

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

ДИПЛОМНА РОБОТА
Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **«Підвищення ефективності використання тракторів тягового класу 1,4, оснащених газовим обладнанням»**

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61
Спеціальності 208 „Агроінженерія”
(шифр і назва)

Пільганський Назарій Ігорович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: _____
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2021

УДК 621.433.2

Пільганський Н.І. “Підвищення ефективності використання тракторів тягового класу 1,4, оснащених газовим обладнанням” : Магістерська робота. Дубляни: Львівський НАУ, 2021. 81 с.

Табл. 17; рис. 30; бібліогр. джерел 30.

Проведений аналіз особливостей використання газомоторного палива в тракторних дизельних двигунах. Встановлено, що основним стримуючим чинником використання газобалонних тракторів є забезпечення тракторів, що виконують сільськогосподарські роботи, стиснутим природним газом. Особливо це актуально для фермерських господарств, що мають у своєму розпорядженні невеликий парк тракторів.

Проведені аналітичні дослідження раціонального розташування газових балонів на тракторах тягового класу 1,4 виходячи із критеріїв забезпечення стійкості тракторів під час роботи на схилах і належних тягово-зчіпних властивостей.

Представлена методика проведення експлуатаційних випробувань трактора тягового класу 1,4 та дослідження стійкості трактора. Встановлено, що найраціональнішим є встановлення газового обладнання на знімній касеті у передній частині трактора. Здійснений порівняльний аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень.

Розроблено комплекс заходів щодо попередження виникнення травм під час роботи тракторів на схилах. Обґрунтований найбільш прийнятний спосіб заправки трактора газоподібним паливом залежно від відстані до АГНКС.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Застосування газомоторного палива в тракторних дизелях	8
1.2 Способи забезпечення сільськогосподарської техніки газомоторним паливом.....	12
1.3 Висновки до розділу.....	23
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ГАЗОВИХ БАЛОНІВ НА ТРАКТОРІ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4	24
2.1 Загальна характеристика трактора ЮМЗ-8244	24
2.2 Визначення розташування центра тяжіння трактора	27
2.3 Визначення розташування центра тяжіння газобалонного обладнання	33
2.4 Оцінка граничних статичних кутів стійкості трактора ЮМЗ-8244	36
2.5 Оцінка впливу газобалонного обладнання на тягово-зчіпні характеристики трактора	46
2.6 Висновки до розділу.....	50
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	51
3.1 Загальні положення	51
3.2 Методика експлуатаційних випробувань	51
3.3 Методика експериментальних досліджень стійкості трактора ..	53
3.4 Висновки до розділу.....	55
4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4 З ГАЗОБАЛОННИМ ОБЛАДНАННЯМ	58
4.1 Результати експлуатаційних випробувань трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням	58
4.2 Результати експериментальних випробувань трактора ЮМЗ-8244 на стійкість	61
4.3 Висновки до розділу.....	62

5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
5.1	Стійкість трактора, як чинник забезпечення безпеки під час роботи на схилах	63
5.2	Аналіз процесів формування пожежонебезпечних і аварійних ситуацій під час обслуговування газобалонного обладнання	67
5.3	Екологічна безпека.....	68
5.4	Висновки до розділу.....	69
6	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ЗАПРАВКИ ТРАКТОРА ГАЗОПОДІБНИМ ПАЛИВОМ	70
6.1	Обґрунтування способу заправки трактора газоподібним паливом	70
6.2	Висновки до розділу.....	76
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	77
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Основний енергоносіє під час виробництва сільськогосподарської продукції – дизельне паливо, яке використовується для всіх тракторних, комбайнових і більшості автомобільних двигунів.

На тлі зростання цін на бензин і дизельне паливо використання природного газу дозволить скоротити витрати сільськогосподарських підприємств.

Практика показала, що переведення техніки на газомоторне паливо на 30% знижує експлуатаційні витрати, а капітальні вкладення в газобалонне обладнання окупаються за 1-1,5 року. На сьогодні проектується і вже вводяться в експлуатацію нові газові заправки для потреб агропромислового комплексу. Однак такі заправки доступні не для всіх підприємств через їх віддаленість. Для вирішення цієї проблеми використовуються пересувні газові заправки, які не завжди зручні для селянських (фермерських) господарств. Тому вдосконалення системи газопостачання та подачі газоподібного палива тракторам в сільському господарстві є сьогодні актуальним завданням.

Для агропромислового комплексу України перспективним способом переведення тракторів на роботу на газоподібному паливі є використання газодизельного циклу. Основними причинами, що стримують переведення сільськогосподарської техніки на газомоторне паливо, є недостатня кількість автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) і їх віддаленість від споживача. Тому вдосконалення доставки заправки техніки газом, особливо для селянських (фермерських) господарств з невеликою кількістю тракторів, вимагає додаткових досліджень.

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації тракторів тягового класу 1,4, оснащених газобалонним обладнанням, шляхом удосконалення технологічного процесу заправки газом.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз використання тракторів тягового класу 1,4 під час роботи на газомоторному паливі.
 2. Теоретично обґрунтувати оптимальне розміщення газових балонів на тракторі.
 3. Оцінити експериментально ефективність використання трактора, оснащеного паливною апаратурою, що працює за дизельним та газодизельним циклами.
 4. Удосконалити схему технологічного процесу заправки шляхом розробки знімного касетного модуля для газових балонів.
 5. Розробити комплекс заходів щодо попередження виникнення травм під час роботи тракторів на схилах.
 6. Визначити економічну ефективність пропонованих розробок.
- Об'єкт дослідження – трактор ЮМЗ-8244, оснащений газобалонним обладнанням з можливістю роботи за газодизельним циклом.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Застосування газомоторного палива в тракторних дизелях

Сьогодні є технічна можливість переведення на газомоторне паливо основних моделей тракторів і автомобілів, що використовуються в сільському господарстві.

Для сільського господарства найбільш простим і ефективним у використанні є спосіб переведення тракторних дизелів для роботи на газоподібному паливі за газодизельним циклом. При цьому способі практично не змінюється конструкція двигуна, зберігається серійна паливна апаратура, а головне – є можливість працювати як на дизельному паливі, так і на його суміші зі стисненим (СПГ) або зрідженим (ЗПГ) природним газом.

Розроблено технічну документацію на переобладнання для роботи на газомоторному паливі за газодизельним циклом тракторів К-701, 700А, Т-150К, ДТ-75, МТЗ-80/82, ЮМЗ-6, ЛТЗ-55 [10, 15, 17].

Газомоторне паливо є основним видом палива під час роботи дизеля за газодизельним циклом і як наслідок, поліпшуються умови змащення тертьової пари «циліндр - поршневі кільця», оскільки незгоріле дизельне паливо не змиває оливу зі стінок циліндрів. Зменшується нагароутворення в камері згоряння головки блока циліндрів і на поршнях, оскільки скорочується кількість вуглецевих відкладень. Помітно знижується сумарна токсичність відпрацьованих газів. При правильно обраному режимі роботи на газовому паливі рівень створюваного двигуном шуму знижується на 3-8 дБ, та й сам двигун починає працювати м'якше [10, 13].

Газ – високоякісне паливо з октановим числом близьким 105. Тому ні на одному режимі роботи двигуна не виникає детонація. Застосування газу помітно знижує порівняно із бензином сумарну токсичність відпрацьованих газів.



Рисунок 1.1 – Сільськогосподарські трактори з газобалонним обладнанням

Більш ніж втричі зменшується кількість токсичного окису вуглецю CO , в 1,6 рази – вміст канцерогенних вуглеводнів CH , що складаються з частинок незгорілого палива. Концентрація окису азоту NO і двоокису NO_2 , що утворюються в процесі горіння суміші кисню та азоту під час роботи двигуна на газі знижуються в 1,2-1,4 рази [11, 14, 30].

Поряд з перерахованими перевагами газобалонного трактора слід зазначити і ряд властивих йому недоліків, а саме: неможливість запуску двигуна в холодну пору року на газі; зниження потужності двигуна на 7%; збільшення металоємності на 25-30 кг, балони займають місце [2, 30].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика дизельних і газодизельних тракторів К-701 і МТЗ-82 [5]

Показник	Марка трактора			
	К-701		МТЗ-82	
	Базовий	Газобалонний	Базовий	Газобалонний
1	2	3	4	5
Номінальне тягове зусилля, кН (тс)	50 (5)	50 (5)	14 (1,4)	14 (1,4)
Номінальна потужність двигуна, кВт (к. с.)	198,5 (270)	198,5 (270)	55,1 (75)	55,1 (75)
Експлуатаційна маса трактора, т	13,5	–	3,62	
- з стальними балонами				
- з металопластиковими балонами		14,7 14,3		3,81
Діапазон швидкостей, км/год	2,6-33,8	2,6-33,8	1,94-34,3	1,94-34,3
Витрата палива на номінальній потужності в дизельному режимі, кг/год	51,8	51,8	13,5	13,5
Те ж в газодизельному режимі, кг/год		10		2,6
Тривалість роботи на одній заправці паливом, годин:				
на транспортних роботах				
- в дизельному режимі	26,0	29,2	16,7	23,0
- в газодизельному режимі		10,5		10,5
на оранці				
- в дизельному режимі	15,0	22,0	10,0	13,6
- в газодизельному режимі		7,0		4,6
Кількість газових балонів/ємність одного балона, л	–	18/50	–	4/51

На тиск газу в балоні впливає температура навколишнього середовища, тому треба стежити, щоб він не перегрівався. Якщо балон повністю заповнений, то навіть незначне підвищення температури може призвести до різкого збільшення тиску [13, 30].

Результати проведеної оцінки показали, що збільшення маси трактора за рахунок встановлення балонів для СПГ не призводить до підвищення щільності ґрунту високої вологості, що пояснюється збільшенням плями контакту шин з ґрунтом при зростанні навантаження на них, а також ефектом дилаксації, який призводить до роздавлювання ґрунту і зниження його твердості. Під час досліджень на стерні з вологістю фізичної стиглості ґрунту спостерігається незначне погіршення ґрунтових характеристик: збільшення твердості ґрунту на 7,8%, опору під час оранки на 2,4%, зниження коефіцієнта кришіння пласта на 3,9%. Дані незначні негативні ефекти усуваються у випадку комплектації трактора шинами більшого розміру (66x43,00 R 25) [22].

Встановлення балонів над кабіною газодизельного трактора МТЗ-82 зменшує в межах допустимого кут поперечної статичної стійкості на $2^\circ - 33^\circ$ і утруднює відкриття люка на даху для очищення повітряного фільтра системи нормалізації мікроклімату. Також варто відзначити, що встановлення балонів на даху ускладнює їх обслуговування [4].

Під час встановлення балонів на с.-г тракторах не збільшуються габарити тракторів, за винятком габариту за висотою при монтажі балонів на даху кабін. З метою забезпечення в'їзду газобалонних тракторів у ворота тваринницьких ферм розроблена конструкція встановлення балонів на тракторах МТЗ, ЮМЗ без збільшення габаритних розмірів трактора за висотою.

Аналіз літературних джерел і досвід експлуатації тракторів К-700А, оснащених газобалонним обладнанням, дозволяє виявити основні переваги використання природного газу метану в тракторних двигунах [4, 12]:

- зменшення витрати палива в 1,5-2 рази;
- поліпшення екологічних показників NO_x до 20%; CH_4 – до 30%; CO до 10%;
- можливість працювати як за дизельним, так і за газодизельним циклами.

Перераховані переваги використання природного газу порівняно з дизельним паливом дозволяють переводити сільськогосподарську техніку для роботи на газомоторному паливі, що сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

Експлуатація сільськогосподарських тракторів, оснащених газобалонним обладнанням, має ряд недоліків:

- 1) невеликий час роботи на одній заправці;
- 2) тривалість заправки газоподібним паливом і недостатня кількість газо-заправного обладнання, особливо АГНКС (автомобільні газонаповнювальні компресорні станції);
- 3) необхідність використання додаткових пересувних засобів заправки;
- 4) створення додаткової виробничої бази, що забезпечує безпеку експлуатації;
- 5) збільшення маси трактора за рахунок встановлення додаткового газобалонного обладнання.

Як видно з аналізу наявних недоліків, стримуючим фактором використання газомоторного палива в с. г. є газопостачання тракторної техніки.

1.2. Способи забезпечення сільськогосподарської техніки газомоторним паливом

Сьогодні основними способами забезпечення автотракторної техніки газовим паливом є:

- заправка стисненим природним газом (СПГ) на АГНКС (автомобільні газонаповнювальні компресорні станції);
- наповнення пересувного автомобільного газового заправника (ПАГЗ) на АГНКС і доставка його до місця роботи тракторів;
- будівництво міні АГНКС у сільській місцевості;
- скраплення газу на АГНКС і транспортування його до споживача.

АГНКС – це газова автомобільна компресорна станція, призначена для заправки легкових автомобілів, автобусів, с.-г техніки та інших видів транспортних засобів, двигуни яких переобладнані для роботи на газі. Вона приєднується до газопроводу, після чого тиск газу доводиться до 200 атм.

МініАГНКС зручні тим, що підключаються практично до будь-яких побутових газових мереж, малогабаритні і мають відносно невелику вагу, але вимагають досить великої пропускної здатності існуючих газових мереж [1, 25, 29]. Електроенергія, яку споживає міні компресор, цілком забезпечується звичайною електричною мережею у 220 В. Таким чином, підключити і використовувати метановий компресор можна в самих звичайних побутових умовах. Це дає можливість встановити газовий компресор у невеликих транспортних підприємствах, що займаються перевезеннями, на сільськогосподарських станціях техобслуговування.

Одним з рішень заправки машин природним стисненим газом в умовах недостатньої розвиненості мережі АГНКС є встановлення власних компактних газозаправних пристроїв. Компанія BRC FuelMaker (Італія) виробляє ряд таких побутових заправних пристроїв, які можуть встановлюватися скрізь, де є доступ до побутової газової труби і джерела електроенергії (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики побутових заправних пристроїв

Показники	Технічні характеристики	
	FMQ-8,36	FMQ-10
Габаритні розміри, мм	848x1228x813	848x1228x813
Маса, кг	263	263
Тиск на виході, бар	248	207
Напруга мережі, В	220	220
Споживання електроенергії, кВтгод	3,6	4,8
Витрата газу, м ³ /год	10,3	13,6
Шум від роботи, дБ	66	66

Унікальність цих газозаправних пристроїв полягає в тому, що всі основні вузли – компресор, вентилятор, газозаправні агрегати, електронний блок

управління з програмним забезпеченням – розміщені в одному малогабаритному корпусі.

Одним із способів розширення можливості застосування газомоторного палива є заправка віддаленої від АГНКС техніки пересувними автогазозаправниками (ПАГЗ), призначеними для транспортування стиснутого природного газу і заправки ним автомобілів безкомпресорним способом на спеціально обладнаних майданчиках, а також для газифікації окремих підприємств. Технічні характеристики базових автопоїздів представлені в таблиці 1.3.

ПАГЗ є спеціальним транспортним засобом, до складу якого входять акумулятори газу, газозаправні колонки з комерційним обліком газу, система автоматичного управління заправкою автомобілів і додаткове обладнання. ПАГЗ виконують на базі комплекту технологічного обладнання АГНКС.

ПАГЗи бувають двох типів – пасивного (рисунок 1.2) і активного (рисунок 1.3). ПАГЗ пасивного типу дозволяє перевозити більшу кількість газоподібного палива і має меншу вартість, як самого ПАГЗ, так і палива, що заправляється, ніж ПАГЗ активного типу. Проте ПАГЗ активного типу має в своєму складі компресор, який займає досить великий простір у вантажному відсіку, привід якого здійснюється від теплового двигуна, що працює, як правило, на тому ж газоподібному паливі, що дозволяє здійснювати заправку техніки тиском 20 МПа, в той же час, як заправка від ПАГЗ пасивного типу дозволяє заповнити балони с.-г техніки до тиску, що залежить від пропорційного співвідношення об'єму балонів ПАГЗ і об'єму балонів техніки, що заправляється.

Збільшення витрат на заправку прямо пропорційне витратам, пов'язаним із придбанням і експлуатацією ПАГЗ і обернено пропорційне кількості газу, що заправляється в газобалонні автомобілі за певний період часу. Вихідними даними для розрахунку є конструктивні параметри і ціна ПАГЗ, умови і організація їх експлуатації.

Серійне виробництво ПАГЗ розпочато в 1988 р Сумським машинобудівним науково-виробничим об'єднанням спільно з Одеським насосним заводом.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики заправних пристроїв

Параметр	КамАЗ-5410 з н/п 937001	КамАЗ- 54112 з н/п 9385	МАЗ-54323 з н/п МАЗ-9397	МАЗ-64227 з н/п МАЗ-9389
Колісна формула	6x4+2	6x4+2	4x2+2	6x4+3
Навантаження на сідло- во-зчпний пристрій, кН (кгс)	79,4 (8100)	107,8 (11100)	86,2 (8800)	144 (14700)
Повна маса, кг: напівпричепи автопоїзда	19100 26125	26000 33325	26800 34000	38700** 48000*
Маса вантажу, що пере- возиться (газобалонна установка і стиснений газ), кг	14500	20500	20100	32700
Навантаження на дорогу, кН (кгс) через шини передніх ко- ліс через шини задніх коліс через шини коліс напівп- ричепи	38,6 (4175) 101,4 (10960) 101,8 (11000)	43,0 (4395) 136,5 (13930) 141,0 (15000)	58,8 (6000) 98,0 (10000) 176,4 (18000)	58,8 (6000) 176,5 (18000) 235,2 (24000)
Габаритні розміри, мм: тягача напівпричепи	6180x2500x 2830 9400x2500x 2040	6180x2500x 2830 10390x2500 x2090	5980x2500x 3550 11455x2500 x2145	6570x2500x 3550 12325x2500x 1495
Платформа напівпричепи, мм внутрішні розміри завантажувальна висота	9180x2320 1450	10700x2320 1480	11280x2420 1450	12325x2500 1415
Об'єм газобалонної уста- новки при використанні балонів з відносною ма- сою 2,1 кг/дм ³ , м ³	5,5	7,3	7,3	13,2

Примітка: н/п - напівпричп; ** - великоваговий; * - допустима маса



Рисунок 1.2 – Пересувний автогазозаправник пасивного типу



Рисунок 1.3 – Активний пересувний автогазозаправник мод. 1200К (з компресором)

За відомих параметрів СПГ (тиск, температура, склад) і технологічної схеми заправки (кількість секцій ПАГЗ, коефіцієнт спорожнення) об'єм газу, що заправляється в автомобілі за одну поїздку, визначається масою і габаритами газобалонної установки ПАГЗ, які, в свою чергу, обмежені вантажопідйомністю (з врахуванням повної маси, розподілу осьових навантажень) і допустимими габаритами базового шасі. Отже, з метою збільшення об'єму газу, що заправляється в балони за базові для ПАГЗ транспортних засобів (з враху-

ванням парку машин і характеристик дорожньої мережі) слід використовувати тягачі з напівпричепами максимальної вантажопідйомності, наприклад, такі, як ПАГЗ 2500-25 на базі автопоїзда в складі сідельного тягача КАМАЗ-54118 і напівпричепа ЧМЗАП-99874.

Продуктивність ПАГЗ і витрати на доставку газу споживачеві безпосередньо залежать від числа напівпричепів, що використовуються з одним ПАГЗ.

Пересувні газозаправники, пропонувані для забезпечення сільськогосподарської мобільної техніки СПГ, можуть бути поділені на три типи:

1. Пересувні автомобільні газозаправники (ПАГЗ), де газобалонні установки (ГБУ) встановлюються на кузовах автомобілів або ж на автомобільних прицепах (напівпричепах), а тягачем є автомобіль.

2. Пересувні тракторні газозаправники (ПТГЗ), де ГБУ встановлюється на тракторному причепі (напівпричепі), а тягачем є трактор.

3. Пересувні комбіновані газозаправники (ПКГЗ), де ГБУ встановлюються на автомобільному причепі (напівпричепі), а тягачем є трактор.

Всі перераховані вище типи пересувних газозаправників мають свої переваги і недоліки.

Перевага ПАГЗ порівняно із ПТГЗ і ПКГЗ – відносно висока середня технічна швидкість, недолік – слабка прохідність по ґрунтовим дорогах.

Перевага ПКГЗ в порівнянні з ПТГЗ – можливість при його комплексному використанні з ПАГЗ обходитися без перекачування в нього газу від ПАГЗ. Цей процес проводиться в такий спосіб: заправлений на автомобільній газонаповнювальній компресорній станції (АГНКС) ПАГЗ доставляє газове паливо до доріг, що не дозволяють його експлуатацію, де причіп (напівпричіп) з ГБУ відчіплюється від автомобільного тягача і чіпляється до тракторного тягача. При цьому можна виділити чотири основні схеми заправки газомоторним паливом, які представлені на рисунку 1.4, а аналіз їх переваг і недоліків – в таблиці 1.4.

Заправка с.-г техніки за схемою «а» проводиться безпосередньо АГНКС, куди техніка доставляється безпосередньо з місця роботи.

За схемою «б» заправка автотракторної техніки здійснюється від заправлених на АГНКС пересувних автогазозаправників (ПАГЗ). ПАГЗи використовуються за умови, що дорога на всій ділянці шляху має тверде дорожнє покриття. Заправка автотракторної техніки в цьому випадку проводиться на обладнаних майданчиках, куди вона і доставляється з місця роботи.

У відповідності зі схемою «в» заправка сільськогосподарських машин відбувається від балонних модулів (БМ), які в свою чергу заправляються від ПАГЗ, що доставляють стиснений природний газ від АГНКС.

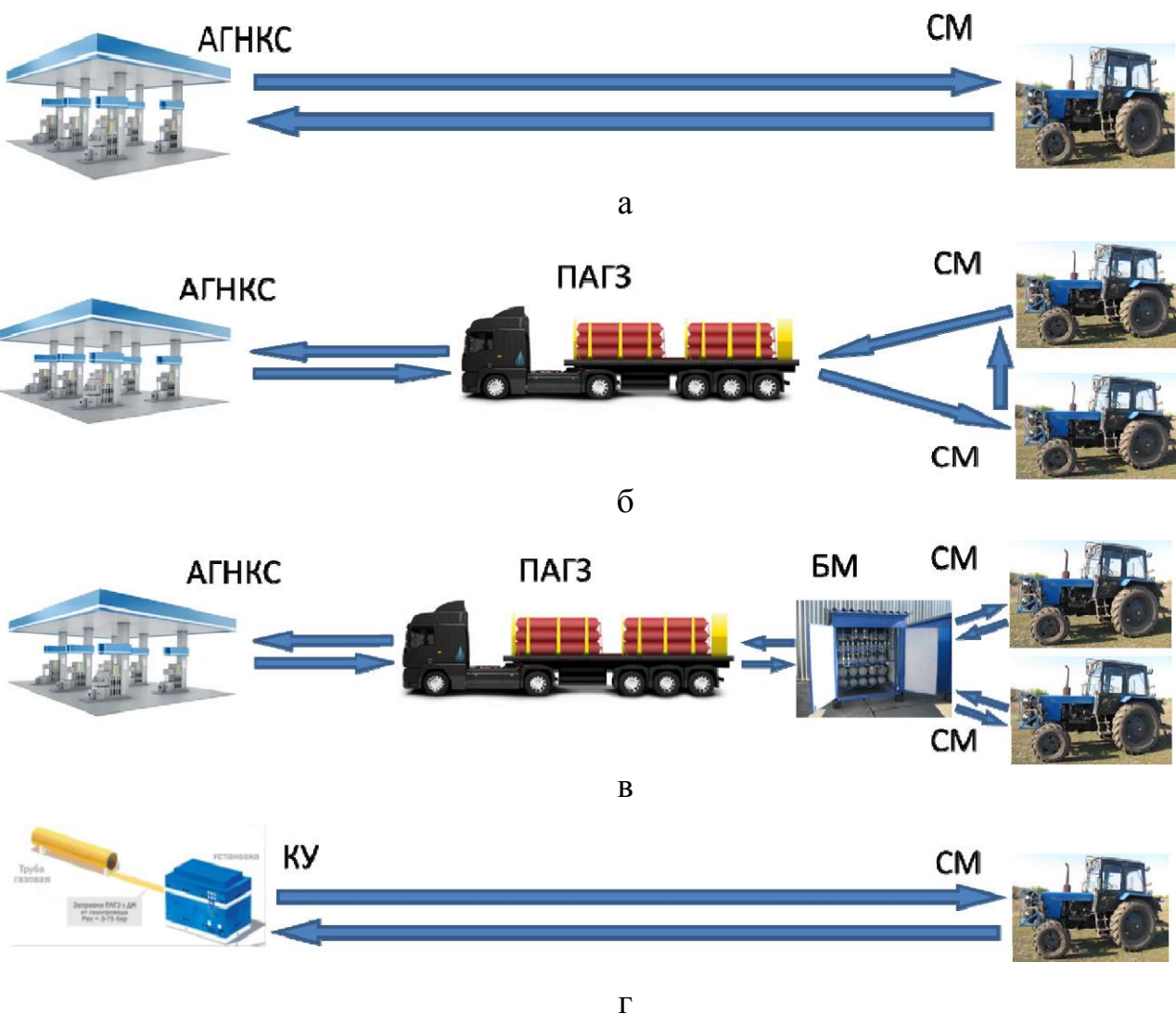


Рисунок 1.4 – Основні схеми заправки сільськогосподарської техніки стисненим природним газом

Заправка автотракторної техніки за схемою «г» проводиться від компресорної установки (КУ), яка підключена до системи центрального газопостачання.

Таблиця 1.4 – Аналіз схем заправки сільськогосподарської техніки

Назва і короткий опис схеми	Переваги	Недоліки
Схема «а». Заправка сільськогосподарських машин (СМ) за цією схемою проводиться безпосередньо на автомобільних газових наповнювальних компресорних станціях (АГНКС), куди СМ переганяють з місця роботи	Висока продуктивність і пропускання здатність	Віддаленість від основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки
Схема «б». За цією схемою заправка СМ проводиться від заправлених на АГНКС пересувних автогазозаправників (ПАГЗ). ПАГЗи використовуються за умови, що дорога на всій ділянці шляху має дорожнє покриття. Заправка СМ в цьому випадку проводиться на обладнаних майданчиках куди вони, і доставляються з місця роботи	Близькість до основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки	Низька продуктивність і пропускання здатність, неповна заправка (у випадку з використанням пасивного ПАГЗ), додаткові витрати на заправку
Схема «в». Заправка сільськогосподарських машин проводиться від балонних модулів (БМ), які в свою чергу заправляються від ПАГЗа, що підвозить стиснений природний газ від АГНКС	Висока продуктивність і пропускання здатність	Віддаленість від основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки
Схема «г». Заправка СМ за даною схемою може здійснюватися від компресорної установки (КУ), яка підключена до системи центрального газопостачання	Близькість до основних місць експлуатації сільськогосподарської техніки	Низька продуктивність і пропускання здатність

Особливість роботи сільськогосподарської автотракторної техніки полягає в тому, що заправка тракторів газомоторним паливом повинна проводитися безпосередньо в полі. У міру закінчення запасу палива трактори заправляються від пересувних заправників на краю поля.

При цьому слід враховувати ту обставину, що споживання палива має два піки, які спостерігаються у весняний і осінній періоди роботи. У ці періоди навантаження на трактор зростає в кілька разів, тобто потреба в паливі залежить від сезонності. Із збільшенням кількості с.-г техніки зростає потреба у паливі в піковий період, що обумовлює нерівномірне завантаження паливозаправного обладнання. Виходом з цього положення є придбання мініАГНКС, за умови, що у сільськогосподарського підприємства є 15-20 тракторів.

Таким чином, невеликим селянським (фермерським) господарствам економічно недоцільно купувати ПАГЗ і переобладнувати трактори для роботи на газомоторному паливі. До недоліків ПАГЗ також можна віднести:

- тривалість заправки на АГНКС до 6 год;
- в балонах для зберігання стисненого природного газу пересувного газозаправника з безкомпресорним відбором газу залишається невикористаним до 50% об'єму його заправки [25];
- за невеликої кількості газобалонних тракторів заправне обладнання (ПАГЗ) використовуються лише на 5-7% від своїх можливостей.

Відомо безліч розробок з використання ПАГЗ. Аналіз показав, що трактори марок К-701, К-700А, Т-150К, МТЗ- 80/82, ЮМЗ-6, ЛТЗ-55, в основному складають тракторний парк більшості сільгоспідприємств, на одній заправці стисненим природним газом тиском 20 МПа можуть працювати в газодизельному режимі на оранці 4,5-7 год. Цього недостатньо для роботи в полі на одній заправці повний світловий день.

Для збільшення часу роботи тракторів на одній заправці СПГ до 11-13 год використовують пересувні газозаправники з робочим тиском газу в блоці посудин 32 МПа з подальшою заправкою балонів тракторів також тиском 32 МПа.

Таким чином, використання в сільському господарстві всіх вищевказаних типів пересувних газозаправників при наявності АГНКС дозволяє вирішити проблему забезпечення МТП господарства СПГ незалежно від дорожніх і кліматичних умов, проте собівартість застосування газу дещо зростає.

Для забезпечення переведення техніки для роботи на газоподібному паливі в селянських (фермерських) господарствах в першу чергу для тракторів тягового класу 1,4 необхідні нові розробки.

Характерною відмінністю між тракторами, що працюють на дизельному паливі і на природному газі в газодизельному режимі, є, в першу чергу, наявність балонів із стисненим природним газом (метаном), що зберігаються під тиском близько 20 МПа, які кріпляться, як правило, на даху трактора [26]. Температура, за якої працює газобалонне обладнання, може коливатися від -40 до +45 °С.

Серед інших особливостей модифікацій тракторів із газодизельною апаратурою можна відзначити збільшення загальної маси трактора на 130-150 кг (додається маса газобалонного обладнання), збільшення габаритних розмірів трактора за висотою приблизно на 0,5 м.

У випадку встановлення газових балонів змінюється положення центра тяжіння трактора (як правило, висотна координата центра тяжіння трактора зростає). Це може негативно позначитися на стійкості трактора і призвести до його перекидання в процесі експлуатації. Тому під час встановлення на трактор додаткового обладнання у вигляді газових балонів необхідно провести дослідження з оцінки граничних кутів стійкості трактора.

Іншим недоліком під час використання газобалонних тракторів є значна тривалість заправки природним газом, що скорочує продуктивність праці в цілому. Спроби скоротити час на заправку і збільшити час роботи трактора на одній заправці намагалося багато дослідників.

Для спрощення організації заправки транспортних засобів стисненим природним газом і збільшення радіусу дії транспортних засобів, що працюють на газі, а також з метою підвищення ефективності використання пересувного газозаправника розроблений новий спосіб заправки. Він включає в себе прибуття пересувного газозаправника із заправною колонкою на місце збору транспортних засобів, що працюють на стиснутому природному газі, і запра-

вку транспортних засобів СПГ через заправну колонку з використанням дотискного компресора, який змонтований на ходовій частині, на якій також змонтовані ресивер, додаткова заправна колонка і двигун внутрішнього згоряння, що працює на стиснутому природному газі і служить приводом дотискного компресора, що має, щонайменше, два вхідних і два вихідних колектори з вузлами підключення пересувних газозаправників з безкомпресорним відбором стисненого природного газу (рисунок 1.5) [27].

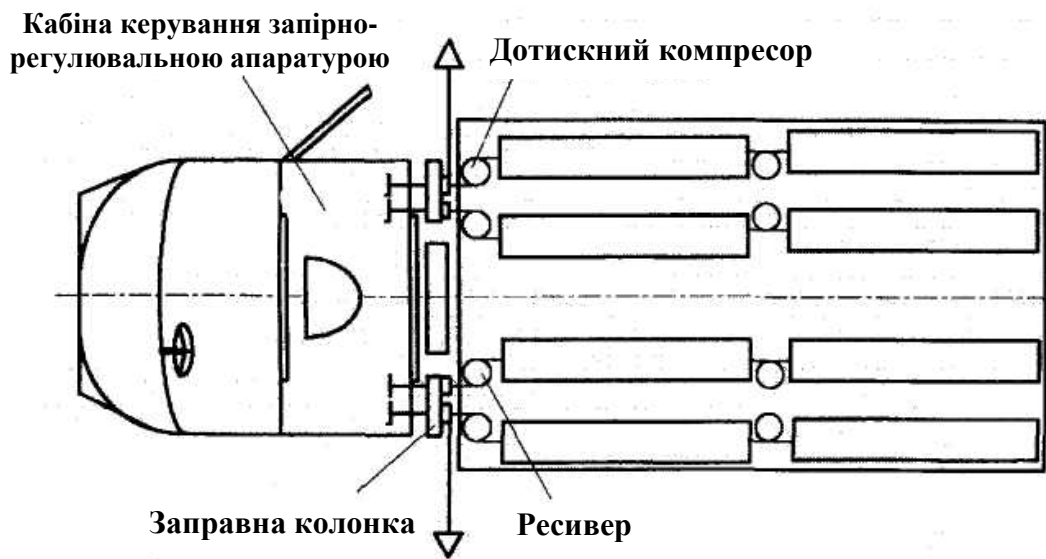


Рисунок 1.5 – Схема заправної газової колонки

Для усунення низької ефективності пересувних газозаправників, пов'язаної з тим, що спорожнення балонів під час заправки споживачів відбувається до 50% від початкового об'єму, пропонує спосіб заправки стисненим природним газом, що включає в себе спорожнення попередньо заповнених стисненим природним газом балонів високого тиску в 40 МПа, згрупованих в першу, другу і третю секції з робочим тиском 20, 25 і 40 МПа відповідно. При цьому природний газ подають у циліндри першого ступеня компресора; стислий, охолоджений природний газ подають в другу і наступні ступені компресора, і охолоджений і стислий до тиску 40 МПа природний газ подають у металеві балони високого тиску, після чого їх можна спорожнити до тих пір, поки тиск в балонах не впаде до мінімальної величини, необхідної для заправки

природним газом ємностей споживачів, після спорожнення балонів всіх секцій до мінімально можливого тиску включають компресор і починають перекачування природного газу в металеві балони високого тиску. На рисунку 1.6 представлений такий газозаправник.

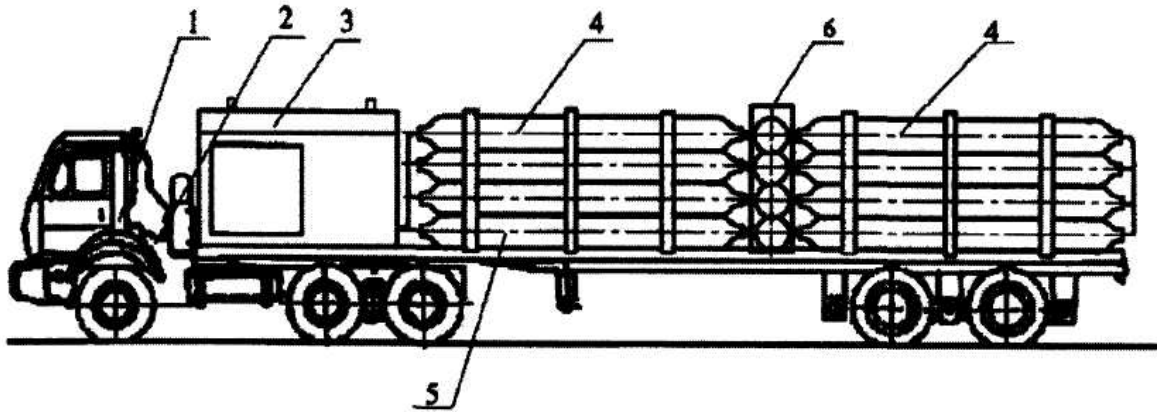


Рисунок 1.6 – Газозаправник, що працює за принципом ступінчастої заправки

1.3. Висновки до розділу

1. Проведений аналіз показав, що переведення техніки на газомоторне паливо на 30% зменшує експлуатаційні витрати, а капітальні вкладення в газобалонне обладнання окупаються за 1-1,5 року.

2. У літературних джерелах є технічна документація та рекомендації з використання газомоторного палива для тракторів К-700А і К-701. Для колісних тракторів тягового класу 1.4 таких досліджень проведено недостатньо. Тому метою даної роботи є підвищення ефективності використання тракторів тягового класу 1,4, оснащених газобалонним обладнанням, шляхом вдосконалення технології заправки газом.

3. Сьогодні основними причинами, що стримують переведення сільськогосподарської техніки на газомоторне паливо, є недостатня кількість АГНКС і їх віддаленість від споживача.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ГАЗОВИХ БАЛОНІВ НА ТРАКТОРІ ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4

У процесі виконання різних сільськогосподарських робіт трактор повинен працювати без перекидання на ухилах різної величини. Дана властивість трактора регламентується значеннями граничних статичних кутів поздовжнього і поперечного ухилів, на яких трактор має можливість стояти в загальмованому стані. Поряд з цим ці кути є визначальними параметрами для оцінки поздовжньої і поперечної стійкості трактора. За [9] регламентується значення кута поперечної статичної стійкості для тракторів тягових класів 0,9 і більше, який повинен бути не меншим 35° .

Встановлення додаткового обладнання у вигляді газових балонів та іншого обладнання для роботи за газодизельним циклом може значно змінити значення вищевказаного кута, що, в свою чергу, може порушити працездатність трактора в цілому і призвести до його перекидання.

У свою чергу для визначення теоретичних значень статичних кутів стійкості необхідно знати розташування центра тяжіння трактора.

2.1. Загальна характеристика трактора ЮМЗ-8244

Трактори серії ЮМЗ 8000 призначені для виконання різних с.-г робіт з навісними, напівнавісними і причіпними машинами і знаряддями [18].

Крім того, вони можуть бути використані для виконання трудомістких робіт в агрегаті з бульдозерами, екскаваторами, навантажувачами, ямокопачами, а також на спеціальних транспортних роботах і для приводу різних стаціонарних сільськогосподарських машин.

Вони є універсальними сільськогосподарськими тракторами класу 1,4 тс (14 кН).

Трактори мають напіврамну конструкцію. Їх остов складається з напіврамами, корпусів муфти зчеплення, коробки передач і заднього моста. Дизель спереду еластично закріплений на передньому брусі, а ззаду жорстко з'єднаний з корпусом муфти зчеплення.

Силова передача трактора має муфту зчеплення, понижуючий редуктор і коробку передач, задній міст з автоматичним блокуванням диференціала і задній ВВП з двошвидкісним незалежним і синхронним приводами.

Трактори ЮМЗ-8244 оснащені переднім ведучим мостом і механізмами приводу. Рульове управління тракторів складається з гідروпідсилювача і рульової трапеції. Привід переднього ведучого моста здійснюється від коробки передач. Передній міст шарнірно з'єднаний з переднім брусом для забезпечення коливання моста в поперечній площині. Передбачена безступінчаста зміна колії передніх і задніх коліс за допомогою гвинтових механізмів. Для збільшення зчипних якостей і поліпшення керованості на передній брус трактора можуть бути встановлені додаткові вантажі. Є можливість установки до 10 додаткових вантажів масою 20 кг кожен [18].

Шини тракторів можуть мати різні розмірності. Вибір шин того чи іншого розміру залежить від умов експлуатації і характеру виконуваних сільськогосподарських операцій. Розміри і застосовність передніх і задніх шин різних розмірів представлена в таблиці 2.1 [18].

На практиці найчастіше зустрічається поєднання шин: передніх – 11,2-20, задніх – 15,5R38.

Колія трактора може змінюватися від 1350 до 1850 мм по керованим колесам і від 1400 до 2100 мм по ведучим колесам.

Для встановлення коліс на ширину колії 1500-1600 замість 1350-1500 мм (або навпаки) необхідно відвернути гайки кріплення обода колеса до диска і повернути колесо так, щоб кронштейни обода пройшли через прорізи в диску. Залежно від необхідної ширини колії встановлюють відповідне взаємне розташування обода колеса стосовно диска.

Таблиця 2.1 – Варіанти поєднання передніх і задніх шин трактора ЮМЗ-8244 [18]

Задні шини	Передні шини				
	8,3-20	11,2-20 (11,2R20)	13,6-20	360/70R20	16,0-20
18,4R30	+	+	-	-	-
18,4R34	-	+	-	-	-
15,5R38	+	+	-	-	-
16,9R38	-	-	+	+	-
9,5-42	+	+	-	-	-
11,2R42	+	+	-	-	-

Примітка: «+» – поєднуються; «-» – не поєднуються.

Для отримання колії 1600-1800 мм необхідно зняти колеса з дисків і поміняти їх місцями. При цьому необхідно, щоб напрямок обертання шини залишався незмінним (за стрілкою, зазначеною на боковині).

Колія задніх коліс може бути встановлена відповідно до таблиці 2.2 [18].

Таблиця 2.2 – Встановлення колії задніх коліс трактора ЮМЗ-8244 (для шин 15,5R38)

Колія задніх коліс, мм	1350*	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2100
Відстань від торця півосі до торця маточини заднього колеса, мм	безступінчасто				безступінчасто з перестановкою коліс			
	125	100	50	0	164	114	64	14

Примітка: * для шин 9,5-42 і 11,2R42.

Відповідно до таблиці 2.2 під час агрегування трактора з більшістю с.-г знарядь рекомендується значення колії передніх і задніх коліс 1450 мм.

Експлуатаційна маса трактора з навісним обладнанням становить 4000 кг. Основні розміри трактора представлені на рисунку 2.1.

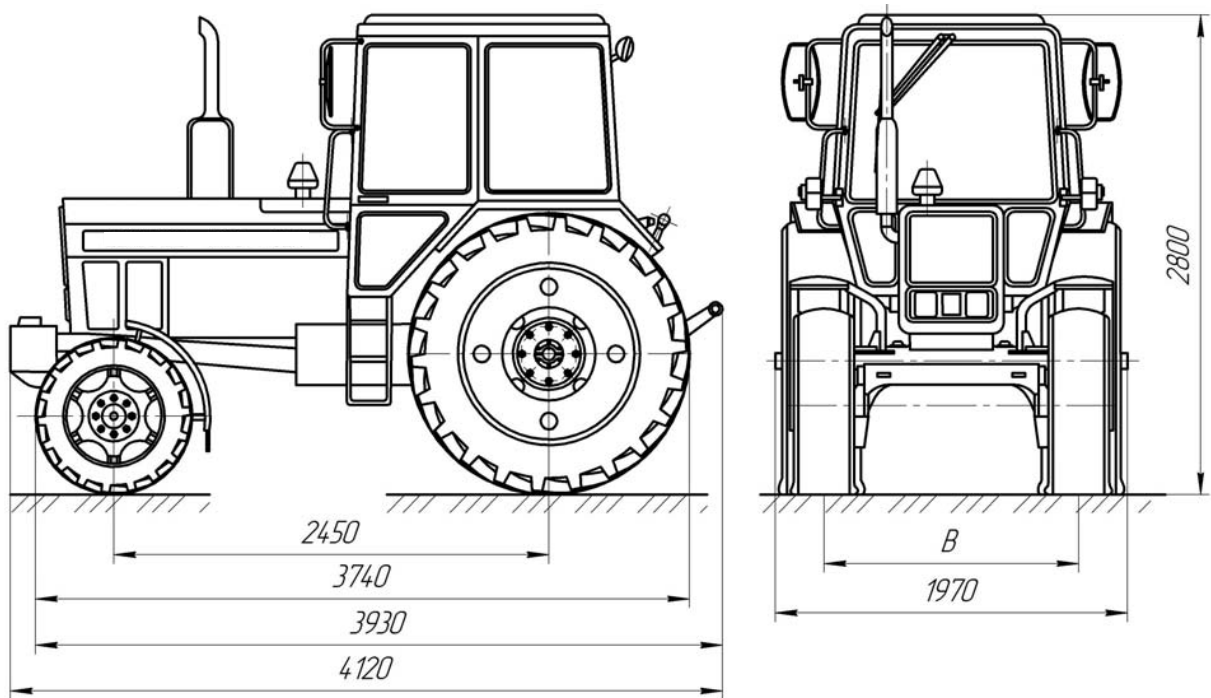


Рисунок 2.1 – Основні розміри трактора ЮМЗ-8244: B – колія трактора

2.2 Визначення розташування центра тяжіння трактора

Для визначення статичних кутів стійкості трактора необхідно знати координати його центра ваги. Методика визначення координат центра тяжіння сільськогосподарських тракторів регламентована ГОСТ 30750-2001 [6].

Даний спосіб визначення розташування центра тяжіння трактора полягає в наступному. Трактори, що подаються на випробування, повинні відповідати вимогам ГОСТ 7057-2001 [7]. Відповідно до [6] центр тяжіння визначають методом вимірювання реакції опор під час встановлення трактора в трьох положеннях: горизонтальному, похилому при піднятій передній (моторній) частині, похилому при піднятій кормовій (задній) частині. При цьому майданчик, на якому встановлено ваговий пристрій (платформні ваги), повинен мати тверду основу.

Для визначення горизонтальної поздовжньої координати вимірюють реакцію F_2 , зумовлену масою трактора m на передньому мості, і базу трактора d (рисунок 2.2).

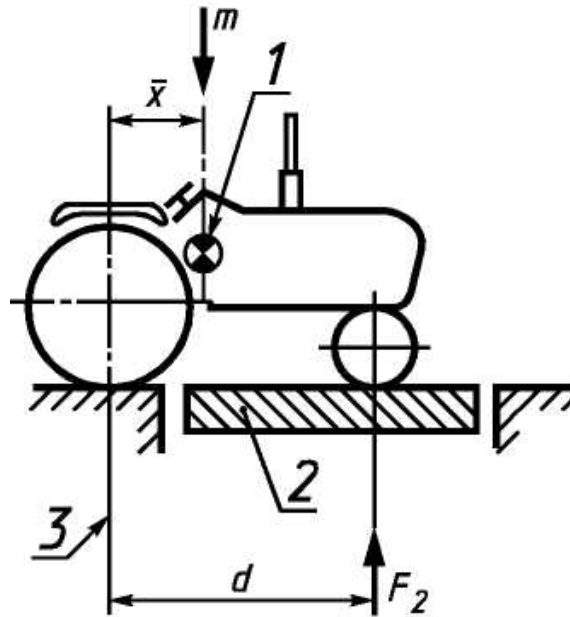


Рисунок 2.2 – Схема визначення поздовжньої горизонтальної координати центра тяжіння трактора: 1 – центр тяжіння трактора; 2 – платформна вага; 3 – лінія відліку по вертикалі

Горизонтальну поздовжню координату \bar{x} центра тяжіння визначають за формулою (2.1) [6]:

$$\bar{x} = \frac{dF_2}{m}, \quad (2.1)$$

де d – база трактора, мм; F_2 – реакція опорної поверхні на передню вісь від маси трактора, кг; m – маса трактора, кг.

Для визначення вертикальної координати \bar{h} (рисунок 2.3) трактор підвишують під кутом 20-25 ° до горизонталі з боку причіпного пристрою.

Вимірюють реакцію F_3 в місці контакту коліс з платформою ваги, після чого вимірюють відстань d_1 від місця контакту з платформою до лінії підвішування, після чого визначають відстань c від центра ваги до лінії підвішування за формулою [6]:

$$c = \frac{d_1 F_3}{m}, \quad (2.2)$$

де d_1 – відстань по горизонталі від місця контакту колеса до лінії підвішування, мм; F_3 – опорна реакція в місці контакту переднього колеса з поверхнею, кг.

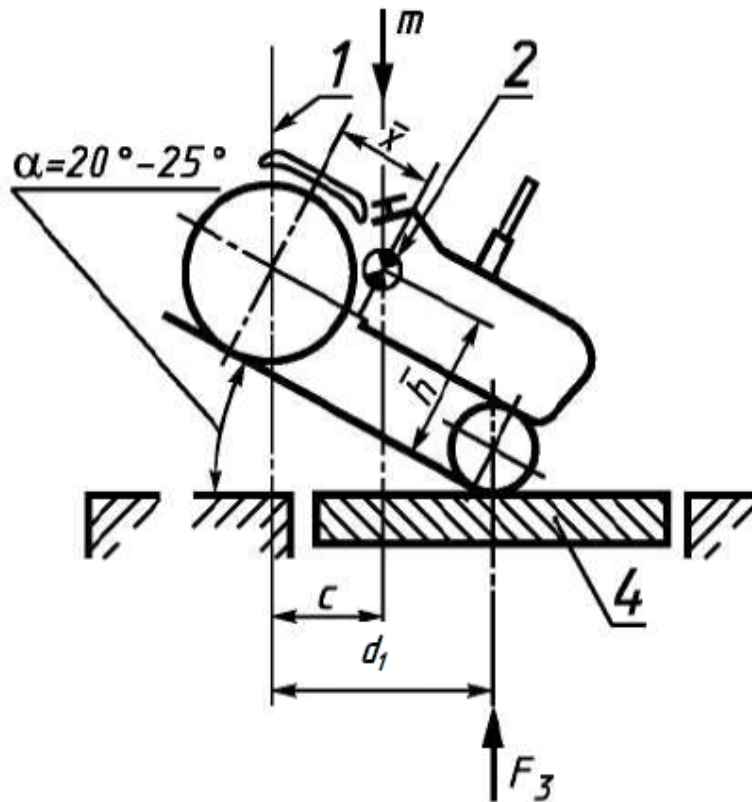


Рисунок 2.3 – Схема визначення вертикальної (висотної) координати положення центра тяжіння трактора

Після цього випробування повторюють, підвішуючи трактор з обох сторін; при цьому збереження кута підвісу трактора необов'язкове.

Координату \bar{h} визначають в точці перетину лінії, паралельної лінії осі підвісу на відстані c від неї, і перпендикуляра, проведеного на відстані \bar{x} до лінії, паралельної координаті \bar{x} , що проходить через крайні точки бази трактора. Якщо результати випробувань не збігаються, координату \bar{h} усереднюють.

Для встановлення поперечної координати \bar{y} (рисунок 2.4) визначають навантаження F_4 і F_5 , що створюються колесами з лівої і правої сторін, після чого обчислюють відстань b положення центра тяжіння з використанням ширини колії d_t [6]:

$$b = \frac{d_t F_5}{m}, \quad (2.3)$$

де d_t – ширина колії трактора, мм; F_5 – нормальне навантаження, що створюється колесами правого борта трактора, кг.

Поперечну координату центра тяжіння у розраховують за формулою:

$$y = \frac{d_t}{2} - b, \quad (2.4)$$

де b – відстань від центра тяжіння до поздовжньої площини, що проходить через рушій трактора, встановлений на випробувальному майданчику, мм.

Таким чином отримують координати розташування центра тяжіння трактора. Положення центра тяжіння вказують у міліметрах від кожної з трьох базових площин.

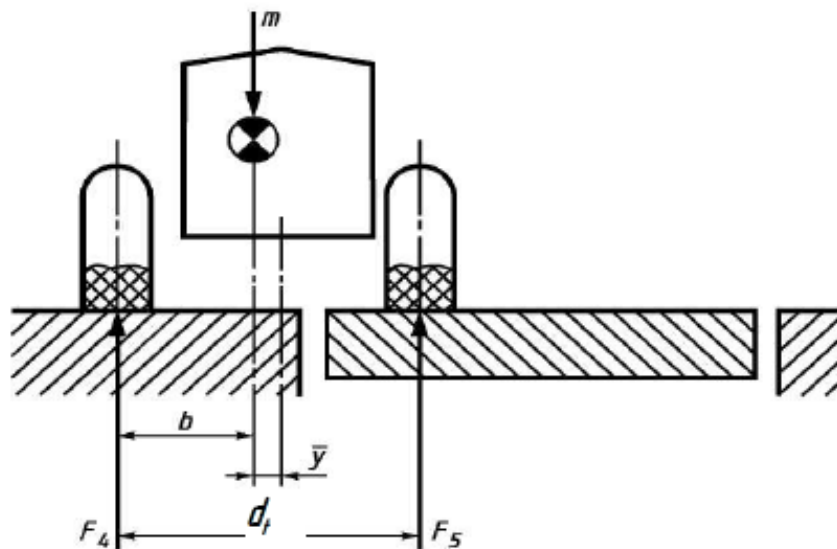


Рисунок 2.4 – Схема для визначення поперечної координати центра тяжіння трактора

Дана методика може бути використана під час визначення положення центра тяжіння трактора. Проте внаслідок її великої трудомісткості доцільно вертикальну координату центра тяжіння визначити аналітично.

Спочатку за формулою (2.1) необхідно визначити горизонтальну координату \bar{x} (див. рисунок 2.2) розташування центра тяжіння трактора. Для цього за допомогою автомобільної ваги «Міра ВТП-10» слід визначити частину ваги F_2 трактора, що припадає на передню вісь трактора. Згідно з проведеними замірами даний параметр склав $F_2 = 13710$ Н (1398 кг).

Координата \bar{x} за формулою (2.1):

$$\bar{x} = \frac{2450 \cdot 1398}{4000} = 856 \text{ мм.}$$

Для визначення вертикальної координати необхідно визначити реакцію, що діє на задню вісь трактора, який піднятий під кутом 20-25°. Для цього задні колеса трактора встановлювалися на спеціальну платформу, висота якої H (рисунок 2.5) разом з вагами становила 765 мм. Кут нахилу трактора α при цьому становив 25°.

Вираз для визначення вертикальної координати центра тяжіння трактора $h_{ц.м}$ (див. рисунок 2.5) має наступний вигляд:

$$h_{ц.м} = \left(\frac{c}{\cos \alpha} - \bar{x} \right), \quad (2.5)$$

де c – відстань в горизонтальній площині між задньою віссю і центром тяжіння трактора, мм.

Розглянемо рівновагу трактора в похилому положенні. Рівняння рівноваги буде виглядати наступним чином:

$$G_T(d_1 - c) - R_3 d_1 = 0, \quad (2.6)$$

де G_T – вага трактора, Н;

$$G_T = m \cdot g, \quad (2.7)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; $g = 9,81$ м/с²;

$$G_T = 4000 \cdot 9,81 = 39240 \text{ Н;}$$

R_3 – реакція на задні колеса трактора з боку платформи, Н; d_1 – відстань в горизонтальній площині між осями трактора, який стоїть на платформі, мм.

Відстань d_1 визначиться з виразу:

$$d_1 = L \cdot \cos \alpha, \quad (2.8)$$

де L – колісна база трактора, мм; $L = 2450$ мм (див. рисунок 2.1).

З виразу (2.6) з врахуванням (2.8) отримаємо:

$$c = \frac{(G_T - R_3)L \cos \alpha}{G_T}. \quad (2.9)$$

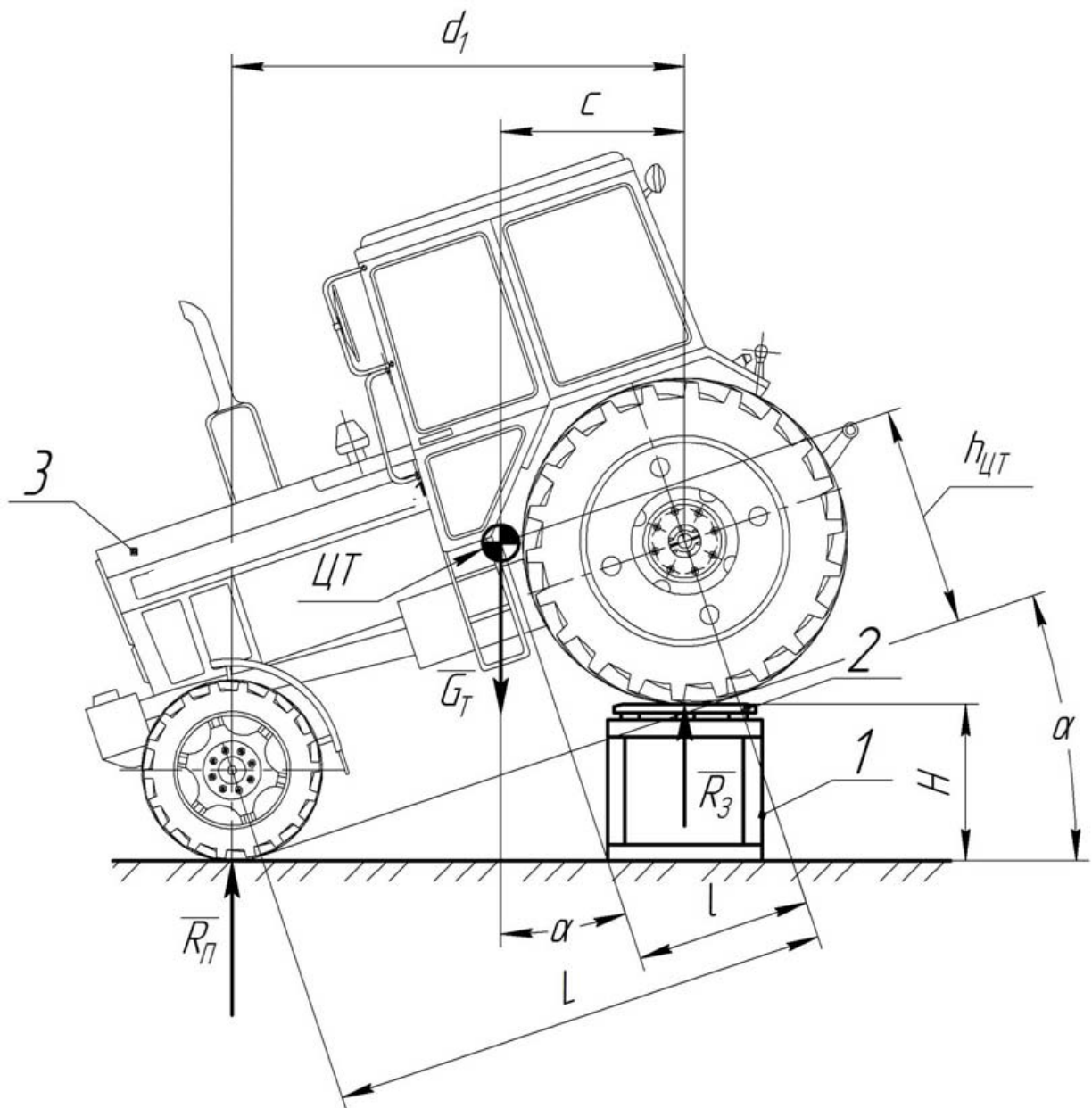


Рисунок 2.5 – Схема визначення розташування центра тяжіння трактора ЮМЗ-8244: 1 – платформа; 2 – автомобільна переносна вага; 3 – трактор ЮМЗ-8244; ЦТ – центр тяжіння трактора

З врахуванням (2.9) вираз (2.5) приймає наступний вигляд:

$$h_{\text{цм}} = \left(\frac{(G_T - R_3)L}{G_T} - x \right) \text{ctg} \alpha. \quad (2.10)$$

Реакцію на задні колеса R_3 визначали за допомогою автомобільної ваги 2 (див. рисунок 2.5), що встановлювалася на платформі 1. При цьому значення

реакції визначали з триразовою повторюваністю, після чого було взято середньоарифметичне значення реакції $R_3 = 17886$ Н (1823 кг).

$$h_{ym} = \left(\frac{(39240 - 17886)2450}{39240} - 856 \right) \text{ctg} 25^\circ = 1024 \text{ мм.}$$

Горизонтальну поперечну координату центра тяжіння \bar{y} визначали за формулою (2.4). Для цього за допомогою автомобільної ваги визначали реакцію, що діє на праве колесо трактора, середнє значення якої склало 19797 Н (2018 кг). Після цього за формулою (2.3) визначали відстань b (див. рисунок 2.4):

$$b = \frac{1450 \cdot 2018}{4000} = 732 \text{ мм.}$$

Зміщення центра тяжіння відносно поздовжньої площини трактора \bar{y} визначали за формулою (2.4):

$$y = \frac{1450}{2} - 732 = 7 \text{ мм.}$$

Таким чином, центр тяжіння трактора ЮМЗ-8244 має такі координати:

- горизонтальна поздовжня координата (щодо задньої осі трактора) $\bar{x} = 856$ мм;
- горизонтальна поперечна координата центра тяжіння (відносно поздовжньої площини симетрії трактора згідно рисунка 2.4) $\bar{y} = 7$ мм;
- вертикальна координата центра тяжіння $h_{ym} = 1024$ мм.

2.3. Визначення розташування центра тяжіння газобалонного обладнання

Для переобладнання трактора ЮМЗ-8244 для роботи за газодизельним циклом були використані металокомпозитні балони БА 67.20.401/840 об'ємом 67 л. Довжина балона – 840 мм, діаметр балона – 401 мм. Маса порожнього балона становить 49,5 кг, маса балона, заправленого газом – 66,3 кг.

Для кріплення балонів на тракторі використовувалася спеціальна знімна касета, що представляє собою збірну металеву конструкцію з труб квадратно-

го перетину з ложементами для кріплення балонів. Маса касети для встановлення балонів – 30,1 кг. У кожній касеті розміщували по два балони. Маса касети в зборі з балонами, повністю заправленими газом, дорівнює 162,6 кг.

Для закріплення знімної касети в передній частині трактора використовувалася спеціальна рама, виготовлена з кутників 45 x 45 x 5, оснащена спеціальним пристроєм для швидкого закріплення на ній касети. Маса рами становила 16,8 кг.

Для визначення положення центра тяжіння газобалонного обладнання, що включає касету і балони, використовувалася методика, викладена в [9].

Відповідно до даної методики координата центра тяжіння складальної одиниці, що містить декілька складових елементів, визначається з умови рівності моментів їх сил тяжіння відносно центра тяжіння всього агрегату. Схема розрахунку координат центрів тяжіння складальної одиниці, що містить окремі складові елементи, представлена на рисунку 2.6.

При цьому вираз для визначення відповідної координати центра тяжіння касети x_T , мм, в цілому запишеться наступним чином:

$$x_T = \frac{\sum (G_i x_i)}{\sum G_i}, \quad (2.11)$$

де G_i – вага i -го елемента, що входить до складу агрегату, Н; x_i – координата центра тяжіння i -го елемента по осі X , мм.

Значення другої координати y_T центра тяжіння складальної одиниці визначається аналогічно з врахуванням того, що необхідно розглянути рівновагу складальної одиниці, поверненої на 90° в будь-яку сторону. Розрахунок ведеться за формулою:

$$y_T = \frac{\sum (G_i y_i)}{\sum G_i}, \quad (2.12)$$

де y_i – координата центра тяжіння i -го елемента по осі Y , мм.

Аналогічно визначалося значення координати центра тяжіння складальної одиниці по третій осі Z (координата z_T) за формулою:

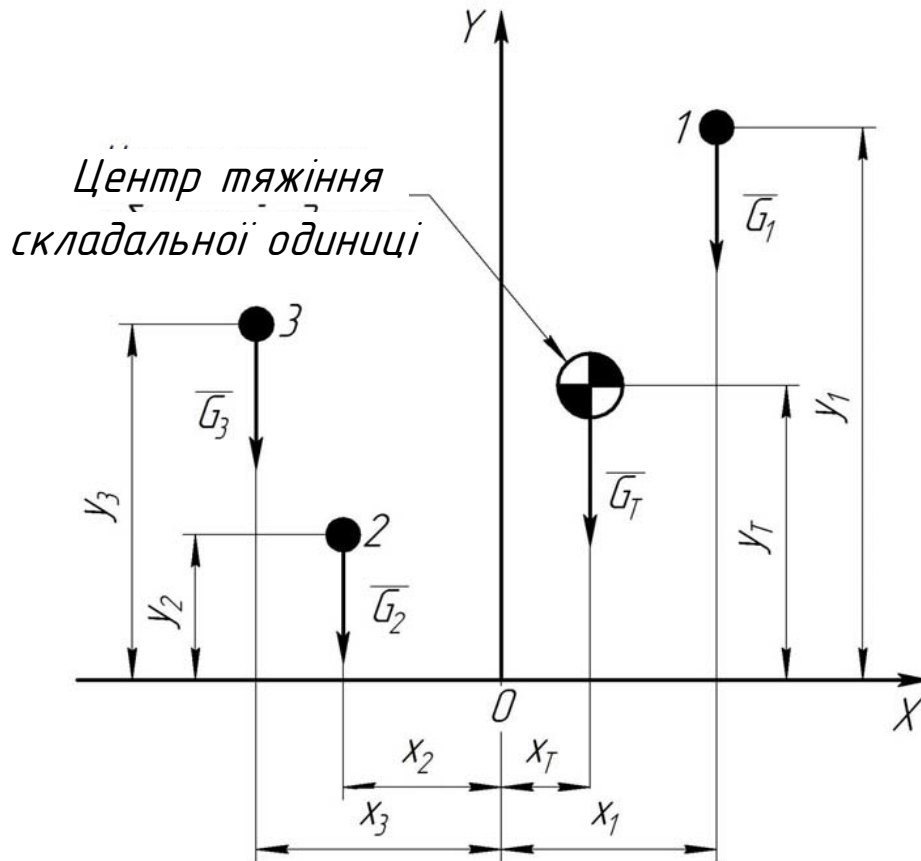


Рисунок 2.6 – Схема розрахунку координат центра тяжіння складальної одиниці

$$z_T = \frac{\sum (G_i z_i)}{\sum G_i}. \quad (2.13)$$

У процесі визначення розташування центра тяжіння касета і рама розбивалися на більш прості елементи. В даному випадку масою газопроводів і газової паливної апаратури можна знехтувати через їх малу масу порівняно з іншими елементами. Результати визначення координат центра тяжіння змінної касети і рами представлені на рисунках 2.7 і 2.8 відповідно.

Таким чином, були визначені координати центрів тяжіння трактора і газобалонного обладнання, необхідні для проведення подальшого розрахунку граничних статичних кутів стійкості трактора.

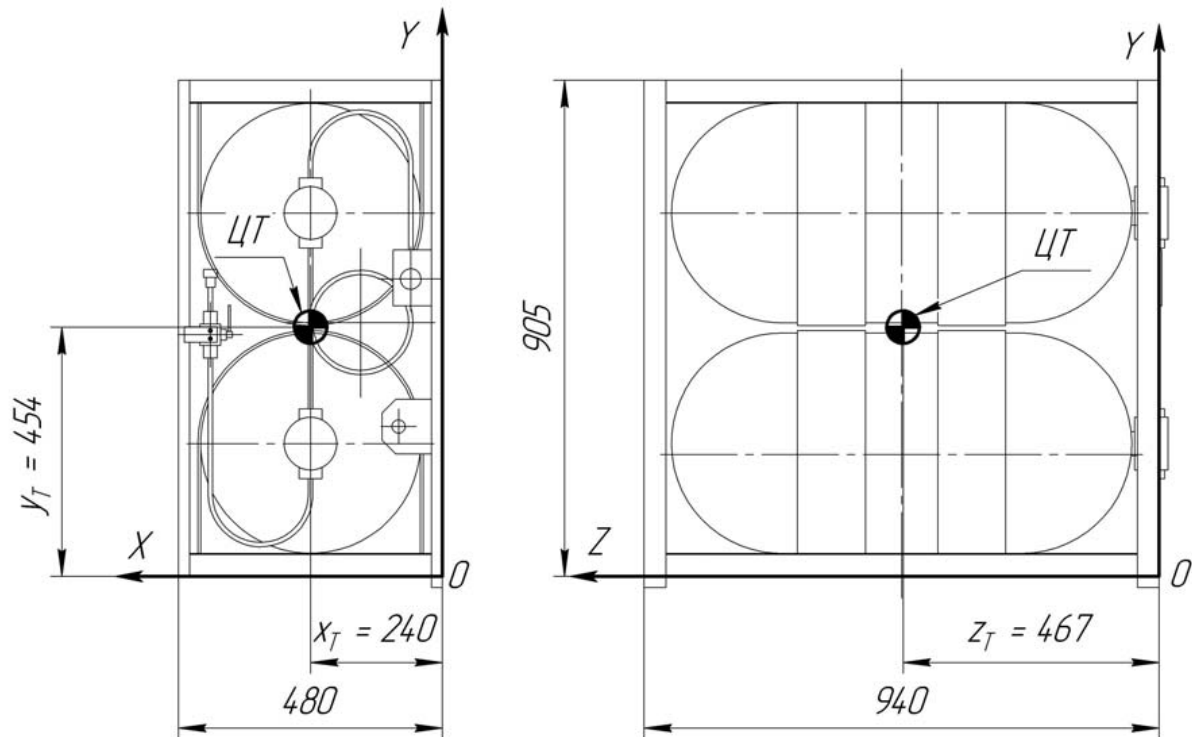


Рисунок 2.7 – Координати центра тяжіння змінної касети

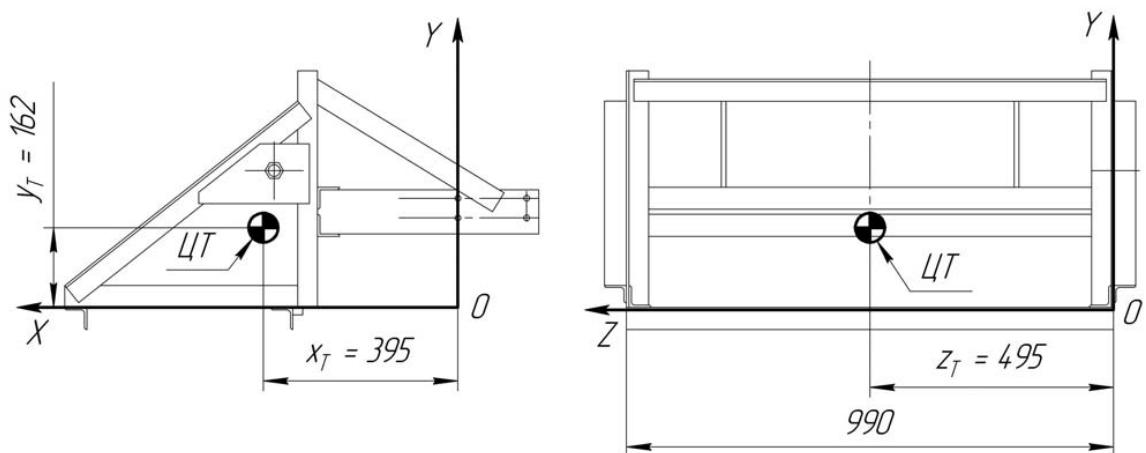


Рисунок 2.8 – Координати центра тяжіння рами

2.4 Оцінка граничних статичних кутів стійкості трактора ЮМЗ-8244

Як було зазначено вище, в процесі роботи трактор не повинен перекидатися. Встановлення додаткових газових балонів може значно вплинути на стійкість трактора в цілому внаслідок підвищення розташування центра тяжіння. Тому, встановивши на тракторі газобалонне обладнання, що має значну масу і габаритні розміри, постає питання його оптимального розташування

на тракторі. У деяких випадках встановлене газобалонне обладнання може призвести до порушення стійкості трактора і його перекидання.

Перекидання – це обертальний рух трактора відносно деякої осі, яка називається віссю перекидання. При цьому перекидаючий момент перевищує момент сил, які прагнуть повернути трактор у початкове положення [9]:

$$M_{пер} \geq M_{стаб}, \quad (2.14)$$

де $M_{пер}$ – перекидаючий момент, Нм; $M_{стаб}$ – момент від сил, що прагнуть повернути трактор у початкове положення, Нм.

Розрізняють поздовжню і поперечну стійкість трактора. Поздовжня стійкість проти перекидання вперед або назад – це властивість трактора чинити опір перекиданню навколо поперечної осі перекидання [9]. При цьому, перш ніж відбудеться перекидання трактора, відбувається перерозподіл опорних реакцій між осями трактора до того моменту, коли одна з них стане рівною нулю. При цьому сумарний вектор сил тяжіння компонентів трактора проходить через вісь можливого перекидання.

Найбільший кут підйому, при якому загальмований трактор може стояти, не перекидаючись, називається граничним статичним кутом підйому $\alpha_{лімпід}$. Аналогічно найбільший кут ухилу, за якого загальмований трактор може стояти, не перекидаючись, називається граничним статичним кутом ухилу $\alpha_{лімух}$, і найбільший кут поперечного ухилу, за якого загальмований трактор може стояти, не перекидаючись, називається поперечного ухилу $\beta_{лімух}$.

Газові балони, призначені для зберігання необхідного запасу газу під час переобладнання тракторів для роботи за газодизельним циклом, на тракторах тягових класів 0,9-2,0 переважно встановлюються на даху кабіни трактора. Така компоновка призводить до значного підвищення центра тяжіння трактора (внаслідок високого розташування балонів), що, в свою чергу, призводить до передчасного перекидання трактора.

Нами пропонується оснастити трактор змінною касетою з двома газовими балонами, яка встановлюється у передній частині трактора перед радіато-

ром за допомогою спеціальної рами, закріпленої на рамі трактора за допомогою 8 різьбових отворів. Така компоновка в меншій мірі збільшує центр тяжіння трактора в цілому. Балони при цьому практично не порушують оглядовість з місця водія і сприяють додатковому навантаженню передньої ведучої осі трактора, що в свою чергу сприяє зменшенню буксування передніх ведучих коліс. Тому доцільно провести порівняльну оцінку різного розташування балонів на тракторі.

Для цього спочатку розглянемо рівновагу трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням, і встановленого на підйомі (рисунок 2.9).

У загальному випадку на трактор діють сили тяжіння \bar{G}_T (сила тяжіння безпосередньо трактора), \bar{G}_K (сила тяжіння знімної касети) і, в разі встановлення знімної касети у передній частині трактора, \bar{G}_P (сила тяжіння рами, на якій встановлюється знімна касета).

Розглянемо рівновагу трактора, який стоїть на підйомі, відносно передбачуваної осі перекидання O' .

У випадку розташування балонів у передній частині трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} - R_{II} L = 0, \quad (2.15)$$

де h_{G_T} – плече прикладання сили тяжіння трактора \bar{G}_T , мм;

$$h_{G_T} = \bar{x} \cos \alpha_{ПД} - h_{ЦТ} \sin \alpha_{ПД}, \quad (2.16)$$

$\bar{x} = 1620$ мм; $h_{ЦТ} = 1239$ мм (розділ 2.1.1);

h'_{G_K} – плече прикладання сили тяжіння касети \bar{G}_K у випадку її встановлення у передній частині трактора, мм;

$$h'_{G_K} = l'_{ЦТ_K} \cos \alpha_{ПД} - h'_{ЦТ_K} \sin \alpha_{ПД}, \quad (2.17)$$

де $l'_{ЦТ_K}$ – горизонтальна координата центра тяжіння касети, встановленої в передній частині трактора, мм; згідно з замірами, проведеними безпосередньо на тракторі, і даними, представленими на рисунках 2.8 і 2.9, $l'_{ЦТ_K} = 3015$ мм;

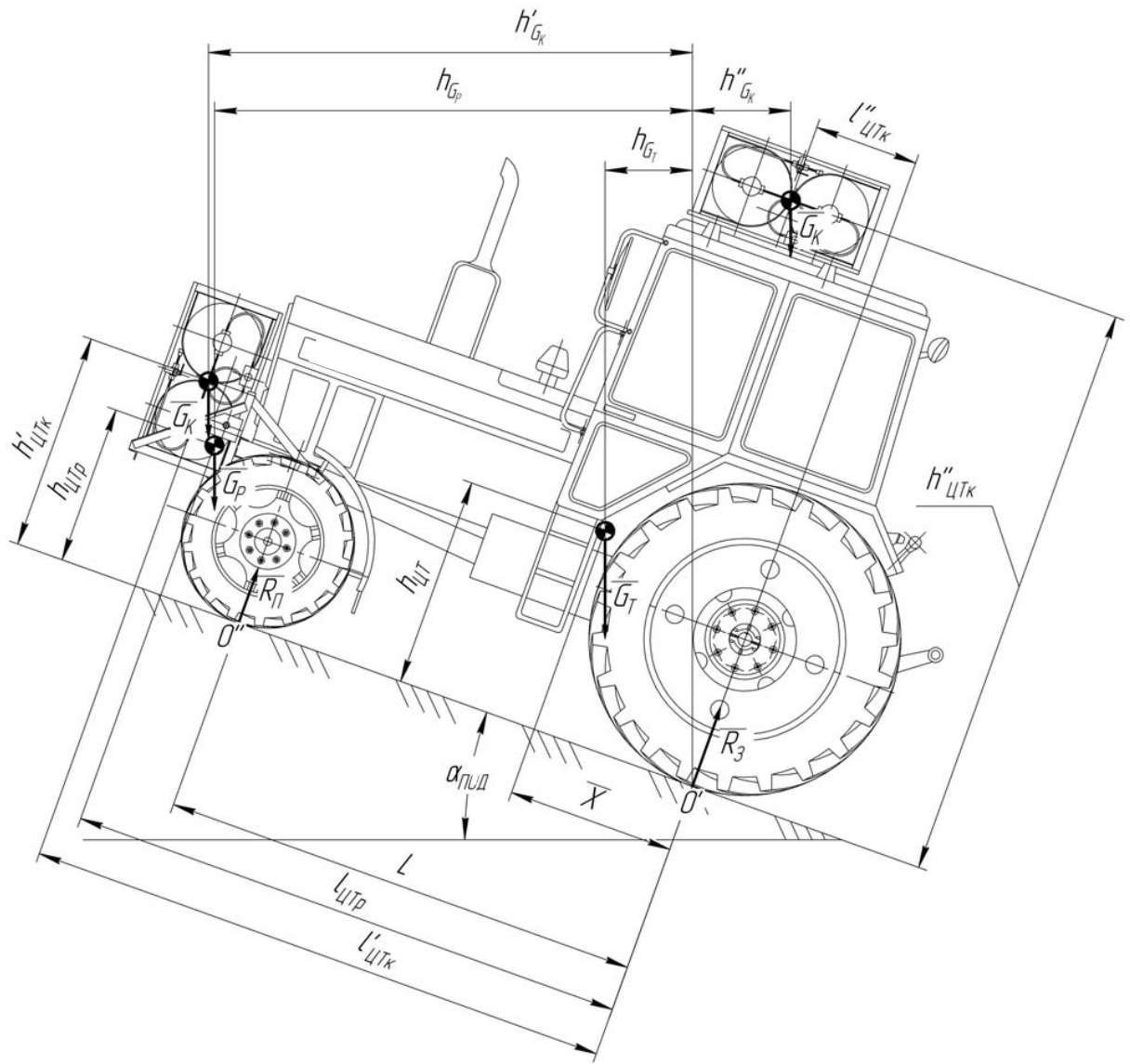


Рисунок 2.9 – Схема визначення граничного статичного кута підйому трактора ЮМЗ-8244 з різним компонуванням газобалонного обладнання

$h'_{ЦТК}$ – вертикальна координата центра тяжіння касети, встановленої у передній частині трактора, мм; згідно з замірами $h'_{ЦТК} = 1157$ мм; h_{G_P} – плече прикладання сили тяжіння рами \bar{G}_P , на якій встановлюється змінна касета, мм;

$$h_{G_P} = l_{ЦТр} \cos \alpha_{ПД} - h_{ЦТр} \sin \alpha_{ПД}, \quad (2.18)$$

де $l_{ЦТр}$ – горизонтальна координата центра тяжіння рами, мм; згідно проведених замірів $l_{ЦТр} = 2876$ мм; $h_{ЦТр}$ – вертикальна координата центра тяжіння

рами, мм; згідно із замірами $h_{ЦТ_P} = 860$ мм; L – колісна база трактора, м; $L = 2450$ мм (рисунок 2.1).

У випадку розташування балонів на даху трактора:

$$\sum M_{O'}(F_i) = 0; G_T h_{G_T} + G_K h_{G_K}'' - R_{П} L = 0, \quad (2.19)$$

де h_{G_K}'' – плече прикладання сили тяжіння касети \bar{G}_K у випадку її встановлення на даху трактора, мм;

$$h_{G_K}'' = l_{ЦТ_K}'' \cos \alpha_{ПД} - h_{ЦТ_K}'' \sin \alpha_{ПД}, \quad (2.20)$$

$l_{ЦТ_K}''$ – горизонтальна координата центра тяжіння касети, встановленої на даху трактора, мм; згідно із замірами $l_{ЦТ_K}'' = 534$ мм; $h_{ЦТ_K}''$ – вертикальна координата центра тяжіння касети, встановленої на даху трактора, мм; $h_{ЦТ_K}'' = 3074$ мм.

У момент перекидання трактора реакція з боку опорної поверхні на передню вісь $\bar{R}_{П}$ дорівнює нулю. Відповідний цього моменту кут підйому $\alpha_{під}$ дорівнює граничному статичному куту підйому $\alpha_{лімпід}$. З врахуванням цього вирази для визначення граничного статичного кута підйому з врахуванням (2.16) - (2.18), (2.20) запишуться в наступному вигляді:

- у випадку встановлення балонів у передній частині трактора:

$$\alpha'_{лімпід} = \arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{ЦТ_K} + G_P l_{ЦТ_P}}{G_T h_{ЦТ} + G_K h'_{ЦТ_K} + G_P h_{ЦТ_P}}; \quad (2.21)$$

- у випадку встановлення балонів на даху трактора:

$$\alpha''_{лімпід} = \arctg \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{ЦТ_K}}{G_T h_{ЦТ} + G_K h''_{ЦТ_K}}. \quad (2.22)$$

Для визначення граничних статичних кутів ухилів $\alpha_{ух}$ трактора для різних варіантів розташування газових балонів розглянемо рівновагу трактора, який стоїть на ухилі (рисунок 2.10).

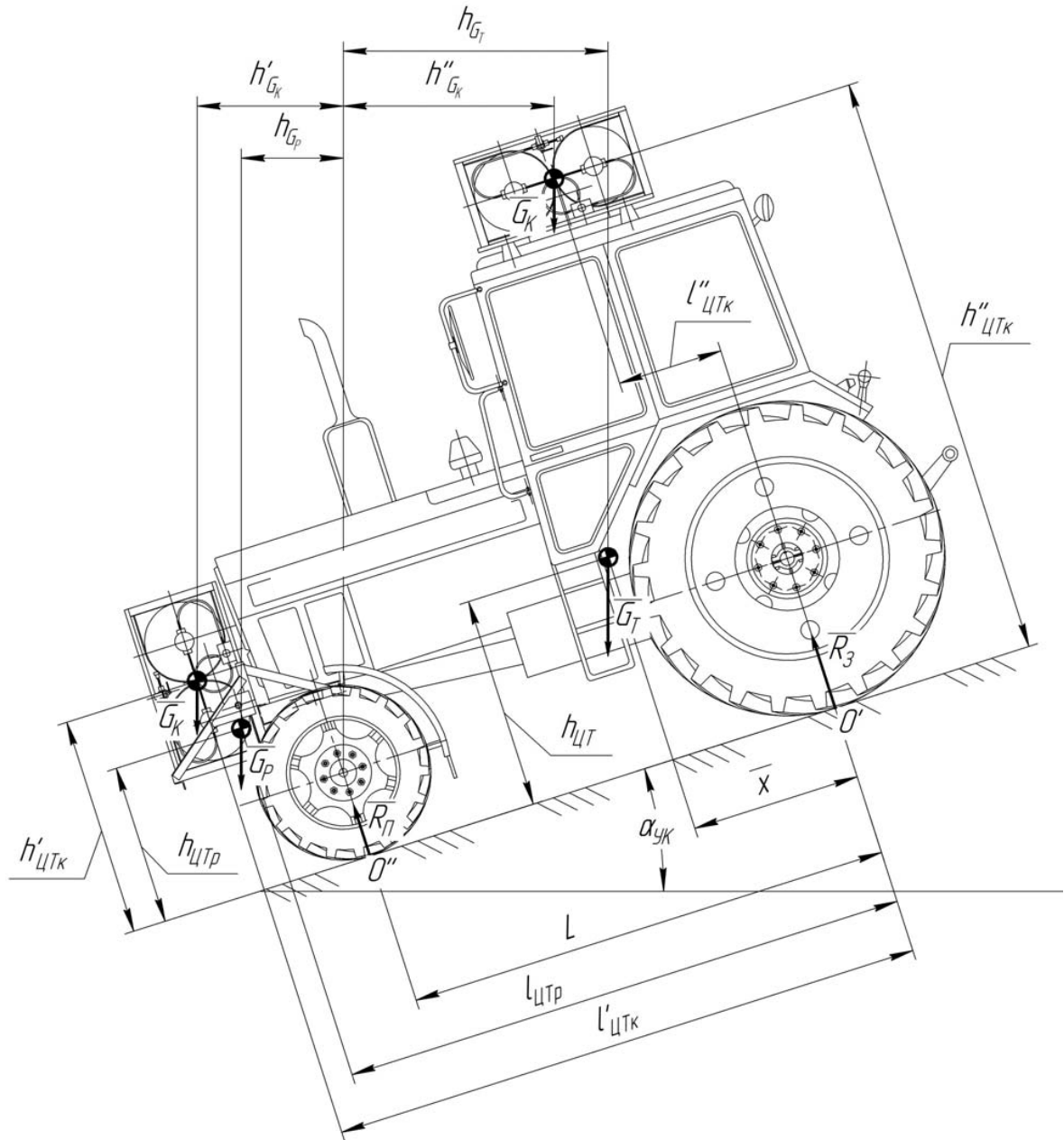


Рисунок 2.10 – Схема для визначення граничного статичного кута ухилу трактора ЮМЗ-8244 з різною компоновкою газобалонного обладнання

Рівняння рівноваги стосовно передбачуваної осі перекидання O'' у випадку розташування балонів у передній частині трактора матиме наступний вид:

$$\sum M_{O''}(F_i) = 0; -G_T h_{G_T} + G_K h'_{G_K} + G_P h_{G_P} + R_3 L = 0. \quad (2.23)$$

Вираз для визначення плеча прикладання сили тяжіння трактора h_{G_T} матиме вигляд:

$$h_{G_T} = (L - \bar{x}) \cos \alpha_{VX} - h_{ЦТ} \sin \alpha_{VX}. \quad (2.24)$$

Плече прикладання сили тяжіння касети h'_{G_K} визначиться з виразу:

$$h'_{G_K} = (l'_{ЦТ_K} - L) \cos \alpha_{VX} + h'_{ЦТ_K} \sin \alpha_{VX}. \quad (2.25)$$

Плече прикладання сили тяжіння рами визначиться наступним чином:

$$h_{G_P} = (l_{ЦТ_P} - L) \cos \alpha_{VX} + h_{ЦТ_P} \sin \alpha_{VX}. \quad (2.26)$$

Рівняння рівноваги трактора, що стоїть на ухилі, у якого газові балони розташовані на даху, має такий вигляд:

$$\sum M_{O''}(F_i) = 0; -G_T h_{G_T} - G_K h''_{G_K} + R_3 L = 0. \quad (2.27)$$

У разі розташування газових балонів на даху трактора плече h''_{G_K} прикладання їх сили тяжіння визначиться з виразу:

$$h''_{G_K} = (L - l''_{ЦТ_K}) \cos \alpha_{VX} - h''_{ЦТ_K} \sin \alpha_{VX}. \quad (2.28)$$

У момент перекидання трактора на ухилі реакція з боку опорної поверхні на задню вісь R_3 дорівнює нулю. При цьому кут нахилу α_{VX} дорівнює граничному статичному кутку ухилу $\alpha_{\text{lim}VX}$. Аналізуючи рівняння рівноваги (2.23) і (2.27) з урахуванням (2.24-2.26), (2.28) отримуємо вирази для визначення граничних статичних кутів ухилу трактора, оснащеного газобалонним обладнанням:

- у випадку встановлення балонів у передній частині трактора:

$$\alpha'_{\text{lim}VX} = \arctg \frac{(G_T + G_K + G_P)L - G_T \bar{x} - G_K l'_{ЦТ_K} - G_P l_{ЦТ_P}}{G_T h_{ЦТ} + G_K h'_{ЦТ_K} + G_P h_{ЦТ_P}}; \quad (2.29)$$

- у випадку встановлення балонів на даху трактора:

$$\alpha''_{\text{lim}VX} = \arctg \frac{(G_T + G_K)L - G_T \bar{x} - G_K l''_{ЦТ_K}}{G_T h_{ЦТ} + G_K h''_{ЦТ_K}}. \quad (2.30)$$

Для визначення граничного статичного кута ухилу трактора $\beta_{\text{lim}VX}$ необхідно розглянути рівновагу трактора на поперечному ухилі (рисунок 2.11).

Складемо рівняння моментів всіх сил, що діють на трактор, відносно осі перекидання A . Рівняння рівноваги трактора на поперечному ухилі у випадку розташування касети у передній його частині має наступний вигляд:

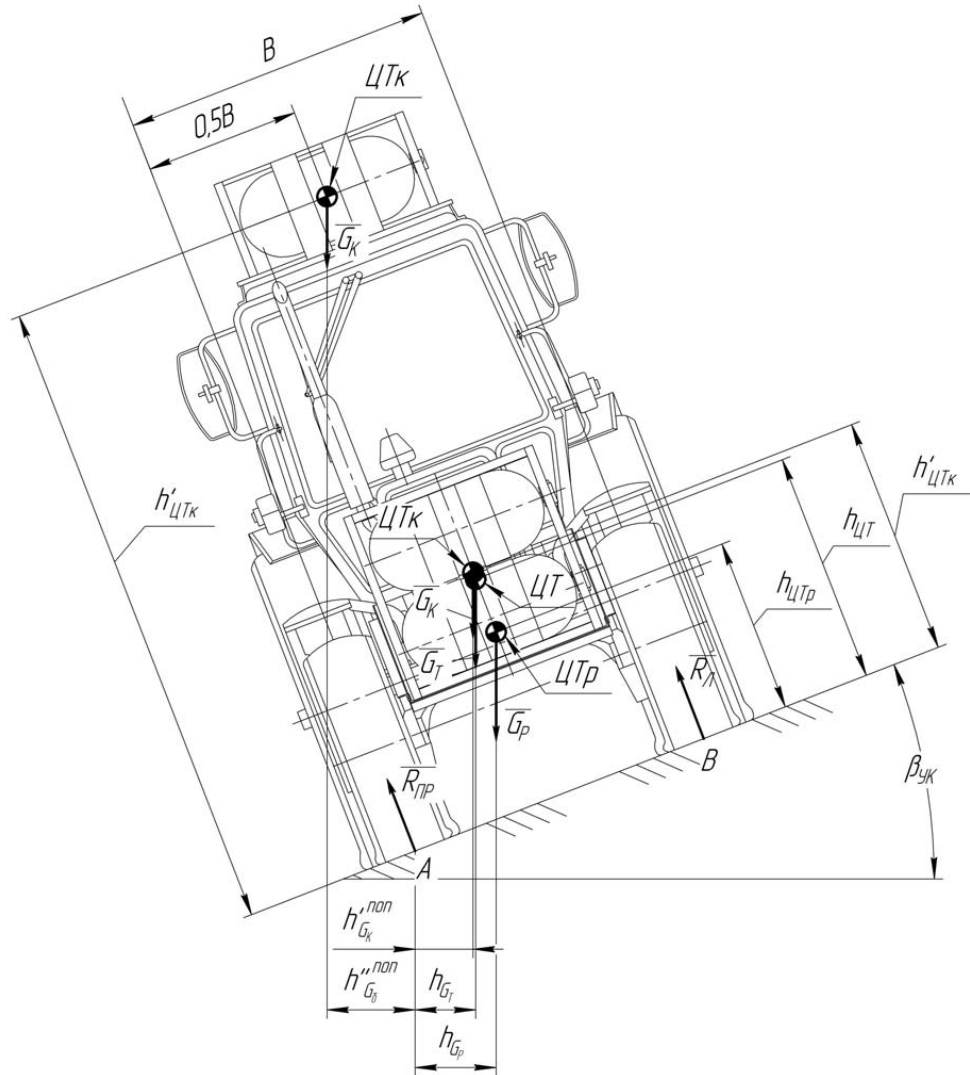


Рисунок 2.11 – Схема визначення граничного поперечного статичного кута ухилу трактора з різним компоюванням газобалонного обладнання

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_{Л}B - G_T h_{G_T}^{non} - G_K h_{G_K}^{non} - G_P h_{G_P}^{non} = 0, \quad (2.31)$$

де $R_{Л}$ – реакція з боку опорної поверхні, яка припадає на ліві колеса, Н; $h_{G_T}^{non}$ – плече прикладання сили тяжіння трактора \bar{G}_T на поперечному ухилі, мм; $h_{G_K}^{non}$ – плече прикладання сили тяжіння касети \bar{G}_K на поперечному ухилі у випадку розташування касети у передній частині трактора, мм; $h_{G_P}^{non}$ – плече прикладання сили тяжіння рами \bar{G}_P на поперечному ухилі, мм.

Плечі прикладання відповідних сил визначаються з виразів:

$$h_{G_T}^{non} = 0,5B \cos \beta_{yX} - h_{ЦТ} \sin \beta_{yX}, \quad (2.32)$$

де B – колія трактора, мм; $B = 2700$ мм.

$$h_{G_K}^{non} = 0,5B \cos \beta_{yX} - h'_{ЦТ_K} \sin \beta_{yX}, \quad (2.33)$$

$$h_{G_P}^{non} = 0,5B \cos \beta_{yX} - h_{ЦТ_P} \sin \beta_{yX}. \quad (2.34)$$

Рівняння рівноваги трактора на поперечному ухилі у випадку розташування касети на даху трактора:

$$\sum M_A(F_i) = 0; R_L B - G_T h_{G_T}^{non} - G_K h_{G_K}^{non} = 0, \quad (2.35)$$

де $h_{G_K}^{non}$ – плече прикладання сили тяжіння касети \bar{G}_K на поперечному ухилі у випадку розташування касети на даху трактора, мм.

Плече прикладання сили тяжіння касети $h_{G_K}^{non}$ визначають за виразом:

$$h_{G_K}^{non} = 0,5B \cos \beta_{yX} - h''_{ЦТ_K} \sin \beta_{yX}. \quad (2.36)$$

У момент початку перекидання реакція з боку опорної поверхні, на якій встановлений трактор, R_L дорівнює нулю. Причому в цей момент значення кута β_{yX} буде відповідати граничному значенню кута поперечної стійкості β_{limyX} . З врахуванням (2.32) – (2.34), (2.36) отримуємо вирази для визначення граничного статичного поперечного кута ухилу трактора:

- у випадку розташування газових балонів у передній частині трактора:

$$\beta_{limyX} = \arctg \frac{0,5B(G_T + G_K + G_P)}{G_T h_{ЦТ} + G_K h'_{ЦТ_K} + G_P h_{ЦТ_P}}; \quad (2.37)$$

- у випадку розташування газових балонів на даху трактора:

$$\beta_{limyX} = \arctg \frac{0,5B(G_T + G_K)}{G_T h_{ЦТ} + G_K h''_{ЦТ_K}}. \quad (2.38)$$

Отримані таким чином вирази (2.21), (2.22), (2.29), (2.30), (2.37) і (2.38) дозволяють визначити граничні статичні кути стійкості трактора для різного розташування газобалонного обладнання. Також за допомогою цих виразів можна визначити граничні статичні кути стійкості трактора без газобалонного обладнання, якщо прийняти масу змінною касети G_K і рами для їх встанов-

лення G_p рівними нулю. Результати розрахунку граничних статичних кутів стійкості трактора ЮМЗ-8244 представлені на рисунку 2.12.

З діаграми, представленої на рисунку 2.12, видно, що на поздовжньому підйомі встановлення знімної касети в передній частині трактора збільшує граничний статичний кут підйому $\alpha_{\text{лімпід}}$ з $39,9^\circ$ (базовий трактор) до $42,7^\circ$. У випадку встановлення ж газових балонів на даху трактора граничний статичний кут підйому зменшується до $37,4^\circ$ порівняно з базовим трактором.

Встановлення газобалонного обладнання на поздовжньому ухилі в будь-якому випадку призводить до зменшення, порівняно з базовим трактором ($\alpha_{\text{лімυχ}} = 57,3^\circ$), граничних статичних кутів поздовжнього ухилу: до $55,6^\circ$ у випадку встановлення знімної касети на даху трактора і до $53,8^\circ$ під час встановлення знімною касети на даху трактора.

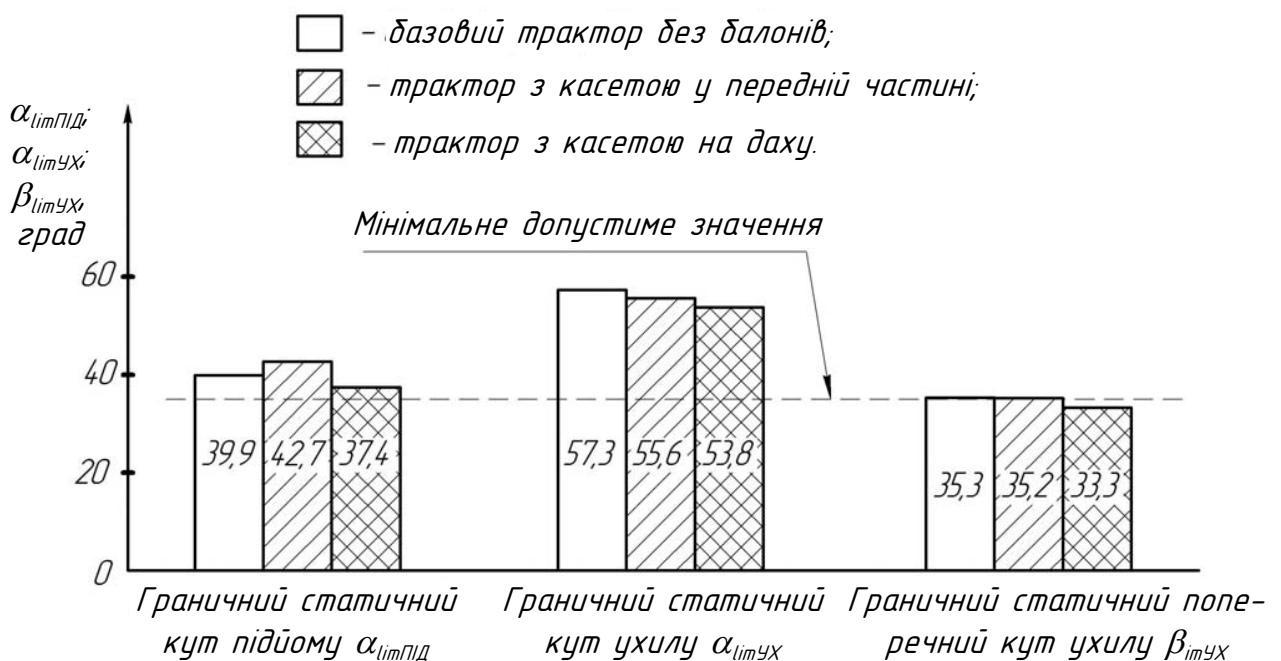


Рисунок 2.12 – Граничні статичні кути стійкості трактора ЮМЗ-8244 з різним компонуванням газобалонного обладнання

На поперечному ухилі у випадку встановлення знімної касети у передній частині трактора поздовжній статичний кут поперечного ухилу $\beta_{\text{лімυχ}}$ практично не змінюється порівняно з базовим трактором (кути рівні відповідно $35,3$ і $35,2^\circ$).

Під час встановлення знімної касети на даху трактора граничний статичний кут поперечного ухилу знижується до $33,3^\circ$, що не відповідає вимогам ГОСТ 12.2.019-2005, згідно якого даний показник не повинен бути меншим 35° .

2.5. Оцінка впливу газобалонного обладнання на тягово-зчіпні характеристики трактора

В процесі експлуатації трактора потужність двигуна витрачається на подолання втрат у вузлах трансмісії трактора, на подолання внутрішнього опору в колісному русі, на деформування ґрунту і т. д. При цьому значна частина потужності витрачається на буксування ведучих коліс трактора [3, 9, 27].

Дійсна швидкість руху трактора внаслідок буксування дещо менша теоретичної. У загальному випадку буксування δ визначається з виразу:

$$\delta = \frac{v_T - v_D}{v_T}, \quad (2.39)$$

де v_T – теоретична швидкість руху трактора, м/с; v_D – дійсна швидкість руху трактора, м/с.

Буксування, як правило, призводить до зростання витрати палива. Встановлення газобалонного обладнання, що має значну масу, може позитивно впливати на тягово-зчіпні характеристики трактора внаслідок того, що цим забезпечується додаткове навантаження ведучих коліс трактора. Тому в даній роботі доцільно оцінити ступінь впливу газобалонного обладнання і місця його розташування на тягово-зчіпні показники трактора.

Під час виконання різного роду робіт колісні трактори працюють в режимі, за якого коефіцієнт буксування δ складає 10...30%. При цьому також висока ймовірність роботи трактора з $\delta > 30\%$ [5]. Буксування трактора в цьому випадку може бути визначене за емпіричною формулою [5]:

$$\delta = aP_j + bP_j^c, \quad (2.40)$$

де a, b, c – безрозмірні коефіцієнти, що залежать від типу трактора; для колісних тракторів $a = 0,13$; $b = 0,013$; $c = 8$ [5]; P_j – відносна сила тяги трактора.

Відносна сила тяги P_j може бути визначена з виразу [5]:

$$P_j = \frac{P_{ГКj}}{P_{Кφj}}, \quad (2.41)$$

де $P_{ГКj}$ – частка сили тяги на гаку, яка припадає на відповідну вісь трактора, Н; $P_{Кφj}$ – найбільша допустима за зчепленням з ґрунтом сила тяги, яка припадає на відповідну вісь трактора, Н.

Виходячи з того, що сила тяги, яка реалізується кожним рушієм трактора, знаходиться у прямій залежності від реакції з боку ґрунту на нього [3, 5], можна зробити висновок, що сила на гаку, створювана трактором в цілому і реалізована під час виконання конкретної с.-г операції складається з сил, що створюються кожним ведучим мостом окремо. При цьому сила тяги, створювана кожним ведучим мостом, знаходиться в прямій залежності від навантаження, що припадає на передню або задню вісь. Тоді частка сили тяги на гаку, що припадає на відповідну вісь трактора $P_{ГКj}$, Н, визначиться з виразу:

$$P_{ГКj} = \frac{Y_j}{G_T} P_{ГК}, \quad (2.42)$$

де Y_j – частка сили тяжіння трактора, яка припадає на відповідну вісь трактора, Н.

Сила тяжіння трактора, що припадає на відповідну вісь трактора, рівна реакції, що діє на вісь трактора з боку ґрунту. Таким чином можна записати:

$$Y_{jII} = R_{II}, \quad Y_{j3} = R_3, \quad (2.42)$$

де Y_{II}, Y_3 – частки сили тяжіння трактора, яка припадає відповідно на передню і задню осі трактора, Н; R_{II}, R_3 – реакції з боку ґрунту, що діють на передню і задню осі трактора, Н.

Реакції на кожен вісь з боку ґрунту можна визначити, розглянувши рівняння рівноваги трактора (рисунок 2.13).

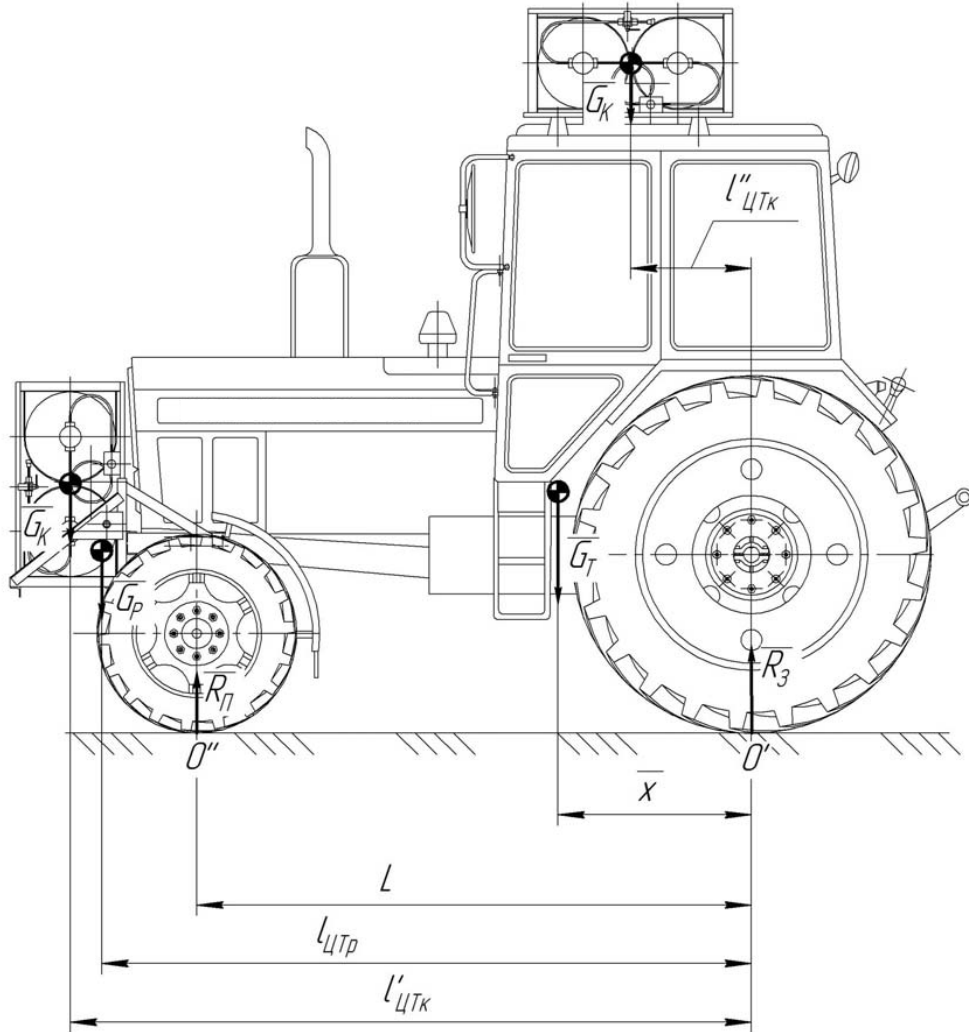


Рисунок 2.13 – Схема визначення реакцій з боку ґрунту на осі трактора

Рівняння рівноваги трактора для різного компонування газобалонного обладнання мають наступний вигляд:

- для штатного трактора (без газобалонного обладнання):

$$G_T \bar{x} - R_{\Pi} L = 0; \quad (2.43)$$

$$R_3 L - G_T (L - \bar{x}) = 0; \quad (2.44)$$

- для трактора зі змінною касетою, розташованою у передній частині:

$$G_T \bar{x} + G_K l'_{\text{ЦТК}} + G_P l_{\text{ЦТР}} - R_{\Pi} L = 0; \quad (2.45)$$

$$R_3 L - G_T (L - \bar{x}) + G_K (l'_{\text{ЦТК}} - L) + G_P (l_{\text{ЦТР}} - L) = 0; \quad (2.46)$$

- для трактора зі змінною касетою, розташованою на даху:

$$G_T \bar{x} + G_K l''_{ЦТК} - R_{II} L = 0; \quad (2.47)$$

$$R_3 L - G_T (L - \bar{x}) - G_K (L - l''_{ЦТК}) = 0. \quad (2.48)$$

З представлених рівнянь рівноваги отримуємо вирази реакцій:

- для штатного трактора:

$$R_{II} = \frac{G_T \bar{x}}{L}, \quad (2.49)$$

$$R_3 = \frac{G_T (L - \bar{x})}{L}; \quad (2.50)$$

- для трактора зі змінною касетою, розташованою у передній частині:

$$R_{II} = \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{ЦТК} + G_P l_{ЦТП}}{L}; \quad (2.51)$$

$$R_3 = (G_T + G_K + G_P) - \frac{G_T \bar{x} + G_K l'_{ЦТК} + G_P l_{ЦТП}}{L}; \quad (2.52)$$

- для трактора зі змінною касетою, розташованою на даху:

$$R_{II} = \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{ЦТК}}{L}; \quad (2.53)$$

$$R_3 = (G_T + G_K) - \frac{G_T \bar{x} + G_K l''_{ЦТК}}{L}. \quad (2.54)$$

Найбільша допустима за зчепленням з ґрунтом сила тяги $P_{K\phi_j}$, Н, що припадає на кожен вісь трактора, визначається з виразу:

$$P_{K\phi_j} = Y_j \varphi, \quad (2.55)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення рушіїв з ґрунтом; значення даного коефіцієнта для свіжозораного поля – 0,4; для злежаної оранки – 0,5; для сухої вкатої дороги на чорноземі і вологій стерні – 0,6 [3].

Таким чином можна визначити буксування ведучих коліс трактора для різних варіантів розташування газобалонного обладнання. Результати визначення буксування ведучих коліс представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Буксування ведучих коліс трактора ЮМЗ-8244 для різного компонування газобалонного обладнання, %

Розташування балонів	Буксування коліс для зусилля на гаку, кН						
	2	4	6	8	10	12	14
Серійний трактор	1,33	2,65	3,98	5,30	6,63	7,98	9,36
У передній частині трактора	1,27	2,54	3,80	5,07	6,35	7,63	8,94
На даху трактора	1,27	2,55	3,82	5,09	6,37	7,66	8,98

Як видно з таблиці 2.3, після встановлення газобалонного обладнання буксування трактора зменшується. За номінального тягового зусилля найменше буксування (8,94%) спостерігається у випадку встановлення знімної касети у передній частині трактора. Найбільше буксування – у серійного трактора без газобалонного обладнання (9,36%).

2.6. Висновки до розділу

1. Встановлено, що для трактора ЮМЗ-8244 газові балони найдоцільніше розташувати у передній його частині, оскільки в даному випадку всі кути статичної стійкості трактора відповідають нормативним вимогам.

2. Встановлення газобалонного обладнання на даху трактора небажане, оскільки в цьому випадку граничний статичний кут поперечного ухилу не відповідає вимогам нормативних документів.

3. Після встановлення знімної касети у передній частині трактора всі граничні статичні кути стійкості змінюються незначно, а на поздовжньому підйомі кут навіть збільшується, що дозволяє розширити можливості трактора під час роботи на пересіченій місцевості.

4. Встановлення газобалонного обладнання дозволяє зменшити буксування трактора на 0,4%. При цьому менше буксування спостерігається у випадку встановлення знімної касети у передній частині трактора.

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальні положення

Об'єктом дослідження був обраний трактор ЮМЗ-8244 з колісною формулою 4К4 – колісний, універсально-просапний, тягового класу 1,4. Трактор ЮМЗ-8244 призначений для проведення сільськогосподарських і транспортних робіт із застосуванням різних навісних і причіпних агрегатів.

На тракторі встановлено чотиритактний дизельний двигун ММЗ Д-243-436 рідинного охолодження з безпосереднім уприскуванням палива, запуском від електростартера. Трактор обладнаний автоматичним блокуванням диференціалу заднього моста, двошвидкісним ВВП, додатковим редуктором КП, ходозменшувачем і пневматичними приводами гальм причепів.

Експериментальний трактор був оснащений газобалонним обладнанням.

Дослідження проводили під час виконання основних сільськогосподарських робіт з використанням культиватора комбінованого КПК-4, а також під час виконання транспортних робіт в агрегаті з причепом 2ПТС-4,5.

3.2 Методика експлуатаційних випробувань

В процесі експлуатаційних випробувань за навантаження було використано культиватор комбінований КПК-4. Дане сільськогосподарське знаряддя дозволяє в ході обробітку ґрунту забезпечити роботу двигуна трактора на номінальному режимі роботи.

Культиватор комбінований КПК-4 призначений для безвідвального обробітку і передпосівного обробітку ґрунту без обороту пласта на глибину від 4 до 16 см з твердістю ґрунту до 4,5 МПа. За один прохід КПК-4 виконує розпушування ґрунту, забезпечує підрізання коренів бур'янів, мульчування верхнього шару ґрунту стерньовими і рослинними рештками, додаткове подрібнення грудок зубовими дисками, вирівнювання поверхні ґрунту. Агрегат не

тільки здатний готувати ґрунт під посів зернових, але із застосуванням змінних робочих органів проводити основний обробіток ґрунту в осінній період на глибину 30 см і більше. Витрата дизельного палива - 8-10 л/га. На рисунку 3.1 представлений загальний вид культиватора КПК-4.



Рисунок 3.1 – Культиватор комбінований КПК-4

У таблиці 3.1 представлені основні технічні характеристики культиватора комбінованого КПК-4.

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики культиватора комбінованого КПК-4

Параметр	Значення
Продуктивність, га/год	3,8-4,8
Ширина захвата, м	4,0
Спосіб агрегування	причіпний
Кількість плоскоріжучих лап, шт.	9
Швидкість, км/год (не більше)	
- робоча	12
- транспортна	18
Маса зі змінними частинами, кг	2119
Габаритні розміри, мм (не більше)	5220x4300x1200

У процесі проведення експериментальних досліджень вимірювали і реєстрували такі параметри:

- 1) тиск газу в одному балоні, МПа;
- 2) довжину загону l , м;
- 3) глибину обробітку, см;
- 4) витрату дизельного палива, кг/год;
- 5) час проходження загону t , с;
- 6) витрату газоподібного палива, м³/год.

Випробування проводили на полі, що представляє собою рілля для обробітку зернових культур і належить УкрНДІВПТТ ім. Л.Погорілого.

Відповідно до [7] дані випробування повинні відповідати наступним вимогам:

1) паливо, мастильні матеріали та спеціальні рідини, які використовуються під час випробувань, повинні відповідати інструкції з експлуатації трактора і мати паспорт та сертифікати;

2) засоби вимірювання, які застосовуються під час випробувань, повинні відповідати ДСТУ 8.513-2000;

3) наданий на випробування трактор повинен бути укомплектований запасними частинами, інструментом і приладдям відповідно до технічних умов для нього;

4) випробування проводять при нормальних значеннях факторів зовнішнього середовища за ДСТУ 15150-2001.

3.3 Методика експериментальних досліджень стійкості трактора

Газобалонне обладнання, яке встановлюється на трактор для забезпечення його роботи за газодизельним циклом, має значну масу і габаритні розміри. Будучи встановленим на трактор, таке обладнання може призвести до порушення вимог безпеки, а саме до порушення стійкості трактора. При цьому

регламентовані граничні кути перекидання можуть не відповідати встановленим значенням.

Для оцінки граничних статичних кутів стійкості в ході досліджень проводили випробування трактора, оснащеного газобалонним обладнанням для роботи за газодизельним циклом, в ході яких визначали граничні кути поздовжньої і поперечної стійкості. В основу цих досліджень було покладено методику, описану в [6].

Для оцінки кутів поздовжньої і поперечної стійкості використовувалася металева платформа 6х3 м, оснащена рим-болтами по кутах. Рим-болти призначені для забезпечення можливості нахилу платформи в поздовжньому або поперечному напрямках за допомогою кранового підвісу вантажопідйомністю не менше 6 т; висота підйому – не менше 7 м.

Відповідно до вимог [6] перед проведенням випробувань поверхня платформи була висушена і очищена від бруду. Швидкість вітру під час проведення випробувань не перевищувала 5 м/с.

Трактор, що випробовувався, був повністю заправлений паливно-мастильними матеріалами, охолоджуючою рідиною. Заливні горловини баків і акумуляторів герметизувались для запобігання витоку рідини при нахилі.

У ході експерименту на сидіння трактора містився вантаж масою 75 ± 5 кг для імітації тракториста, що сидить на ньому.

Під час випробувань на тракторі були увімкнуті стоянкове гальмо і нижча передача. Важіль виключення переднього моста перебував у положенні «Передній ведучий міст увімкнений».

Тиск у передніх шинах коліс становив $2,8 \pm 0,1$ кПа, задніх $1,6 \pm 0,1$ кПа. Самі колеса при цьому були очищені від бруду.

Для запобігання ковзання (поперечного зсуву) коліс при поперечному нахилі трактора на платформі були закріплені 4 бічні опори висотою $h_0 = 150$ мм кожна, що встановлювалися по зовнішнім торцях шин коліс в точках контакту їх із платформою.

Для запобігання ковзання трактора в поздовжньому напрямку навпроти кожного з коліс встановлювали упори висотою $h_{\text{упу}} = 400$ мм, жорстко закріплені на платформі болтами з гайками.

Для виключення перекидання трактора в положеннях платформи, коли кут поздовжньої або поперечної стійкості перевищить відповідне граничне значення, використовувалися гнучкі страхувальні елементи (ланцюги), одним кінцем вони закріплювалися на платформі, а іншим – на тракторі. Всього застосовано вісім страхувальних елементів – по два з кожного боку трактора, а також по два спереду і ззаду трактора.

З метою запобігання перевероту платформи разом з трактором внаслідок дії інерційних мас трактора, що виникають під час перекидання, передбачені страхувальні стропи, що закріплюються з одного боку за кронштейн платформи, а з іншого боку – за опору, жорстко закріплену на майданчику.

Значення кута нахилу платформи визначалося за допомогою виска і дерев'яного щита 400×400 мм, на якому робилися відмітки горизонтального положення, а також відповідного граничного кута нахилу платформи.

Перед початком випробувань трактор, підготовлений відповідно до зазначених вище вимог, встановлювали на платформі таким чином, щоб поздовжня вісь і напрямок руху коліс були паралельні осі поперечного нахилу платформи з відхиленням не більше $1,5^\circ$. Після цього під колеса встановлювали упори і жорстко фіксували їх на платформі. По торцях коліс встановлювали бічні опори і також жорстко закріплювали їх на платформі.

Момент перекидання трактора визначали за відривом відповідних коліс трактора від платформи: під час визначення граничного кута підйому відбудеться відрив передніх коліс, граничного кута ухилу – відрив задніх коліс, граничного поперечного кута нахилу – відрив коліс, протилежних сторони, в яку відбувається нахил трактора.

Для визначення граничного статичного кута підйому трактора на щиті 7 (рисунок 3.2) за допомогою виска відзначали горизонтальне положення плат-

форми. Після цього крановим підвісом 5 з боку передньої частини трактора платформу 1 плавно піднімали, поступово послаблювали страхувальні стропи платформи 6, спостерігаючи при цьому за колесами трактора. У момент відриву передніх коліс від платформи на щиті з виском знову відзначали кутове положення платформи. Значення кута нахилу платформи в момент відриву передніх коліс трактора від платформи буде граничним статичним кутом підйому трактора $\alpha_{\text{лімітід}}$. Експеримент проводили 3 рази. За оціночний показник брали мінімальний із врахованих кутів нахилу платформи відносно горизонтальної площини, при якому відбувається відрив передніх коліс від платформи.

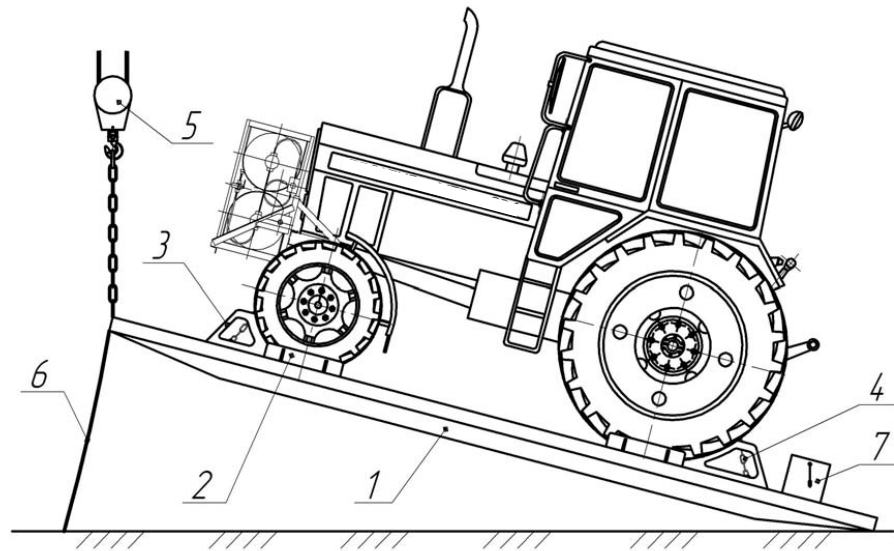


Рисунок 3.2 – Визначення граничного статичного кута підйому трактора ЮМЗ-8244 з газобалонним обладнанням: 1 – платформа; 2 – бічна опора; 3 – противідкатний упор; 4 – страхувальні ланцюги; 5 – крановий підвіс; 6 - страхувальна стропа платформи; 7 – дерев'яний щит з виском

Аналогічно визначали значення граничного статичного кута перекидання трактора на ухилі $\alpha_{\text{лімух}}$. Відмінність полягає в тому, що підйом платформи здійснювався зі сторони задньої частини трактора. При цьому підйом платформи здійснювався до того моменту, поки не відбудеться відрив задніх коліс трактора від платформи (рисунок 3.3).

Для визначення граничного статичного кута поперечної стійкості $\beta_{\text{лімух}}$ платформу піднімали з правого і з лівого боків трактора. Підйом здійснювали до тих пір, поки не відбувався відрив обох коліс однієї сторони трактора (рис. 3.4).

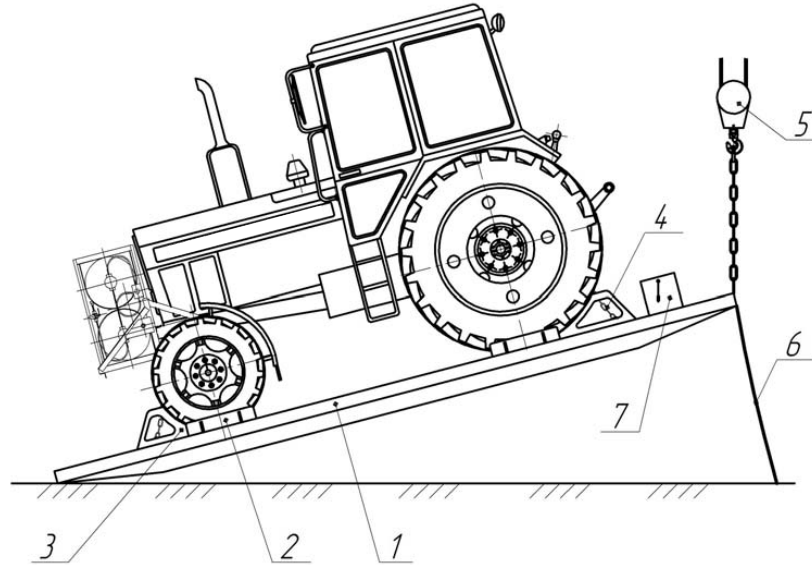


Рисунок 3.3 – Визначення граничного статичного кута ухилу трактора ЮМЗ-8244 з газобалонним обладнанням: 1 – платформа; 2 – бічна опора; 3 – противідкатний упор; 4 – страхувальні ланцюги; 5 – крановий підвіс; 6 – страхувальна стропа платформи; 7 – дерев'яний щит з виском

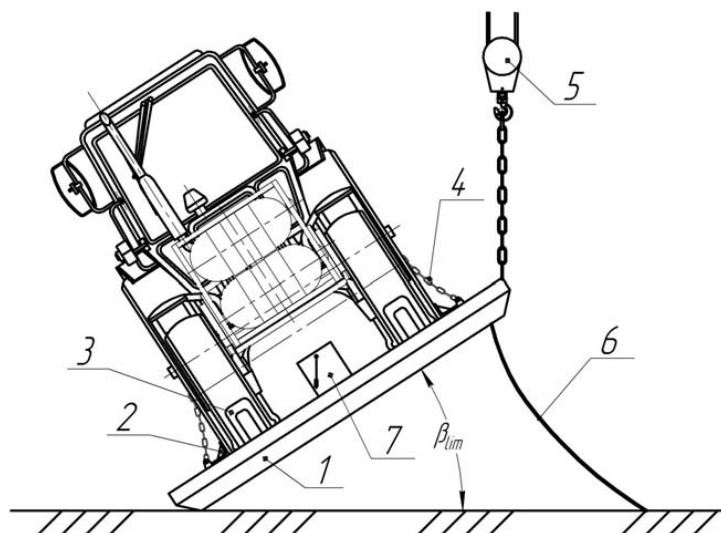


Рисунок 3.4 – Визначення граничного статичного кута поперечного ухилу трактора ЮМЗ-8244 з газобалонним обладнанням: 1 – платформа; 2 – бічна опора; 3 – противідкатний упор; 4 – страхувальні ланцюги; 5 – крановий підвіс; 6 – страхувальна стропа платформи; 7 – дерев'яний щит з виском

4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАСУ 1,4 З ГАЗОБАЛОННИМ ОБЛАДНАННЯМ

4.1 Результати експлуатаційних випробувань трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням

Для проведення експлуатаційних випробувань був обраний трактор ЮМЗ-8244 зі встановленою системою розподіленої подачі газоподібного палива за ежекційним принципом для роботи дизелів за газодизельним циклом, яка була виготовлена і скомплектована з серійних і дослідних виробів в УкрНДІВПШТТ ім. Л.Погорілого. Загальний вигляд трактора ЮМЗ-8244, оснащеного системою розподіленої подачі газоподібного палива за ежекційним принципом, представлений на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням

Експлуатаційні випробування проводили на полях, що належать УкрН-ДІВПШТТ під час виконання сільськогосподарських операцій: культивуації і транспортних роботах. Для запису параметрів роботи двигуна використовували програмний комплекс «Тракторінжект».

Перед початком проведення експерименту трактор прогрівався пробігом з метою забезпечення робочих температур технологічних рідин в системах двигуна і трансмісії. Час і шлях, на якому реєструють параметри в процесі випробувального заїзду, повинні бути достатні для забезпечення необхідної точності вимірювань. Трактор проходив вимірювану ділянку на певній передачі трансмісії під навантаженням, що дозволяє підтримувати середнє значення частоти обертання колінчастого вала двигуна і ведучих коліс на заданому рівні для кожного окремого заїзду.

Для проведення випробувань з визначення залежностей витрати палива від навантаження використовували сільськогосподарське знаряддя КПК-4, що представляє собою культиватор. На рисунку 4.2 представлений процес обробки ґрунту машинно-тракторним агрегатом в складі трактора ЮМЗ-8244 і культиватора комбінованого КПК-4.



Рисунок 4.2 – Обробіток ґрунту машинно-тракторним агрегатом ЮМЗ-8244+КПК-4

Для проведення випробувань з визначення залежності витрати газоподібного і дизельного палива трактором ЮМЗ-8244 в транспортному режимі використовували тракторний причіп 2-ПТС-4,5, задіяний на перевезенні сіна.

Результати випробувань представлені в таблиці 4.1. Для проведення більш наочного порівняння та аналізу отриманих даних були побудовані діаграми витрат палива під час роботи за дизельним і газодизельним циклами, які представлені на рисунку 4.3.

Таблиця 4.1 – Показники роботи трактора ЮМЗ-8244

Показник	Базовий	Газобалонний
Експлуатаційна маса трактора, т	3,62	3,75
Діапазон швидкостей, км/год	1,89-33,4	1,89-33,4
Витрата дизельного палива, кг/год	11,4	4,3
Витрата газоподібного палива, м ³ /год	-	8,7
Витрата дизельного палива на транспортному режимі, кг/год	8,6	2,8
Витрата газу на транспортному режимі, м ³ /год	-	6,5
Транспортна швидкість, км/год	33	33
Кількість газових балонів/ємність балона, л	-	2/67

Таким чином, в результаті експлуатаційних досліджень було встановлено, що трактора ЮМЗ-8244 здатен працювати в режимах холостого ходу і в режимах близьких до номінальних за дизельним і за газодизельним циклами.

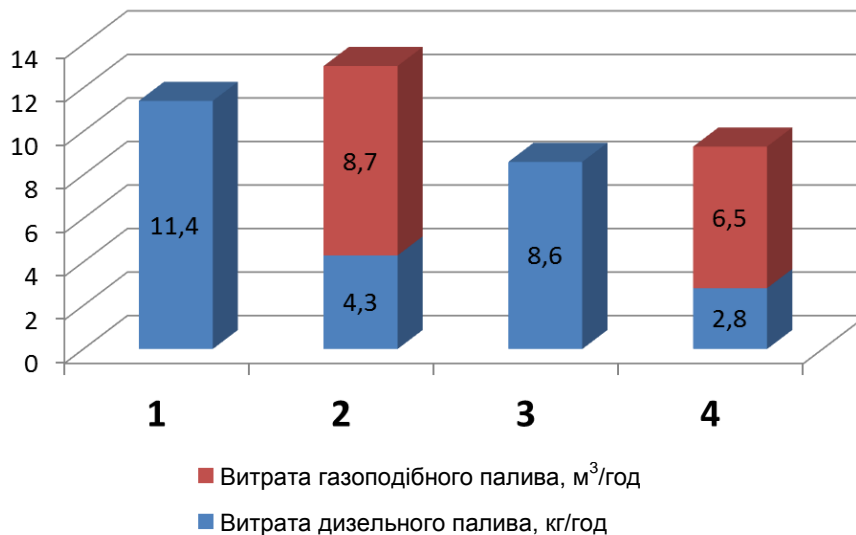


Рисунок 4.3 – Діаграма витрати палива під час роботи трактора ЮМЗ-8244 за дизельним і газодизельним циклами: 1 - культивуація за дизельним циклом; 2 - культивуація за газодизельним циклом; 3 - транспортування за дизельним циклом; 4 - транспортування за газодизельним циклом

4.2 Результати експериментальних випробувань трактора ЮМЗ-8244 на стійкість

Крім того, в ході експериментальних досліджень відповідно до методики, викладеної в пункті 3.4, були визначені граничні статичні кути стійкості трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням для роботи за газодизельним циклом. Результати визначення граничних статичних кутів стійкості представлені в таблиці 4.2.

Розбіжність теоретичних та експериментальних значень граничних кутів перекидання в таблиці 4.2 визначали за формулою:

$$\delta = \frac{|\alpha_{ТЕОР} - \alpha_{ЕКСП}|}{\alpha_{ТЕОР}} 100\%, \quad (4.1)$$

де $\alpha_{ТЕОР}$, $\alpha_{ЕКСП}$ – теоретичне і експериментальне значення кута відповідно, °.

Таблиця 4.2 – Зведена таблиця визначення статичних кутів поздовжньої і поперечної стійкості трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням

Комплектація		Граничний статичний кут підйому $\alpha_{\text{лімпід}}$	Граничний статичний кут ухилу $\alpha_{\text{лімух}}$	Граничний статичний кут поперечної стійкості $\beta_{\text{лімух}}$
Трактор без газобалонного обладнання (базовий)	теорет., °	39,3	57,3	35,3
	експер., °	38,6	57,0	35,9
	δ , %	1,7	0,5	1,7
Трактор, оснащений газобалонним обладнанням (зі знімною касетою, встановленою у передній частині трактора)	теорет., °	42,7	55,6	35,2
	експер., °	41,5	54,1	34,2
	δ , %	2,8	2,5	2,8

Як показав проведений експеримент, значення граничних статичних кутів стійкості, отримані експериментальним шляхом і за допомогою аналітич-

них розрахунків досить близькі. Розбіжність не перевищує 2,8% (таблиця 4.2). Це є підтвердженням правильності проведених теоретичних розрахунків.

4.3 Висновки до розділу

1. Була розроблена, скомплектована і досліджена система розподіленої подачі газоподібного палива для трактора ЮМЗ-8244, яка показала можливість роботи як за дизельним, так і за газодизельним циклами під час виконання різних сільськогосподарських операцій.

2. Для підвищення ефективності використання тракторів ЮМЗ-8244, оснащених газобалонним обладнанням, доопрацьована система розподіленої подачі газу за ежекційним принципом. Експлуатаційними випробуваннями встановлено:

- трактор ЮМЗ-8244 здатний працювати на режимах близьких до номінального як за дизельним, так і за газодизельним циклами;

- запальна доза дизельного палива досягає 22%;

- під час обробітку ґрунту культиватором комбінованим КПК-4 витрата дизельного палива під час роботи за газодизельним циклом знижується в 4,7-4,9 рази; витрата дизельного палива під час роботи за дизельного циклом склала 11,4 кг/год, за газодизельним – 4,3 кг/год.

3. Статичні кути поздовжньої і поперечної стійкості трактора ЮМЗ-8244 знаходяться практично в допустимих межах. Розбіжність з теоретичними даними не перевищує 2,8%.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Стійкість трактора, як чинник забезпечення безпеки під час роботи на схилах

Збільшення випадків перекидання тракторів в останні роки зумовлено не тільки інтенсифікацією сільськогосподарських операцій, зростанням енергонасиченості і швидкості руху тракторів, збільшенням вантажопідйомності тракторних причепів при практично незмінній величині граничних кутів статичної стійкості тракторів, а й включенням в експлуатацію ділянок землі з сильно пересіченим рельєфом і більш широким використанням тракторів в лісовому господарстві і промисловому будівництві та сільськогосподарському виробництві [16].

На рисунку 5.1 представлено діаграму кількості перекидань колісних тракторів у сільському господарстві за видами робіт у відсотках.



Рис. 5.1 Кількості перекидань колісних тракторів у сільському господарстві за видами робіт

На прикладі трактора Т-150К з шарнірно-зчленованими рамами встановлено, що більше половини зареєстрованих дорожньо-транспортних пригод призводять до перекидання трактора або машинно-тракторного агрегату.

Проведений аналіз причин перекидання тракторів і тракторних поїздів дозволяє класифікувати найбільш часті випадки, виявити їх закономірність і кількість за порами року, доби і днями тижня, основні конструкційні та експлуатаційні причини, визначити наслідки аварій (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Основні причини, %, ДТП і перекидання колісних машин [24]

Причина	Трактор	Тракторний поїзд
Конструкційні якості трактора	6,0	8,8
Незручність в керуванні	5,5	0
Технічний стан	20,5	12,0
Відсутність жорсткого каркасу кабіни, пасків безпеки, огорожі	16,5	0
Втома водія	7,9	4,1
Алкогольне сп'яніння і порушення дисципліни	3,6	15,7
Низька кваліфікація	12,5	5,5
Порушення ПДР	3,5	13,1
Відсутність інструмента	7,0	0
Велика крутизна, малі радіуси повороту дороги	0	15,5
Поганий стан дороги (грязь, мікропрофіль)	3,0	22,4
Невідповідність технологічного процесу вимогам безпеки	4,9	0
Розпорядження керівництва	4,3	0
Нехтування нормами техніки безпеки, відсутність контролю за небезпечною роботою	1,8	0
Інші фактори	3,0	2,9

Небезпечні умови складаються як з зовнішніх об'єктивних умов, так і в результаті небезпечних дій людини, які найчастіше не відповідають вимогам професійної поведінки. На рисунку 5.2 наведені показники виробничого травматизму в сільському господарстві по Львівській області, при виконанні трактористами робіт на схилах.

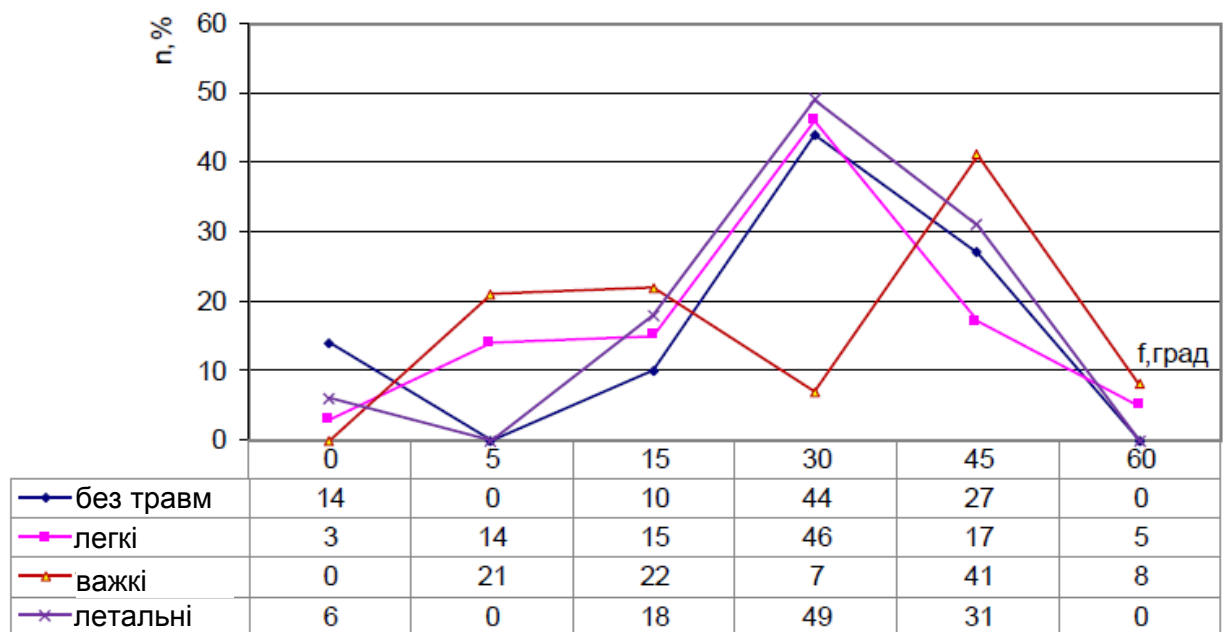


Рисунок 5.2 – Вплив крутизни схилу на характер травм отриманих оператором

Аналіз показав, що випадки перекидання тракторів можуть бути поділені на три класи:

1) порушення критеріїв статичної стійкості - 8 %. У цьому випадку неминучість перекидання зумовлюється становищем системи в просторі, а не дією сил інерції або ударів, пов'язаних зі значною швидкістю;

2) порушення критеріїв динамічної стійкості - 88 %. Неминучість перекидання визначається дією сил інерції і явищами ударів, пов'язаних зі значною швидкістю МТА, а не положенням, яке при малих швидкостях могло бути безпечним;

3) впливу сторонніх тіл - 4 %, (зіткнення, вітер, удари каміння, неправильне буксирування тощо).

Оскільки переважна більшість випадків перекидань пов'язана з порушенням динамічних критеріїв стійкості слід приділити особливу увагу уточненню понять динамічних явищ, за характерними ознаками, що викликали перекидання:

- порушення правил організації та виробництва сільськогосподарських робіт, а також правил маневрування і руху МТА (невідповідність швидкості руху в конкретних умовах – перевищення швидкості, відсутність перевіреного заздалегідь наміченого безпечного маршруту та ін.);

- втрата водієм пильності (зниження уваги і несвоєчасні дії щодо забезпечення запобіжних заходів, внаслідок перевтоми або сп'яніння, недостатньої кваліфікації тощо);

- технічні несправності сільськогосподарських і транспортних агрегатів, недотримання інструкцій з підготовки їх до роботи (несправність рульового приводу, збільшений зазор в зчипному пристрої, порушення балансування та ін.).

- схили різної рівності, одні близькі до похилої площині, інші представляють увігнуту поверхню, треті опуклу або ступінчасту. Для них характерна велика кількість мікронерівностей, западин або виступаючих каменів.

Крутизна схилу найбільше позначається на якості сільськогосподарських робіт, помітно знижується продуктивність. Тяговий опір робочих органів машин із збільшенням крутизни схилу зростає, а тягове зусилля колісної машини зменшується, як через перерозподіл опорних реакцій (погіршується зчеплення з ґрунтом), так і через необхідність компенсувати бічне сповзання агрегату під ухил.

Схили, крім інших впливів, помітно знижують запас стійкості колісної машини. Слід зазначити, що крутизна схилів (5-25 °), де проводяться транспортно-технологічні операції, є основною причиною перекидання (рис. 5.3).

Для районів з пересіченою місцевістю характерні дрібноконтурні ділянки, розділені необроблюваними землями. Це викликає підвищення обсягу

транспортних робіт на одиницю оброблюваної площі (перевезення добрив, насіння, урожаю та ін.). Вони виконуються на високих швидкостях, що сприяє виникненню динамічних явищ, крім того в сиру погоду різко виникає небезпека бічного ковзання колісної машини.

5.2 Аналіз процесів формування пожежонебезпечних і аварійних ситуацій під час обслуговування газобалонного обладнання

Розробка та впровадження ефективних заходів запобігання аварійних і пожежонебезпечних ситуацій можливі лише при завчасному виявленні тих небезпек, з яких починаються процеси їх формування.

Аналізу передують обстеження територій, будівель, споруд, об'єктів, робочих місць і оцінка відповідності вимогам стандартів, правил протипожежної безпеки, встановлення розбіжностей з проектом, технічними умовами, вимогами інструкцій заводу-виготівника, умовами експлуатації тощо. Одночасно визначають і фіксують наявність і характер небезпечних чинників (наявність умов горіння, джерел запалювання, вибухонебезпечних речовин тощо), включаючи також і ті, які можуть виникнути в процесі життєдіяльності, під час аварійних та інших травмонебезпечних ситуацій. При цьому визначають небезпечні рівні, певні значення чинників [16].

Після цього для кожного небезпечного чинника визначають умови (небезпечні), за яких він може діяти на людину. При цьому для кожної небезпечної умови за допомогою логічних взаємозв'язків ведеться пошук небезпечної дії людини у побуті чи оператора на виробництві (тієї, що вже відбулась, або, що може статися), інших умов, що можуть мати певний зв'язок з першою умовою, а також встановлюють чинники, які утворюють небезпечні ситуації. Для того щоб можна було стежити за розвитком небезпечних подій за таблицею, всі події, що фіксують у ній, мають певні номери і схематичні позначення з відповідними індексами. Це дає змогу після обговорення подій побудувати

логічну модель аналізу процесу формування та виникнення можливих небезпек у вигляді пожежонебезпечних та аварійних ситуацій.

Таблиця 5.2 – Аналіз процесів формування пожежонебезпечних і аварійних ситуацій

Вид робіт, робоче місце	Небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація		
Ремонт газового обладнання трактора	Малий досвід роботи НУ1. Частково несправний засіб НУ2.	Ремонт паливної апаратури НД1. Наявність відкритого вогню НД2.	Загоряння газу НС1. Вибух НС2.	Пожежа П. Травма Т. Аварія А.	Інструктаж з безпеки робіт працівників без стажу. Контроль безпеки стану робіт з паливно-мастильними матеріалами
Схема-модель процесу:	НУ2 → НУ1 →	НД1 → НД2 →	НС1 → НС2 →	Т, А	

5.3 Екологічна безпека

На сьогоднішній день Україна прагне стати членом Європейського союзу, а як відомо одним з найважливіших напрямків політики Європейських країн є охорона навколишнього середовища, що є невід’ємною частиною європейського інтеграційного процесу. Використання стисненого природного газу в якості моторного палива для автомобілів та тракторів є безпечним та екологічним видом моторного палива, визнаного багатьма передовими країнами Європи та світу, це практичний крок для поліпшення екологічної ситуації в Україні [28].

Природний газ є самим екологічним та чистим із всіх видів палива, на відміну від бензину та дизельного палива продукти згоряння метану є нетокси-

чними, при його згорянні в камері двигуна в атмосферу виділяються нешкідливі для організму людини вуглекислий газ та вода. Також головною відмінністю метану від інших палив є безпека. Балони для метану не мають зварних швів та виконанні з суцільної сталі або з композитних матеріалів (сучасний пластик та синтетичні волокна). Заводи-виробники тестують їх на різні впливи: випробування тиском, що перевищує їх робочі параметри, падіння з висоти, екстримально високі температури.

Противники метану часто оперують аргументом про те, що природний газ нібито найбільш вибухонебезпечний.

Це ствердження досить легко спростувати, оскільки для вибуху або займання необхідна суміш повітря і пального в певній пропорції. Метан легше повітря і не здатний утворити суміш в відкритому просторі – він просто випаровується. Завдяки цій властивості і високому порогу займання метан віднесений до найвищого – четвертого класу безпеки серед горючих речовин. Для порівняння, у бензину – третій клас, а у пропан-бутану – другий [28].

5.4 Висновок до розділу

Неухильне дотримання правил техніки безпеки, моделювання можливих травмонебезпечних ситуацій сприятиме попередженню виникненню аварійних ситуацій на виробництві.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РІЗНИХ СПОСОБІВ ЗАПРАВКИ ТРАКТОРА ГАЗОПОДІБНИМ ПАЛИВОМ

6.1 Обґрунтування способу заправки трактора газоподібним паливом

Внаслідок того, що на сьогодні в Україні мережа АГНКС не достатньо розвинена, перед с.-г організаціями постає питання заправки техніки стисненим природним газом. У випадку значної віддаленості господарства від АГНКС витрати на заправку можуть значно знизити економію від застосування СПГ, оскільки при цьому витрачаються додаткові кошти на переміщення трактора до АГНКС, а також знижується змінна продуктивність. Цю проблему можна вирішити шляхом використання пересувних газозаправників. Знизити витрати на заправку газом також можна за умови використання схеми заправки, представленої на рисунку 6.1, в основу якої покладено використання знімних касетних модулів.



Рисунок 6.1 – Схема заправки сільськогосподарської техніки стисненим природним газом на основі знімних касетних модулів

У той же час, якщо АГНКС знаходиться на незначній відстані від господарства, використання ПАГЗів і заправка за допомогою касетних модулів може бути нерентабельною, т. б. доцільнішим буде здійснювати заправку безпосередньо на тракторі на АГНКС. Тому необхідно для різних способів заправки визначити найоптимальніше значення віддаленості від АГНКС, за якого той чи інший спосіб заправки буде найоптимальнішим.

Для обґрунтування способу заправки тракторів СПГ необхідно визначити собівартість перевезення одного кубічного метра СПГ для даного способу.

Розглянемо різні способи заправки. За ПАГЗ виберемо модель 2500/32-4 (таблиця 1.3) на шасі КамАЗ-53229, який оснащений двигуном моделі 740.31.240 (Євро-2), потужністю 225 к. с. (165 кВт) при 2200 хв⁻¹. Витрата палива на 100 км шляху складає (в дизельному режимі) 26 л.

Для перевезення змінних касетних модулів використовуємо автомобіль ГАЗ-3302 («Газель»), оснащений двигуном УМЗ-4216 потужністю 107 к.с. (79 кВт) при 4000 хв⁻¹. Витрата палива (бензин) на 100 км шляху складає 15,5 л.

Також розглянемо переміщення трактора до АГНКС своїм ходом. Витрата дизпалива в транспортному режимі для ЮМЗ-8244 становить 9,2 л/год.

Собівартість перевезення 1 м³ природного газу C_1 , грн., під час його доставки до споживача на транспортному засобі на базі будь-якого автомобіля може бути визначена за формулами:

- під час транспортування газу за допомогою ПАГЗ або за допомогою касетних модулів:

$$C_1 = \frac{C_{ЗП} + C_{ПММ} + C_{ТОР} + C_{Ш}}{V_G}; \quad (6.1)$$

- під час переміщення трактора до заправки своїм ходом:

$$C_1 = \frac{C_{ЗП} + C_{ПММ} + C_{ТОР} + C_A}{V_G}, \quad (6.2)$$

де $C_{ЗП}$ – витрати на заробітну плату водія, грн.; $C_{ПММ}$ – витрати на паливо і мастильні матеріали, грн.; $C_{ТОР}$ – витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн.; C_A – витрати на амортизацію, грн.; $C_{Ш}$ – витрати на відновлення зносу і ремонт шин, грн.; V_G – об'єм газу, що перевозиться за одну поїздку.

Витрати на заробітну плату водія можуть бути визначені з виразу:

$$C_{ЗП} = \tau T_{П}, \quad (6.3)$$

де τ – годинна тарифна ставка водія, грн.; $T_{П}$ – час на одну поїздку, год.

Час $T_{П}$ може бути визначений за такими формулами:

- під час транспортування газу за допомогою ПАГЗ:

$$T_{\Pi} = \frac{2l}{v_{cp}} + T_{ПАГЗ}^{АГНС} + \frac{T_{y3}K_O}{V_{y3}}; \quad (6.4)$$

- під час транспортування газу за допомогою касетних модулів:

$$T_{\Pi} = \frac{2l}{v_{cp}} + nT_K^{АГНС}; \quad (6.5)$$

- під час переміщення трактора до АГНС своїм ходом:

$$T_{\Pi} = \frac{2l}{v_{cp}} + T_{АГНС}; \quad (6.6)$$

де l – відстань до АГНКС, км; v_{cp} – середня швидкість руху в транспортному режимі, км/год; $T_{ПАГЗ}^{АГНС}$ – час заправки ПАГЗ на АГНКС, год; T_{y3} – час умовної заправки від ПАГЗ, год; $T_{y3} = 0,17$ год (8 хв.); K_O – коефіцієнт спорожнення; для ПАГЗ моделі 2400/32-4 $K_O = 0,95$; V_y – об'єм умовної заправки, м³; $V_y = 50$ м³; n – кількість касетних модулів, що транспортуються одночасно до АГНКС, шт.; $T_K^{АГНС}$ – час заправки касетного модуля на АГНКС, год.; $T_{АГНС}$ – час заправки трактора на АГНКС, год.

Дані для розрахунку витрат на заробітну плату для різних способів заправки представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Дані для розрахунку витрат на заробітну плату

Показник	Спосіб заправки		
	ПАГЗ	касетний модуль	своїм ходом
v_{cp} , км/год	58	69	29,6
$T_{ПАГЗ}^{АГНС}$, год.	2,73	-	-
T_{y3} , год.	0,17	-	-
$T_K^{АГНС}$, год.	-	0,37	-
$T_{АГНС}$, год	-	-	0,35
n , шт.	-	12	-

Витрати на ПММ можуть бути визначені з наступних виразів:

- для автомобілів:

$$C_{ПММ} = \frac{2Q_{\Pi} \rho_{\Pi} K_{ВММ}}{100}; \quad (6.7)$$

- для тракторів:

$$C_{ПММ} = \frac{2Q_{Г}Ц_{П}K_{ВММ}}{v_{CP}}, \quad (6.8)$$

де $Q_{П}$ – витрата палива на 100 км шляху, л/100 км; $Ц_{П}$ – ціна даного виду палива, грн./кг; $\rho_{П}$ – щільність палива, кг/л; $K_{ВММ}$ – коефіцієнт врахування вартості мастильних матеріалів; $Q_{Г}$ – годинна витрата дизельного палива, кг/год.

Таблиця 6.2 – Дані для розрахунку витрат на паливно-мастильні матеріали

Показник	Спосіб заправки		
	ПАГЗ	касетний модуль	своїм ходом
$Q_{П}$, л/100 км	27,6	15,5	-
$Q_{Г}$, кг/год	-	-	8,6
$Ц_{П}$, грн./кг	27	25,8	27
$\rho_{П}$, кг/л	0,86	0,75	0,86
$K_{ВММ}$	1,2	1,2	1,2
v_{CP} , км/год	58	69	29,6

Витрати на ремонт і ТО можуть бути визначені з таких виразів:

- для автомобілів:

$$C_{ТОР} = 0,001 \cdot 2l(H_{P} + H_{O}); \quad (6.9)$$

- для тракторів:

$$C_{ТОР} = \frac{2Br l}{T_3 v_{CP}}, \quad (6.10)$$

де H_{P} , H_{O} – відповідно норми відрахувань на 1000 км пробігу на ремонти і ТО, грн.; B – балансова вартість, грн.; r – норма відрахувань на ремонт і ТО тракторів; T_3 – річне зональне фактичне завантаження техніки, год.

Таблиця 6.3 – Дані для розрахунку витрат на ремонт і ТО

Показник	Марка транспортного засобу		
	КамАЗ-53229	ГАЗ-3302	ЮМЗ-8244
H_{P} , грн.	1635	546	-
H_{O} , грн.	574	227	-
B , грн.	1090000	590000	805000
r , %	-	-	9,9
T_3 , год.	-	-	1012
v_{CP} , км/год	58	69	29,6

Витрати на амортизацію визначають за такими формулами:

- для автомобілів:

$$C_A = 0,00001 \cdot B2l(H_B + H_K); \quad (6.11)$$

- для тракторів:

$$C_A = \frac{2Bal}{T_3 v_{cp}}, \quad (6.12)$$

де B – балансова вартість транспортного засобу, грн.; H_B – норма відрахувань на повне відновлення на 1000 км, %; H_K – норма відрахувань на капітальний ремонт на 1000 км, %; a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію техніки.

Таблиця 6.4 – Дані для розрахунку витрат на амортизацію

Показник	Марка транспортного засобу		
	КамАЗ-53229	ГАЗ-3302	ЮМЗ-8244
H_B , %/1000 км	0,2	0,3	-
H_K , %/1000 км	0,2	0,2	-
B , грн.	1090000	590000	805000
a , %	-	-	9,1
T_3 , год.	-	-	1012
v_{cp} , км/ГОД	58	69	29,6

Витрати на відновлення спрацювання і ремонт шин автомобілів:

$$C_{Ш} = \frac{2n_{Ш}Ц_{Ш}a_{Ш}l}{1 \cdot 10^5}, \quad (6.13)$$

де $n_{Ш}$ – кількість коліс в автомобіля не рахуючи запасного, шт.; $Ц_{Ш}$ – вартість однієї шини, грн.; $a_{Ш}$ – норма відрахувань на 1000 кілометрів пробігу, %.

Таблиця 6.5 – Дані для розрахунку витрат на відновлення і ремонт шин автомобілів

Показник	Марка автомобіля	
	ГАЗ-3302	КамАЗ-53229
Модель и тип шини	185/75R16 радіальні	280-R508 радіальні
Вартість шини $Ц_{Ш}$, грн.	2860	10290
Кількість шин $n_{Ш}$, шт.	6	10
Норма відрахувань на 1000 км про- бігу $a_{Ш}$, %	1,32	1,17

Результати розрахунку витрат на заправку сільськогосподарських тракторів стисненим природним газом представлені на рисунку 6.2.

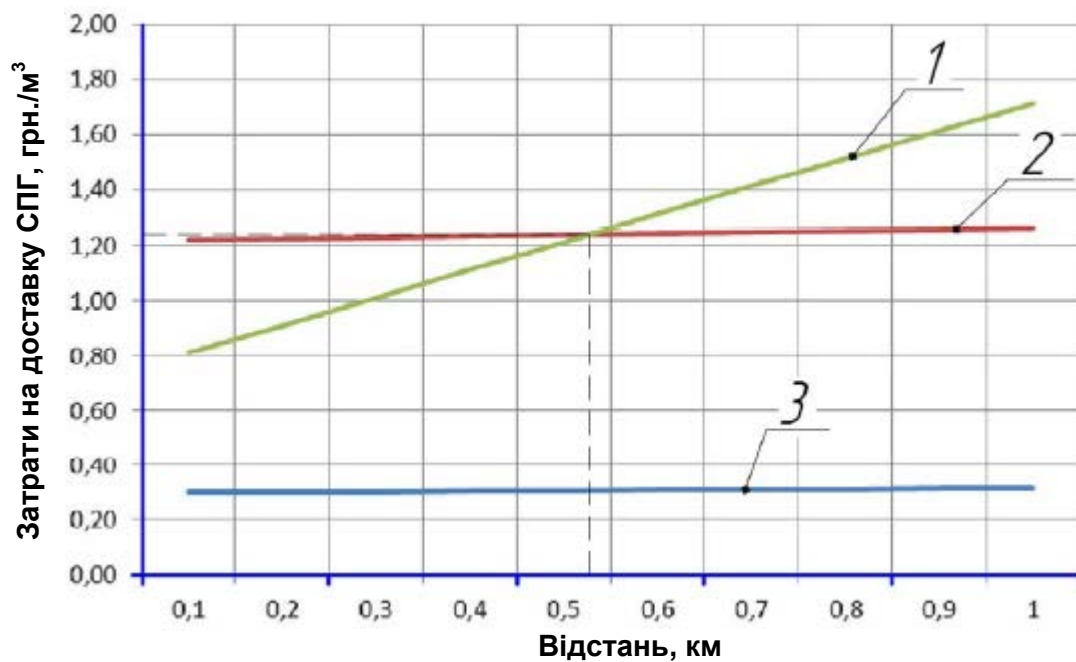


Рисунок 6.2 – Питомі витрати на доставку (транспортування) стисненого природного газу: 1 - заправка трактора ЮМЗ-8244 своїм ходом; 2 - заправка за допомогою касетних модулів; 3 - заправка за допомогою ПАГЗ

Провівши аналіз графічних залежностей, представлених на рисунку 6.2, можна зробити висновок про те, що використання ПАГЗ для заправки тракторів найдоцільніше, оскільки у цьому випадку витрати на заправку стисненим природним газом мінімальні. Проте за невеликої кількості техніки у господарстві ПАГЗ буде істотно недозавантаженим і, як наслідок, строк окупності витрат на його придбання перевищить нормативний строк його служби – 20 років.

У зв'язку з вищевикладеним можна зробити висновок, що для заправки тракторів у невеликих господарствах доцільно використовувати метод на основі касетних модулів. Якщо відстань до АГНКС не більша 530 м доцільно здійснювати заправку трактора ЮМЗ-8244 своїм ходом. Якщо відстань до АГНКС перевищує 530 м, то доцільнішою буде заправка трактора за допомогою касетних модулів.

6.2 Висновки до розділу

1. Розроблено, виготовлено та досліджено знімний касетний модуль з двома балонами високого тиску загальною ємністю 134 л для зберігання стисненого природного газу, який встановлюється в передній частині трактора, сприяє поліпшення тягово-зчіпних показників трактора і забезпечує тривалість роботи більше 4 год.

2. Запропоновано нову схему технологічного процесу заправки газових балонів з використанням знімних касетних модулів, яка дозволяє: скоротити час заправки на 20-25% в порівнянні з існуючими схемами (ПАГЗ і своїм ходом); використовувати для заправки автомобілі малої вантажопідйомності, які можуть обслуговувати до 9 тракторів одночасно.

3. Для заправки тракторів у невеликих господарствах доцільно використовувати метод на основі касетних модулів. Якщо відстань до АГНКС не більша 530 м доцільно здійснювати заправку трактора ЮМЗ-8244 своїм ходом. Якщо відстань до АГНКС перевищує 530 м, то доцільнішою буде заправка трактора за допомогою касетних модулів. Заправка за допомогою касетних модулів для трактора ЮМЗ-8244 доцільна, якщо віддаленість від АГНКС не більша 37 км, у випадку заправки від ПАГЗ – не більша 150 км.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень газобалонного трактора ЮМЗ-8244 обґрунтовано розміщення газових балонів у передній частині трактора за допомогою знімних касет. Розроблено нову схему технологічного процесу заправки газових балонів з використанням знімних касетних модулів.

2. Отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначити граничні кути стійкості трактора ЮМЗ-8244, оснащеного газобалонним обладнанням залежно від розташування газобалонного обладнання на тракторі. У випадку переднього розташування балонів граничні статичні кути підйому, поздовжнього і поперечного ухилів склали відповідно 42,7; 55,6; 35,2°; ці ж кути за умови встановлення балонів на даху трактора – 37,4; 53,8; 33,3°. Це свідчить про доцільність встановлення газових балонів спереду трактора. Встановлено, що за такого розташування балонів буксування трактора мінімальне і є меншим на 0,4% порівняно із серійним трактором (при максимальному навантаженні на гаку).

3. Експлуатаційними випробуваннями встановлено: трактор ЮМЗ-8244 здатний працювати на режимах близьких до номінального як за дизельним, так і за газодизельним циклами; запальна доза дизельного палива сягає 22%; під час обробітку ґрунту культиватором комбінованим КПК-4 витрата дизельного палива під час роботи за газодизельним циклом знижується в 4,7-4,9 рази; витрата дизельного палива під час роботи за дизельним циклом становить 13,5 кг/год, за газодизельним – 3,2 кг/год.

4. Розроблено та досліджено знімний касетний модуль з двома балонами високого тиску загальною ємністю 134 л. для зберігання стисненого природного газу, який встановлюється у передній частині трактора, сприяє поліпшенню тягово-зчіпних показників трактора і забезпечує тривалість роботи більше 4 год.

5. Запропоновано нову схему технологічного процесу заправки газових балонів з використанням знімних касетних модулів, яка дозволяє скоротити час заправки на 20-25% в порівнянні з існуючими схемами (ПАГЗ і своїм ходом); використовувати для заправки автомобілі малої вантажопідйомності, які можуть обслуговувати до 9 тракторів одночасно.

6. Під час переведення тракторів для роботи на природному газі на підприємствах АПК необхідно вибрати схему технологічного процесу заправки газом залежно від відстані до АГНКС, дорожніх умов і кількості тракторів. Заправка за допомогою касетних модулів для трактора ЮМЗ-8244 доцільна, якщо віддаленість від АГНКС не більша 37 км, у випадку заправки від ПАГЗ – не більша 150 км.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев Ю. Н., Гриценко А. И., Чириков К. Ю. Газозаправка транспорта Москва: Недра, 1995. 447 с.
2. Володин В. В., Ченцов Н. А. Обоснование расположения газовых баллонов трактора МТЗ-82.1 при работе в газодизельном цикле. *Аграрный научный журнал*. 2015. № 7. С. 48-51.
3. Гавриш В.І., Бондаренко В.О. Основи теорії розрахунку мобільних енергетичних засобів: Навч. посіб. Миколаїв: МДАУ, 2011. 284 с.
4. Гайнуллин Ф. Г., Гриценко А. И., Васильев Ю. Н. Природный газ как моторное топливо на транспорте. Москва: Недра, 1986. 255 с.
5. Гинзбург Ю. В., Швед А. И., Парфенов А. П. Промышленные и сельскохозяйственные тракторы. Москва: Машиностроение, 1986. 296 с.
6. ГОСТ 30750-2001 (ISO 789-6-82). Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести. [Введ. 2003.01.01.] Москва: Изд-во стандартов, 2002. 6 с.
7. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. [Введ. 2003.01.01.] Москва: Изд-во стандартов, 2002. 13 с.
8. Грехов Л. В., Иващенко Н. А., Марков В. А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Москва: Легион-Автодата, 2004. 344 с.
9. Гуськов В. В. Тракторы: Теория. Москва: Машиностроение. 1988. 376 с.
10. Долганов К. Е. Автомобильные газодизели. *Двигателестроение*. 1995. № 182. С. 6-10.
11. Долганов К. Е., Вербовский В. С., Ковалев С. А. Исследование топливной экономичности и токсичности отработавших газов газодизеля. *Двигателестроение*. 1991. № 8-9. С. 6-9.
12. Дубовкин Н. Ф., Брещенко Е. М. Легкие моторные топлива и их компоненты: Справочник. Москва: Химия, 1999. 480 с.

13. Ерохов В. И., Карунин А. Л. Газодизельные автомобили (конструкция, расчет, эксплуатация): учеб. пособие. Москва: Граф-Пресс, 2005. 560 с.
14. Загородских Б. П., Бебенин Е. В. Стендовые испытания системы эжекционной подачи газа газообразного топлива в дизелях. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2012. № 2(26). С. 17-19.
15. Загородских Б. П., Володин В. В. Система подачи газа в двигатель. *Сельский механизатор*. 2012. № 2. С. 4-5.
16. Ковжога С. О., Малько О. Д. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Харків: Нац. Юр. академія України, 2010. 224 с.
17. Кудряш А. П., Пашков В. В., Маринин В. С. Природный газ в двигателях. Київ: Наукова Думка, 1980. 198 с.
18. Левков В. Г. Тракторы ЮМЗ 8040 и ЮМЗ 8244. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. Днепропетровск, 2014. 174 с.
19. Марков В. А., Бебенин Е. В., Поздняков Е. Ф. Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2013. № 5(35). С. 24-29.
20. Машиновикористання в рослинництві: навч. посіб. / М.О. Демидко, С.М. Бондар, Р.В. Шатров, В.Д. Гречкосій, В.І. Василюк; За ред. проф. Демидка М.О. Ніжин: Аспект, 2009. 180 с.
21. Окоча А. І, Білоконь Я. Ю. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали. Київ: Український духовний центр, 2004. 231 с.
22. Осовин Н. В., Володин В. В., Русинов А. В. Изменение плотности почвы после прохода трактора К-701 с газовым оборудованием. *Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники*. Саратов, 2012. С. 135-138.
23. Парсаданов И. В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. Харьков: Изд-во Харьковского политехнического института, 2003. 244 с.

24. Подригало М.А, Полянський А.С., Клец Д.М., Корчан Н.С., Задорожна В.В. Оцінка стійкості положення колісних машин. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. Вип. 11, том 1. С. 58-66.
25. Савельев Г. С., Кочетков М. Н., Овчинников Е. В. Комплексный подход к обеспечению сельхозпроизводства газомоторным топливом. *Тракторы и сельхозмашины*. 2014. № 3. С. 47-50.
26. Савельев Г. С., Шапкайтц А. Д., Подосиновичков В. В. Сельскохозяйственные тракторы, работающие на метане. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2013. № 5. С. 7-13.
27. Скотников В. А., Мащенко А. А., Солонский А. С. Основы теории и расчёта трактора и автомобиля. Москва: Агропромиздат, 1986. 383 с.
28. Хилько М. І. Екологічна безпека України: навч. посіб. Київ, 2017. 257 с.
29. Ченцов Н. А., Абрамов С. В. Оптимизация заправки газобаллонных тракторов природным газом. *Научная мысль*. 2017. № 3. С. 293-296.
30. Beroun S., Martins J. The Development of Gas Engines for Buses and Trucks and Emissions and Cycle Variability Characteristics. *SAE Technical Paper Series*. 2001. No. 2001-01- 0144. P. 1-9.