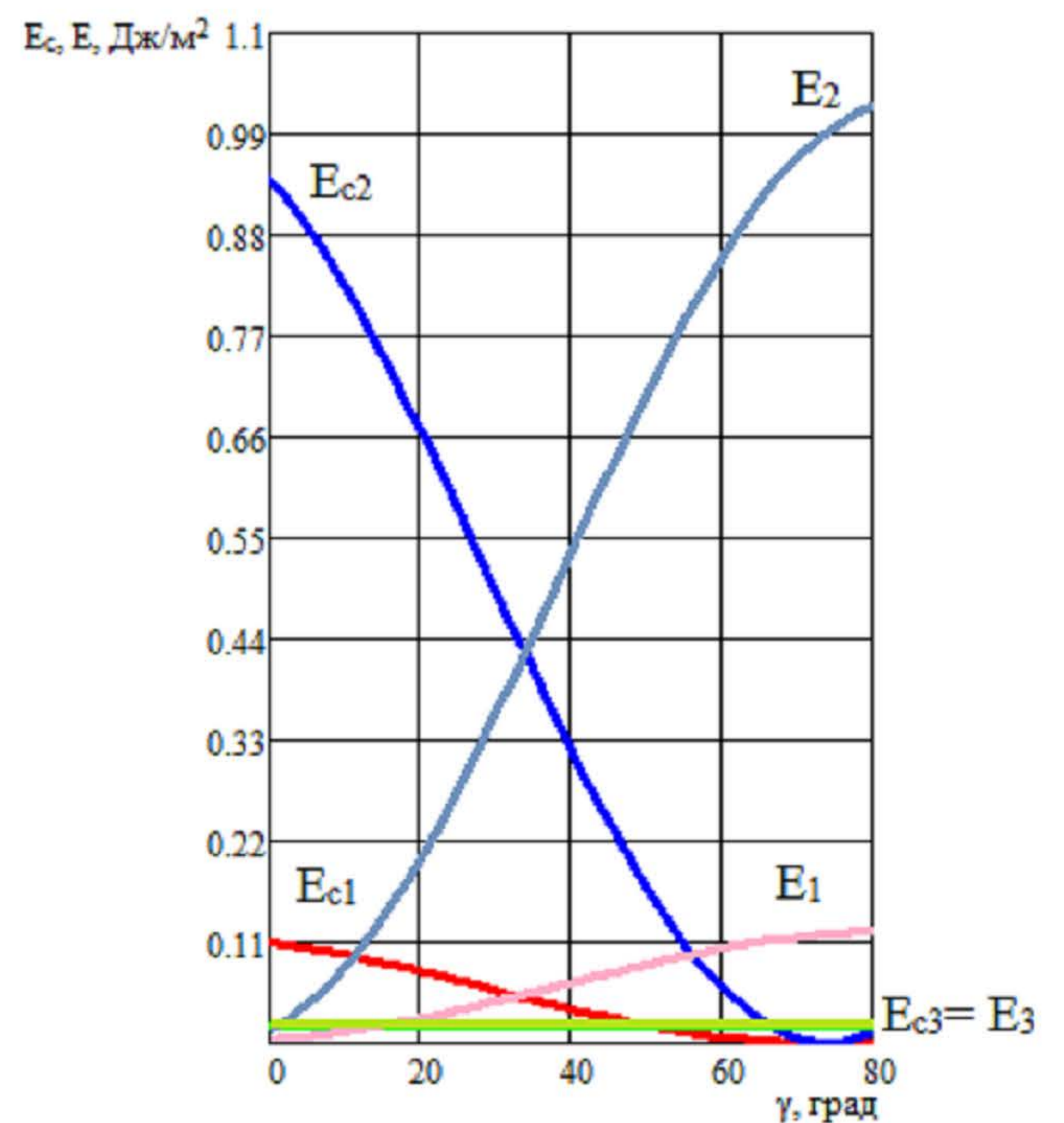


Рис. 3. Залежність питомої енергоємності (E_c) та (E) від кута γ

Лист, дата, Підп. і дата, Взам. инв. №, Инв. № дубл., Лист, и дата, Стр. №, Перв. примеч.

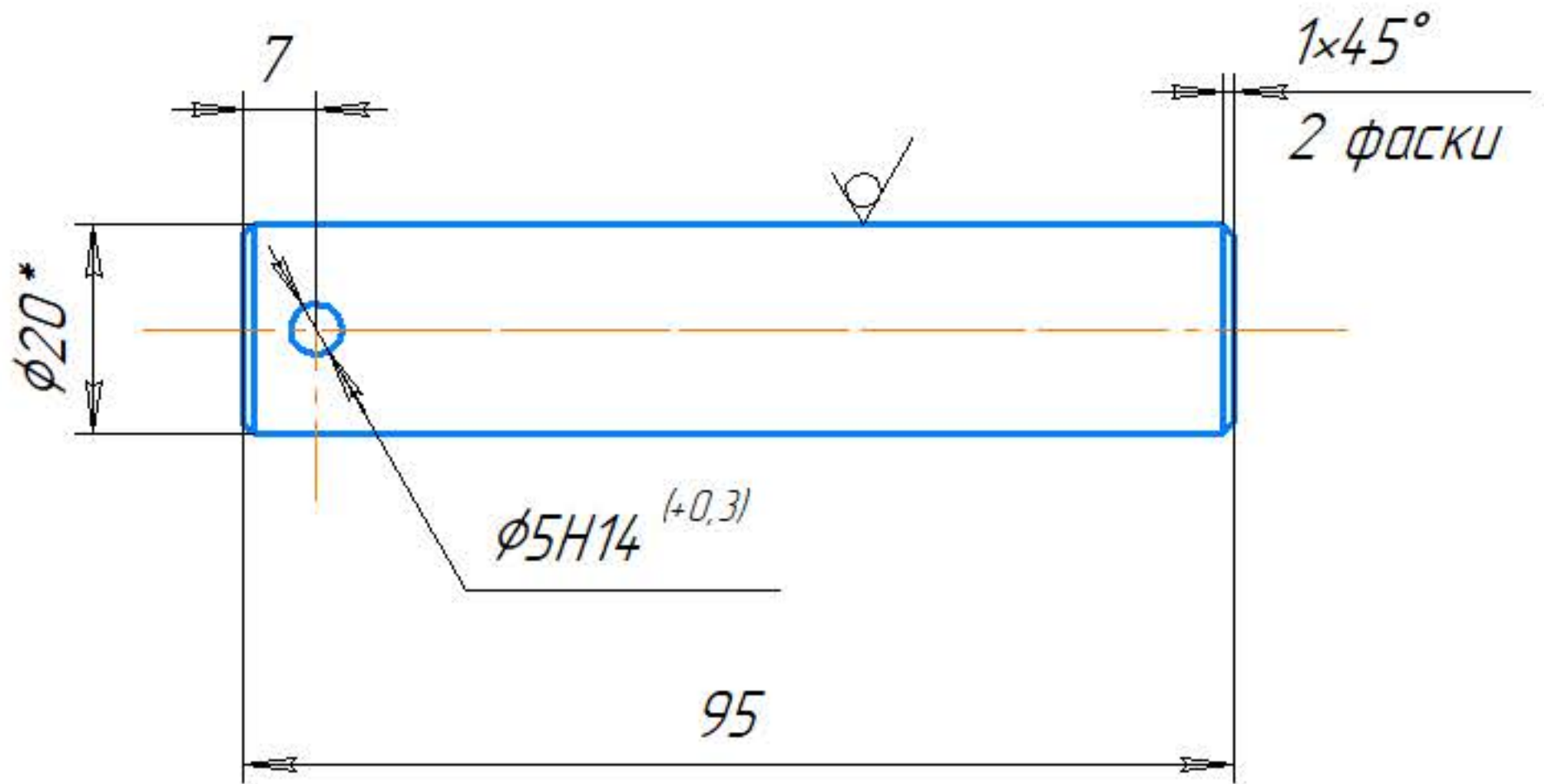
				КПА 00.006 НЧ			
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
		Разраб.	Колодийчук		Дослідна частина	-	-
		Проб.	Богатирьов		Лист	Листов	1
		Т.контр.					
		Н.контр.	Мачок				ЦНТУ
		Змб.	Лещенко				гр. ГМ-22М-2
				Копировал	Формат А1		

КПА 06.613

$\sqrt{Ra\ 12.5\ (\checkmark)}$

Перв. примен.

Справ. №



1. Невказані граничні відхилення розмірів $\pm IT14/2$.
2. *Розмір для довідок.

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

КПА 06.613

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Колодійчук		
Пров.		Богатирьов		
Т.контр.				
Н.контр.		Мачок		
Утв.		Лещенко		

Вісь

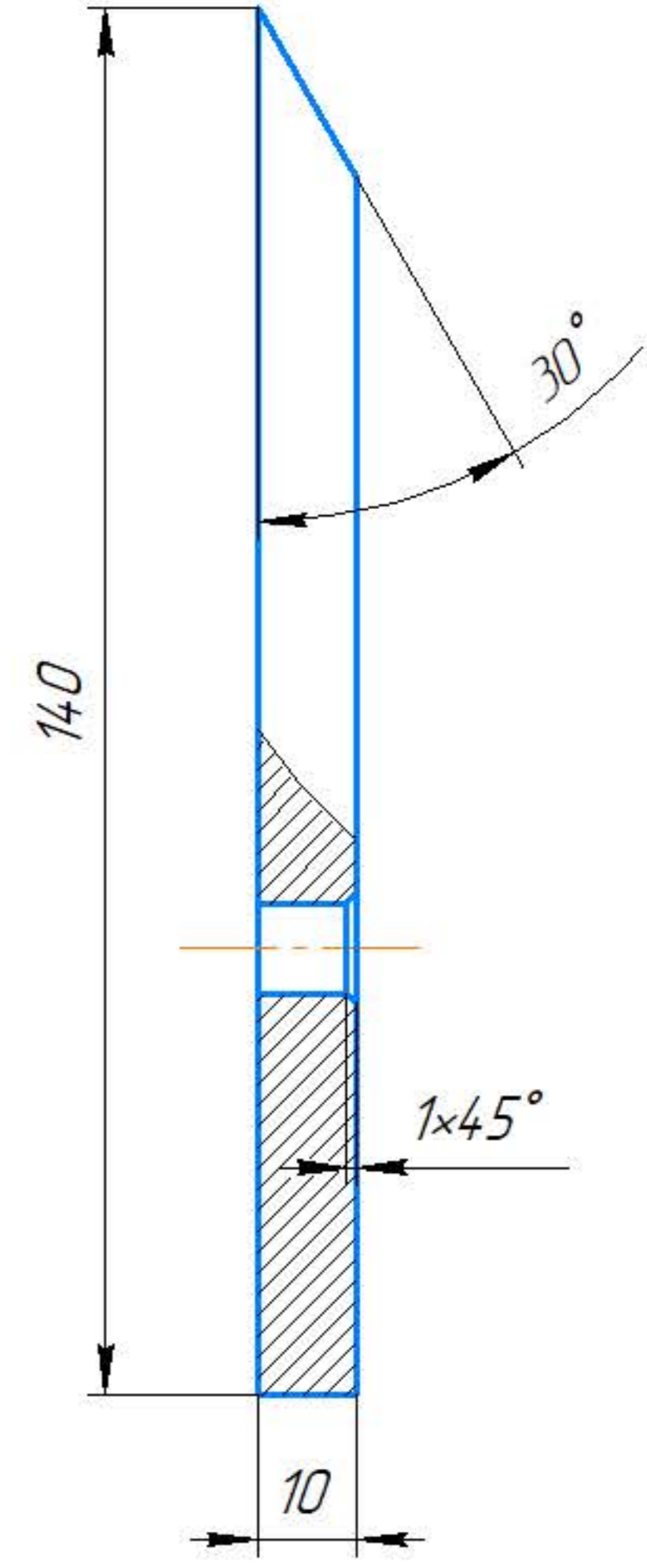
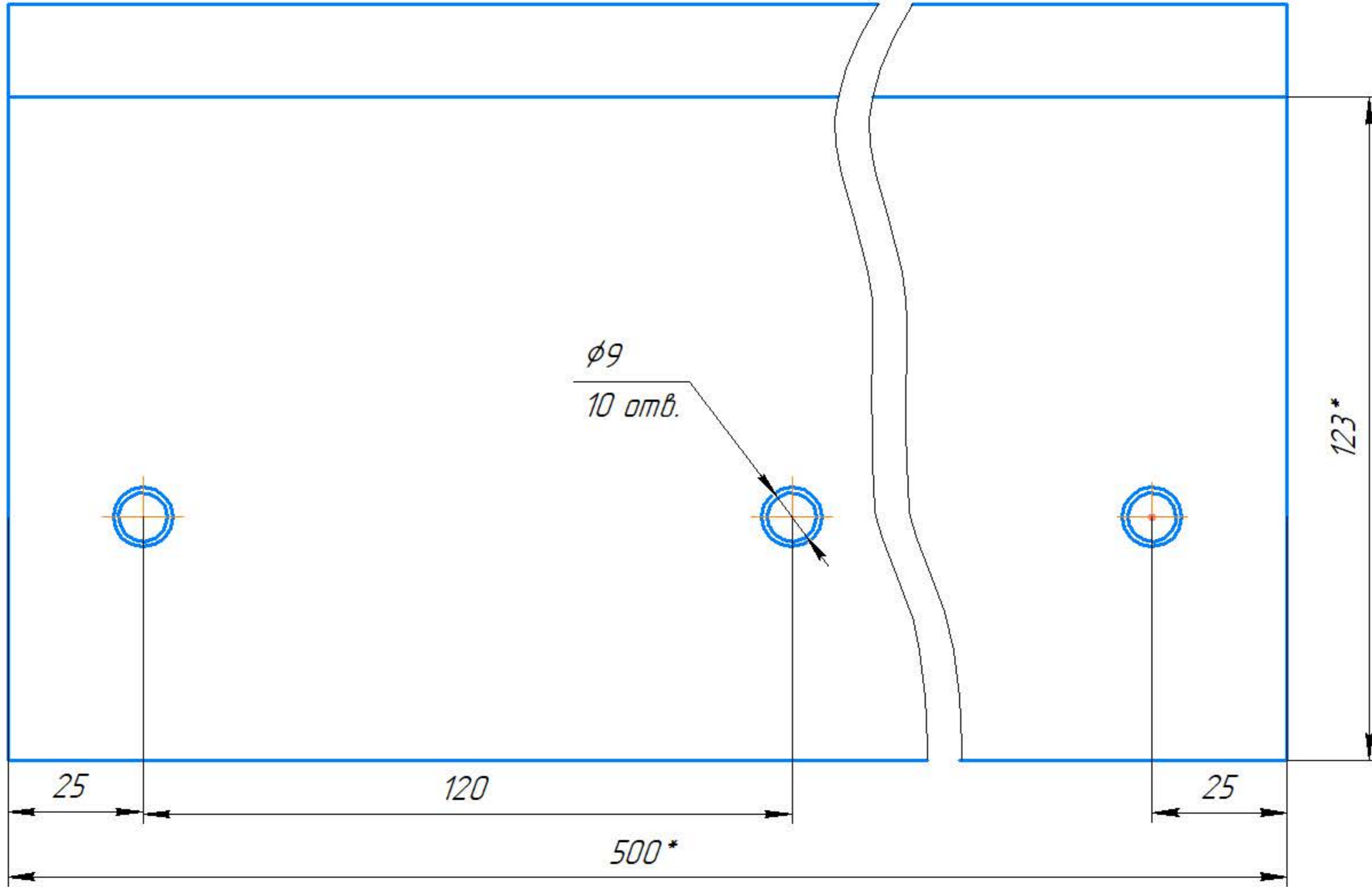
Лист	Масса	Масштаб
	0,28	1:1
Лист	Листов	1

Круг 20-h11 ГОСТ 7417-75
20-B-T ГОСТ 1051-73

ЦНТУ,
зр. ГМ-22М-2

КПА 03.601

√ Ra12,5 (√)



1. Періодичність заточування лез 200 годин.
2. *Разміри для довідок.

				КПА 03.601			
				Ніж			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Колодійчук				12	1:2
Проб.		Богадирьов			Лист	Листов	1
Т.контр.					10X1500X6000 ГОСТ 19903-74		
Н.контр.		Мачок			Лист 65Г ГОСТ 19281-89		
Утв.		Лещенко			ЦНТУ, зр. ГМ-22М-2		
				Копировал			
				Формат А3			

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

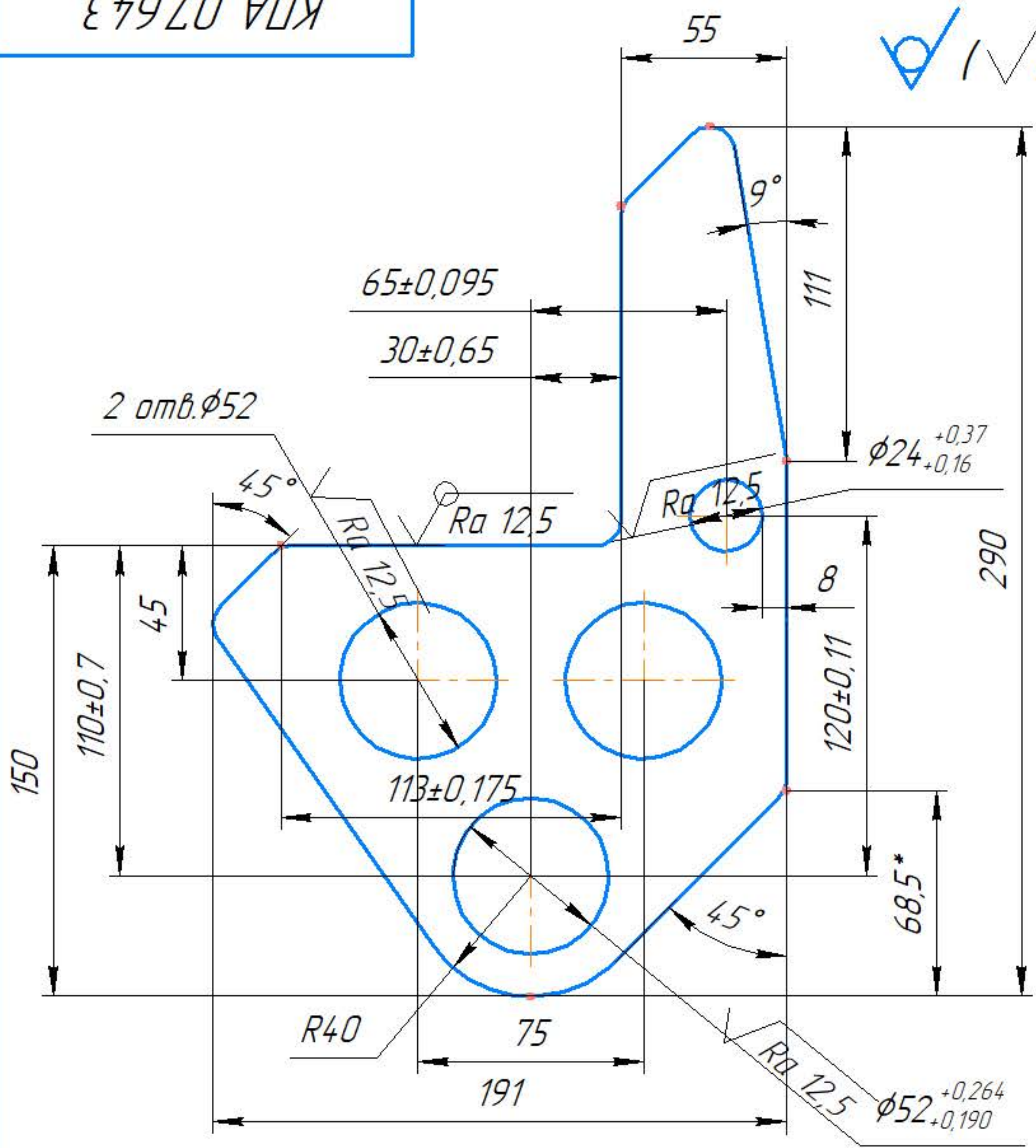
Инв. № подл.

КПА 07.643



Перв. примен.

Справ. №



1. Невказані радіуси R8мм.
2. Невказані граничні відхилення отворів H14; валів -h14; поверхонь за ±IT14/2.
3. Розміри для довідок.

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

КПА 07.643

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Колодійчук		
Пров.		Богатирьов		
Т.контр.				
Н.контр.		Мачок		
Утв.		Лещенко		

Пластина

Лист	Масса	Масштаб
	1,26	1:1
Лист	Листов	1

Лист Б-ПН-0-8 ГОСТ 19903-74
СтЗпс ГОСТ 14637-89

ЦНТУ,
гр. ГМ-22М-2



Перв. примен.

Справ. №

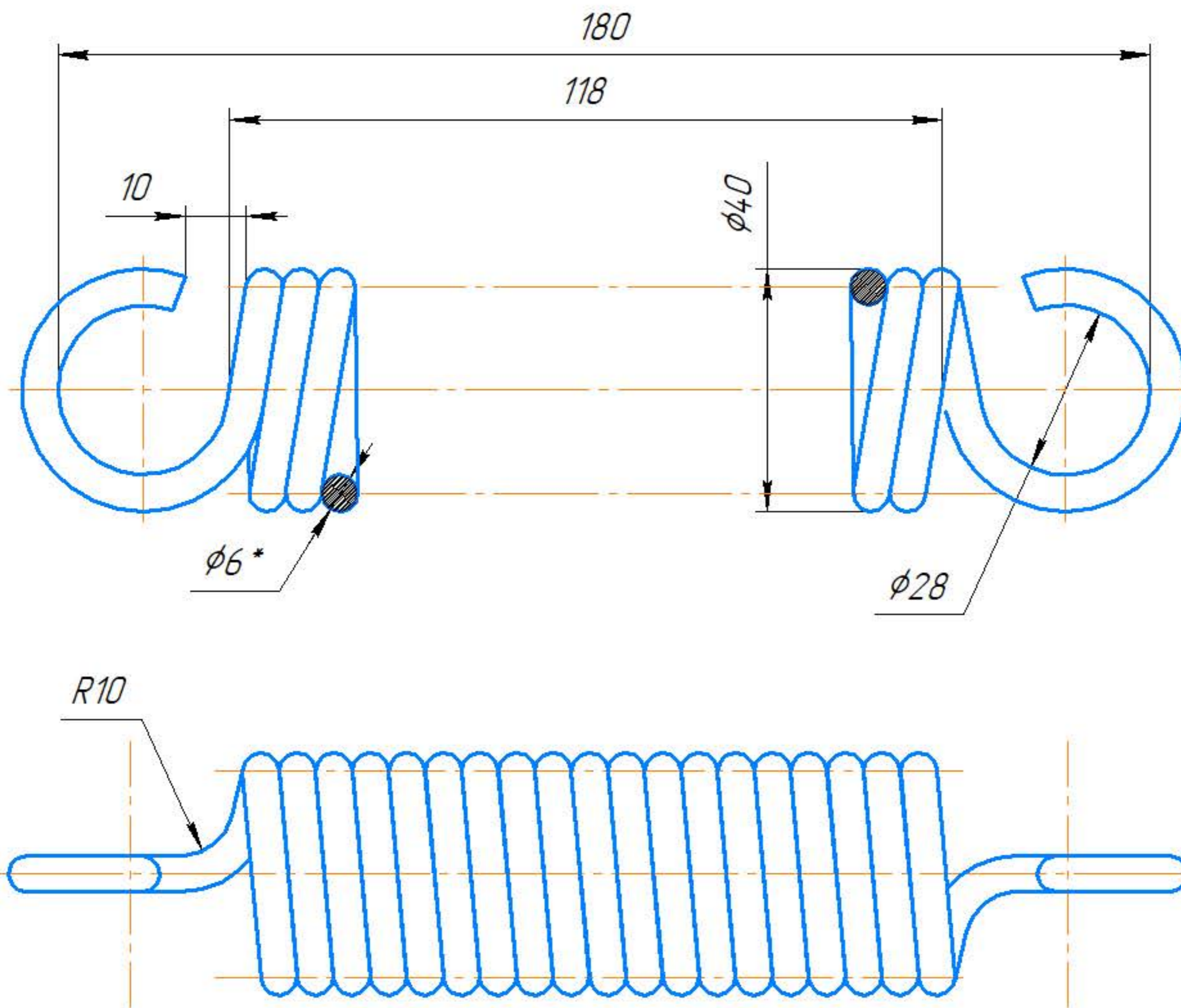
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



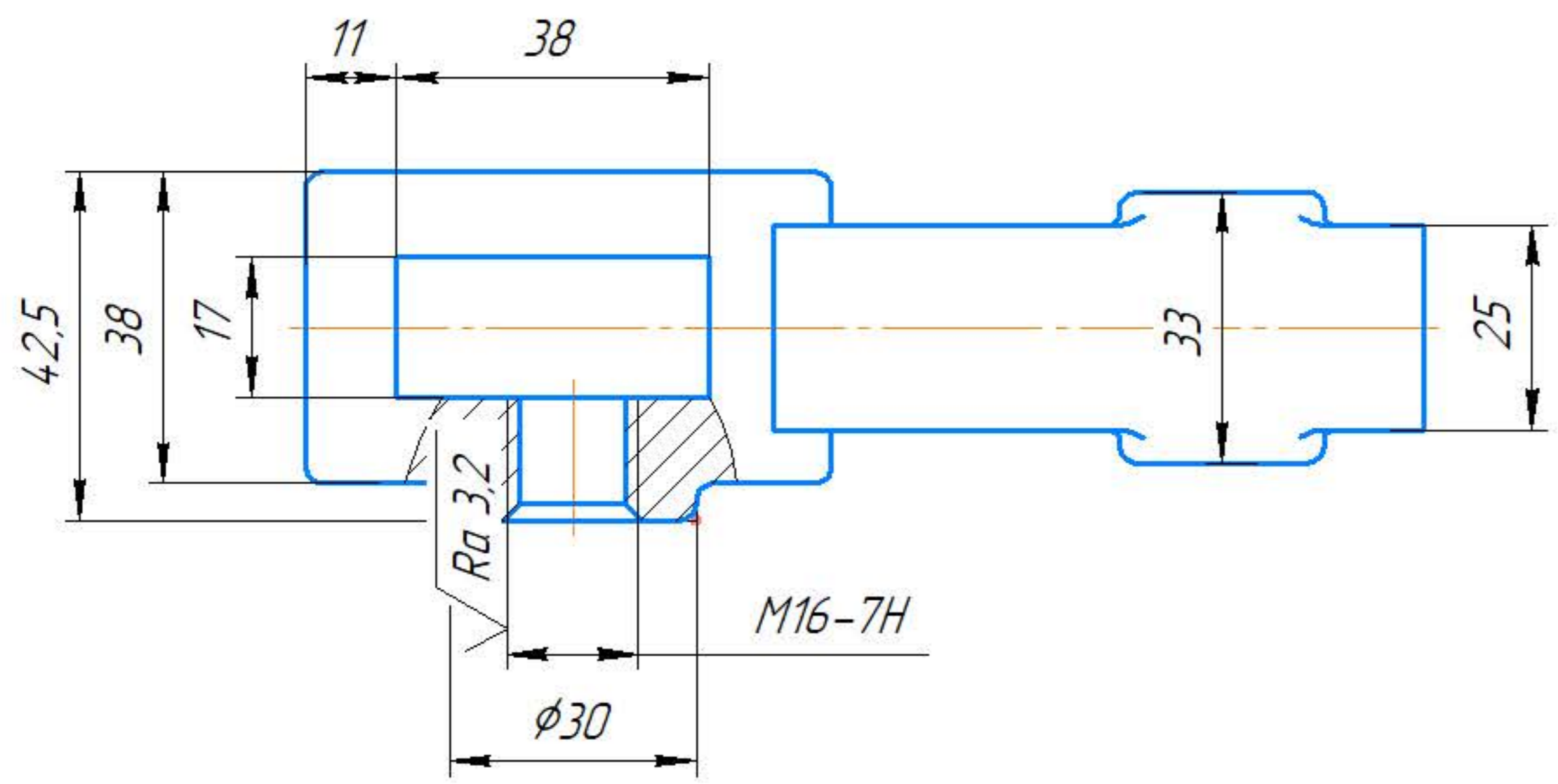
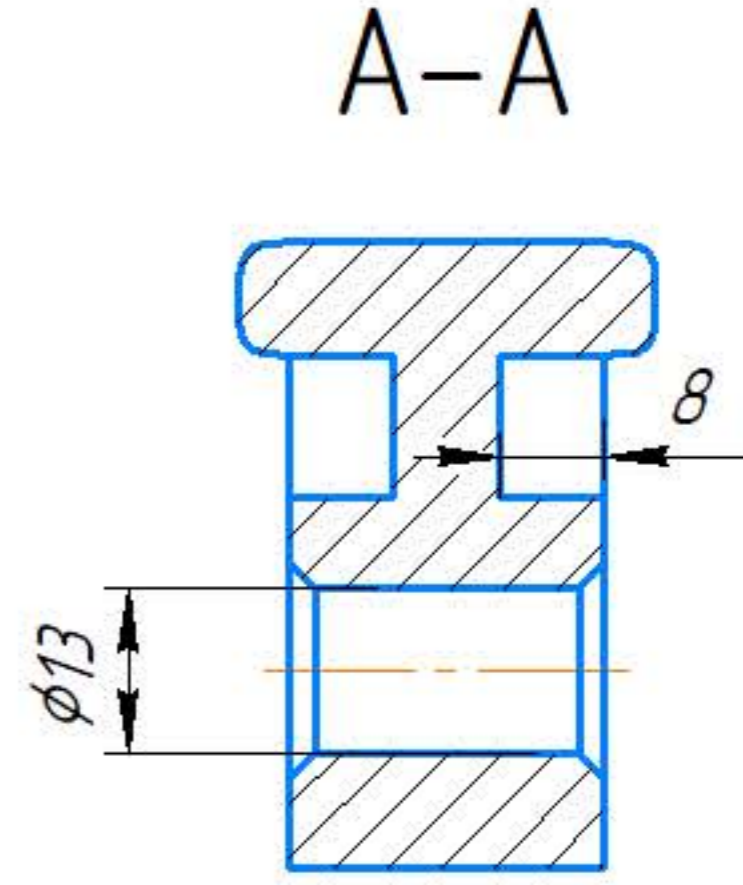
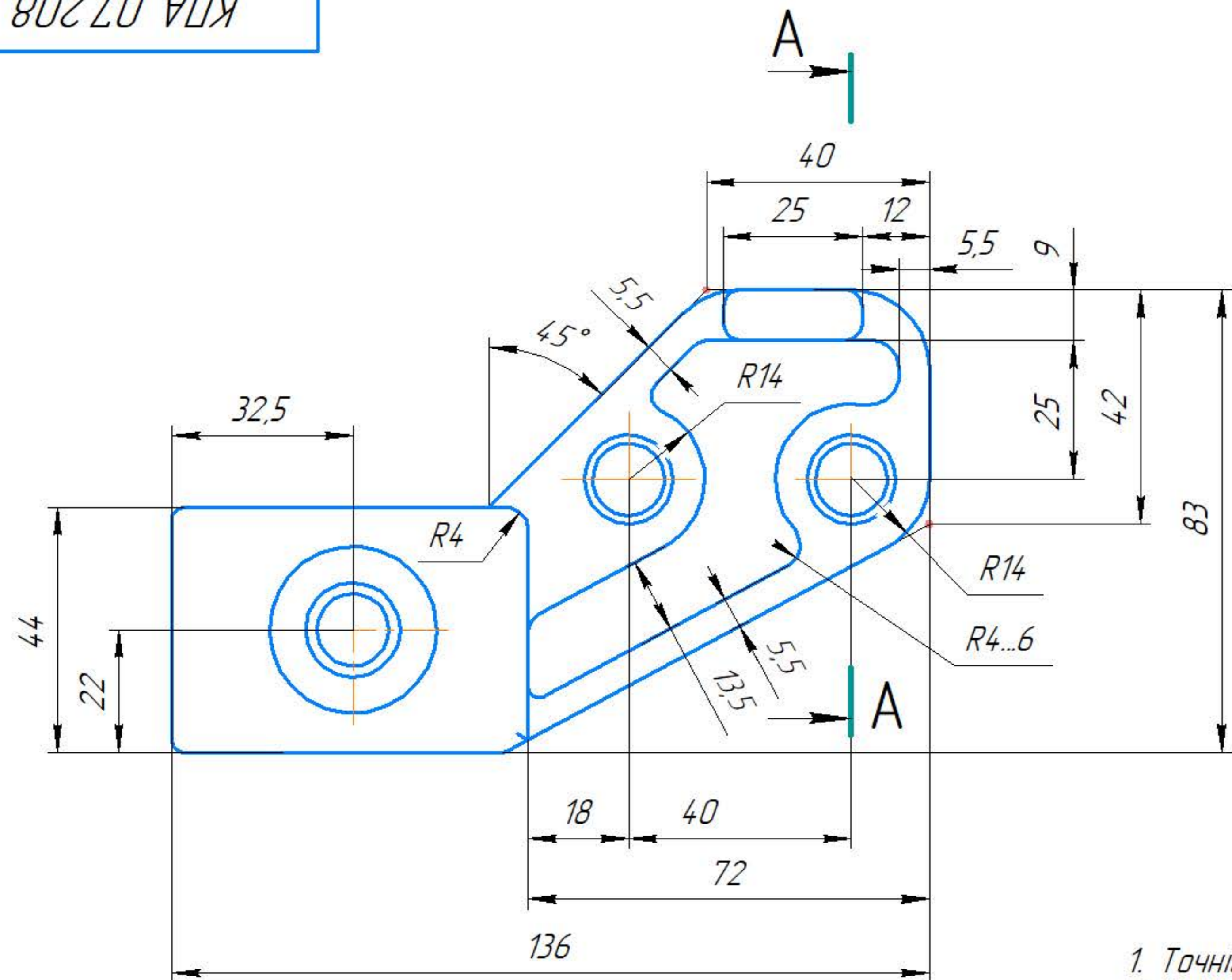
1. HRCэ 47 ... 53.
2. Пружина II класса №127 ГОСТ 13772-86. Напрямок навивки - правый. Число рабочих витков - 19.1 нші технічні вимоги за ГОСТ 16118-76.
- 3.*Разміри для довідок.
4. Довжина розгортки $L_p = 2354$ мм.
5. Покриття Ц9хр. за ГОСТ 9.306-85.

					КПА 06.603		
					Пружина		
					Проволока 60С2А-Н-ХН-6,0 ГОСТ 14963-78		
					ЦНТУ, зр. ГМ-22М-2		
					Формат А3		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Колодійчук				0,52	1:1
Пров.		Богадирьов			Лист	Листов	1
Т.контр.							
Н.контр.		Мачок					
Утв.		Лещенко					

КПА 07.208



Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.



1. Точність відливки 10-11 ГОСТ 26645-85.
2. Формувальні ухили за ГОСТ 3212-92.
3. Невказані ливарні радіуси 2...3 мм.
4. Тріщини та сквозні раковини не допускаються.
5. Невказані граничні відхилення оброблених поверхонь $\pm IT15/2$; H14.
6. Невказані фаски $2 \times 45^\circ$.

				КПА 07.208				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Тримач	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Колодійчук						1,1	1:1
Пров.	Богатирьов					Лист	Листов 1	
Т.контр.						Сталь 45 ГОСТ 1050-88		
Н.контр.	Мачок				ЦНТУ, зр. ГМ-22М-2			
Утв.	Лещенко				Копировал Формат А3			