

**ТРАНСПОРТНІ ТА ТРАНСПОРТНО - ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ**

УДК 631.37

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ШИРОКОКОЛІЙНИХ АГРОЗАСОБІВ**

Кувачов Володимир Петрович к.т.н., доцент
Таврійський державний агротехнологічний університет
Kuvachov V.
Tavria State Agro Technological University

Анотація: економічний ефект, який можна отримати при впровадженні колійної системи землеробства, безпосередньо визначений втратами площі поля під інженерну зону, призначену для руху спеціалізованих ширококолієних агрозасобів. Наскільки ефективною буде організована площа поля для руху спеціалізованих ширококолієних агрозасобів, настільки будуть задовільними і показники землекористування в колійній системі землеробства. Метою досліджень є обґрунтування конструктивних та інших параметрів спеціалізованих ширококолієних агрозасобів з позиції ефективного землекористування в колійній системі землеробства. Теоретичні дослідження, синтез конструктивних схем і параметрів спеціалізованих ширококолієних агрозасобів здійснювався шляхом моделювання на ПК умов його функціонування. В основу методів дослідження покладені основні положення вищої математики і теоретичної механіки з використанням пакету Mathcad. В результаті досліджень встановлено, що планування поля під колійну систему землеробства з використанням спеціалізованих ширококолієних агрозасобів має враховувати ширину їх колії і параметри транспортної системи. Використання сучасних зразків спеціалізованих ширококолієних агрозасобів з шириною колії понад 7,5 м дозволяє досягати величини втрат площі поля під інженерну зону не більше 5-6%, що є досить прийнятним. Практичне використання спеціалізованих ширококолієних агрозасобів в колійній системі землеробства вимагає обґрунтування принципів їх автоматичного водіння, що дозволить максимально зменшити втрати площі поля під інженерну зону мінімум в 1,5 рази.

Ключові слова: колійна система землеробства, ширококолієний агрозасіб, інженерна зона, землекористування.

Постановка проблеми

Ефективність колійної системи землеробства тим вище, чим менше непродуктивної частини поля припадає під інженерну зону. Остання визначена кроком та шириною технологічної колії, яка обумовлена, зокрема, шириною рушіїв ходових систем спеціалізованих ширококолієних агрозасобів. Збільшення ширини їх колії позитивно впливає на показники землекористування в колійній системі землеробства. Але, при цьому, технічно конструювати та використовувати такі машини стає більш проблематичним. Тому з позиції ефективного землекористування збільшення колії спеціалізованих ширококолієних агрозасобів доцільно до певного рівня.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Світовою наукою вже накопичено певний досвід в питаннях вивчення та практичної реалізації колійної системи землеробства [1-6]. Перспективним енерготехнологічним засобом в колійній системі землеробства є спеціалізований ширококолієний або мостовий трактор [7-10] (далі по тексту – спеціалізований ширококолієний агрозасіб). Останнім часом інтерес до спеціалізованих ширококолієних агрозасобів суттєво зріс. Над їх створенням працюють вчені в США, Англії, Японії, Польщі, Голландії, Росії, України та ін. [11].

Серед широко відомих зразків спеціалізованих ширококолієних агрозасобів слід відзначити мостовий трактор з шириною колії 6 м, керований системою лазерного наведення [8]. В Ізраїлі на базі трактора з двигуном потужністю 180 к.с. створено ширококолієний транспортний засіб з шириною колії 5,8 м [8]. У Швеції компаніями «ТЕС» і «Biovelor AB» створений мостовий трактор «BIOTRAC» з шириною колії 6 м, призначений для колійної системи землеробства [12]. Відомий мостовий трактор з шириною колії 12 м [1], спеціально створений для рослинництва. Останнім часом широкого популяризований мостовий трактор ASA-Lift WS9600 має ширину колії 9,6 м [13]. Бразильська науково-технічна лабораторія біоетанолу (СТВЕ) представила світу мостовий трактор ЕТС з шириною колії 9 м, призначений для вирощування цукрової тростини [8]. Вченими Таврійського державного агротехнологічного університету розроблений спеціалізований ширококолієний агрозасіб з шириною колії 3 м [14].

За результатами аналізу наукових публікацій встановлено, що величина колії спеціалізованих



ширококолієних агрозасобів може змінюватися від 3 до 21 м. Очевидно, що із збільшенням ширини колії втрати площі поля під інженерну зону зменшуються. Характер цієї закономірності залежить від багатьох факторів, і в тому числі від параметрів ширококолієного агрозасобу. З позиції ефективного землекористування доцільно мати доступну методика і вміти визначати точку раціонального оптимуму ширини колії спеціалізованих ширококолієних агрозасобів.

Мета досліджень

Метою даних досліджень є обґрунтування конструктивних та інших параметрів спеціалізованого ширококолієного агрозасобу з позиції ефективного землекористування в колійній системі землеробства.

Методика досліджень

Теоретичні дослідження, синтез конструктивних схем і параметрів спеціалізованого ширококолієного агрозасобу здійснювався шляхом моделювання на ПК умов його функціонування. В основу методів дослідження покладені основні положення вищої математики і теоретичної механіки з використанням пакету Mathcad.

Результати досліджень

Розглянемо схему планування інженерної зони поля в колійній системі землеробства для функціонування спеціалізованих ширококолієних агрозасобів за координатно-транспортним принципом їх руху на земельній ділянці прямокутної правильної конфігурації (рис. 1).

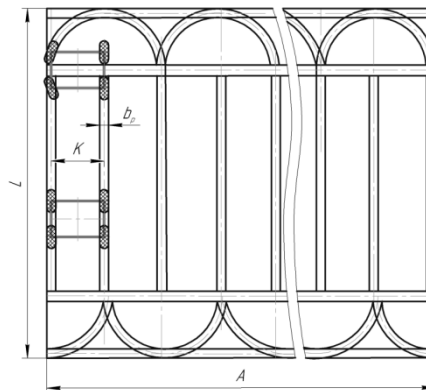


Рис. 1. Схема планування карти поля під колійну систему землеробства для роботи спеціалізованих ширококолієних агрозасобів

Зміна напрямку руху спеціалізованого ширококолієного агрозасобу на поворотній смузі доцільно здійснювати його круговим розворотом [15]. При цьому центр повороту агрозасобу повинен знаходитися в зоні транспортної технологічної доріжки одного з його бортів (лівого або правого, в залежності від напрямку повороту). Тільки в цьому випадку можна отримати бажаний мінімальний радіус повороту і ширину поворотної смуги. Разом з цим, при такому способі розвороту здійснюється переміщення агрозасобу на наступний перегін за мінімальний період часу, що підвищує продуктивність роботи.

Втрати площі поля під інженерну зону (w_i) за рис. 1 будемо оцінювати відносним показником, чисельно рівним:

$$w_i = \frac{S_i}{A \cdot L}, \quad (1)$$

де S_i – площа інженерної зони поля;

L і A – довжина і ширина поля.

Коефіцієнт землекористування (k_s) при цьому дорівнюватиме:

$$k_s = 1 - w_i = 1 - \frac{S_i}{A \cdot L}. \quad (2)$$

Площа інженерної зони за рис. 1 може бути визначена сумою трьох складових:

$$S_i = S_o + S_{ot} + S_{it}, \quad (3)$$

де S_o , S_{ot} – площа слідів транспортних технологічних доріжок на основному полі і поворотних смугах відповідно;



S_{it} – сумарна площа слідів ходової системи спеціалізованого ширококолісного агрозасобу при здійсненні ним поворотів.

Площа S_o за рис. 1 дорівнюватиме:

$$S_o = b_p \cdot [L - 2(K + b_p)] \cdot \left[\frac{A - b_p}{K} + 1 \right], \quad (4)$$

де b_p – ширина транспортної технологічної доріжки;

K – ширина колії спеціалізованого ширококолісного агрозасобу.

Ширину транспортної технологічної доріжки b_p представимо як суму ширини сліду b_c від шин рушіїв агрозасобу і деякої ширини технологічного допуску c , обумовленого, зокрема, амплітудами його поперечних відхилень від прямолінійного руху:

$$b_p = b_c + c. \quad (5)$$

У представленій схемі планування карти поля за рис. 1 на кожній поворотній смузі передбачено лише дві транспортної технологічної доріжки, що є достатнім, як для проїзду спеціалізованого ширококолісного агрозасобу, так і для здійснення ним поворотів. Тому, площа S_{ot} для двох поворотних смуг на полі складатиме:

$$S_{ot} = 4 \cdot b_p \cdot A. \quad (6)$$

Сумарна площа S_{it} слідів ходової системи спеціалізованого ширококолісного агрозасобу при здійсненні ним поворотів складатиме:

$$S_{it} = \pi \cdot b_p \cdot (A - b_p). \quad (7)$$

Після підстановки рівнянь (4), (6) і (7) в (1), з урахуванням (5), коефіцієнт втрат площі поля під інженерну зону w_i дорівнюватиме:

$$w_i = \frac{b_c + c}{L \cdot A} \cdot ([L - 2(K + b_c + c)] \cdot [(A - b_c - c) / K + 1] + 4A + \pi[A - b_c - c]). \quad (8)$$

Аналіз рівняння (8) підтверджує раніше згаданий зворотно пропорційний характер залежності w_i від ширини колії K спеціалізованих ширококолісних агрозасобів. При цьому, збільшення ширини шин b_c його рушіїв і технологічного допуску c навпаки збільшує втрати площі поля під інженерну зону. Рівняння (8) не має екстремуму функції w_i від аргумента K , однак дозволяє встановити точку раціонального оптимуму цієї залежності, а також оцінити вплив параметрів ходової системи спеціалізованого ширококолісного агрозасобу і технологічного допуску з позиції ефективного землекористування в колійній системі землеробства. Для цього в середовищі Mathcad було побудовано три криві (рис. 2) залежності w_i від K для трьох варіантів шин агрозасобу: 1 - 15,5R38; 2 - 16,9R38; 3 - 15,5R38, у яких ширина шин дорівнює, відповідно: $b_{c1}=0,586$ м; $b_{c2}=0,429$ м; $b_{c3}=0,393$ м.

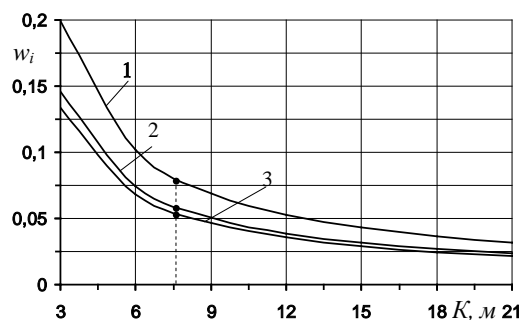


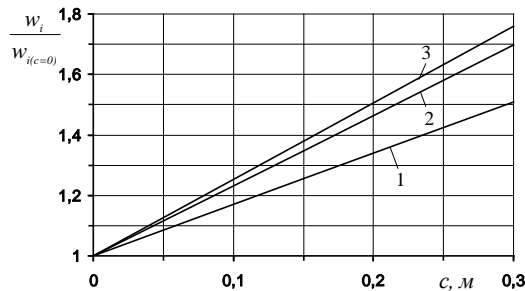
Рис. 2. Залежність коефіцієнта втрат площі поля під інженерну зону w_i від ширини колії K спеціалізованого ширококолісного агрозасобу в залежності від ширини шин його рушіїв: 1 - 0,586 м; 2 - 0,429 м; 3 - 0,393 м

На рис. 2 область зміни аргумента K можна умовно розділити на два інтервали. В кожному з інтервалів залежність w_i від K є близькою до лінійної. Причому в інтервалі початкових значень K функція w_i убуває інтенсивно, а для більш високих значень K – повільно. Положимо, що раціональному значенню K відповідає точка оптимуму зазначеної двозонної кривої, яка розділяє останню на дві частини з суттєво різними властивостями. Використовуючи метод найменших квадратів для визначення параметрів раціональної функції [16] були визначені точки раціонального оптимуму двозонних кривих на рис. 2. Для розглянутих варіантів параметрів шин рушіїв спеціалізованого ширококолісного агрозасобу раціональна величина ширини колії останніх припадає



на $K=7,5$ м. Отримане значення ширини колії при використанні шин з шириною 0,429 м і 0,393 м дозволяє мати величину втрат площі поля під інженерну зону не більше 6%. А при збільшенні ширини колії до 9 м величина втрат площі становить на рівні 5%.

Розглянемо ступінь впливу технологічного допуску c на характер збільшення втрат площі поля під інженерну зону w_i . Для цього згідно рівняння (8) була розрахована залежність w_i від c , значення якого змінювали в діапазоні 0...0,3 м (рис. 3).



**Рис. 3. Залежність ширини технологічного допуску на кратність збільшення втрат площі поля під інженерну зону $w_i/w_{i(c=0)}$ в залежності від ширини шин рушіїв спеціалізованого ширококолісного агрозасобу:
1 - 0,586 м; 2 - 0,429 м; 3 - 0,393 м**

Аналіз рис. 3 свідчить про те, що ширина технологічного допуску c суттєво впливає на втрати площі поля під інженерну зону. Так, для розглянутих варіантів шин рушіїв спеціалізованого ширококолісного агрозасобу із збільшенням c до 0,3 м втрати площі поля під інженерну зону збільшуються в 1,5-1,75 разів. Тому, використання спеціалізованих ширококолісних агрозасобів в колійній системі землеробства вимагає обґрунтування принципів їх автоматичного водіння, що дозволяє максимально зменшити амплітуду поперечних відхилень від заданої прямолінійної траєкторії руху, і, як наслідок, безпосередньо зменшити величину c .

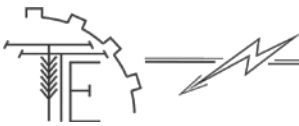
Висновки

1. Проведені дослідження показують, що планування поля під колійну систему землеробства з використанням ширококолісних агрозасобів має враховувати ширину колії останніх і параметрів транспортної системи. Використання сучасних мостових тракторів з шириною колії понад 7,5 м дозволяє досягати величини втрат площі поля під інженерну зону не більше 5-6%, що є досить прийнятним.

2. Практичне використання спеціалізованих ширококолісних агрозасобів в колійній системі землеробства вимагає обґрунтування принципів їх автоматичного водіння, що дозволить максимально зменшити втрати площі поля під інженерну зону мінімум в 1,5 рази.

Список літератури

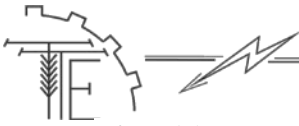
1. Chamen T. *Controlled traffic farming – from world wide research to adoption in europe and its future prospects* / T. Chamen // *Acta Technologica Agriculturae Nitra*, 2015. - №3. – P. 64–73.
2. Antille D.L. *The potential of controlled traffic farming to mitigate greenhouse gas emissions and enhance carbon sequestration in arable land: a critical review* / D.L. Antille, W.C.T. Chamen, J.N. Tullberg // *In Transactions of the ASABE*, 2015. – Vol. 58, №. 3. – P. 707–731.
3. Chen H. *Effect of wheel traffic on working resistance of agricultural machinery in field operation* / H. Chen, W. Wu, X. Liu, H. Li // *In Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2010. - Vol. 41, №. 2 – P.52–57.
4. Gasso V. *An environmental life cycle assessment of controlled traffic farming* / V. Gasso, C. Sørensen, H. Pedersen // *In Journal of Cleaner Production*, 2014. – №73. – P.175–182.
5. Gasso V. *Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts* / V. Gasso, C. Sørensen, F. Oudshoorn // *In European Journal of Agronomy*, 2013. – №48. – P.66-73.
6. Kingwell R. *The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal* / R. Kingwell, A. Fuchsichler // *In Agricultural Systems*, 2011. – Vol. 104, № 7. – P.513–521.
7. Chamen W.C.T. *Assessment of a Wide Span Vehicle (Gantry), and Soil and Cereal Crop Responses to Its Use in a Zero Traffic Regime* / W.C.T. Chamen // *Soil & Tillage Research*, 1992. – № 24(4). – P.359-380.
8. Chamen W.C.T. *Design, Operation and Performance of a Gantry System: Experience in Arable Cropping* / W.C.T. Chamen // *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1994. – № 59(1). – P.45-60.



9. Onal I. *Controlled Traffic farming and Wide span tractors* / I. Onal // *Journal of Agricultural Machinery Science*, 2012. – № 8(4). – P.353-364.
10. Pedersen, H.H. *Harvest Capacity Model for a Wide Span Onion Bunker Harvester* / H.H. Pedersen // *In Automation and System Technology in Plant Production, CIGR section V & NJF section VII conference, 30 June - 2 July 2011*.
11. Улексин В.А. *Мостовое земледелие. Монография* / В.А. Улексин – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 224 с.
12. Chamen W.C.T. *A New Methodology For Weed Control And Cereal Crop Production Based On Wide Span Vehicles And Precision Guidance: Biotrac* / W.C.T. Chamen // *4th EWRS Workshop on Physical Weed Control. – The Netherlands, 20-22 March 2000. – P.51-55*.
13. Pedersen H.H. *User requirements for a Wide Span Tractor for Controlled Traffic Farming* / H.H. Pedersen, C.G. Sørensen, F.W. Oudshoorn // *International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. CIOSTA XXXV Conference “From Effective to Intelligent Agriculture and Forestry”*. - Denmark, 3-5 July 2013.
14. Кувачев В., Митков В., Шульга О. 2016. *Моделирование плоско-параллельного движения в вертикальной плоскости ширококолейного агросредства для колёсной системы земледелия* / В. Кувачев, В. Митков, О. Шульга // *Motrol*, 2016. – Vol.18, №1. – С. 3-12.
15. Кувачов В.П. 2016. *Кінематика повороту ширококолейних засобів механізації сільськогосподарського виробництва для колійної системи землеробства* / В.П. Кувачов // *Вісник Сумського національного аграрного університету*, 2016. – Вип. 10/2 (30). – С. 46-49.
16. Надикто В.Т. *Застосування МНК для визначення параметрів раціональної функції* / В.Т. Надикто, О.В. Величко // *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 2015. – Вип. 5, Т.1. – С.223-228.

References

1. Chamen T. *Controlled traffic farming – from world wide research to adoption in europe and its future prospects* / T. Chamen // *Acta Technologica Agriculturae Nitra*, 2015. -№3. – P. 64–73.
2. Antille D.L. *The potential of controlled traffic farming to mitigate greenhouse gas emissions and enhance carbon sequestration in arable land: a critical review* / D.L. Antille, W.C.T. Chamen, J.N. Tullberg // *In Transactions of the ASABE*, 2015. – Vol. 58, №. 3. – P. 707–731.
3. Chen H. *Effect of wheel traffic on working resistance of agricultural machinery in field operation* / H. Chen, W. Wu, X. Liu, H. Li // *In Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2010. - Vol. 41, №. 2 – P.52–57.
4. Gasso V. *An environmental life cycle assessment of controlled traffic farming* / V. Gasso, C. Sørensen, H. Pedersen // *In Journal of Cleaner Production*, 2014. – №73. – P.175–182.
5. Gasso V. *Controlled traffic farming: A review of the environmental impacts* / V. Gasso, C. Sørensen, F. Oudshoorn // *In European Journal of Agronomy*, 2013. – №48. – P.66-73.
6. Kingwell R. *The whole-farm benefits of controlled traffic farming: An Australian appraisal* / R. Kingwell, A. Fuchsbichler // *In Agricultural Systems*, 2011. – Vol. 104, № 7. – P.513–521.
7. Chamen W.C.T. *Assessment of a Wide Span Vehicle (Gantry), and Soil and Cereal Crop Responses to Its Use in a Zero Traffic Regime* / W.C.T. Chamen // *Soil & Tillage Research*, 1992. – № 24(4). – P.359-380.
8. Chamen W.C.T. *Design, Operation and Performance of a Gantry System: Experience in Arable Cropping* / W.C.T. Chamen // *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1994. – № 59(1). – P.45-60.
9. Onal I. *Controlled Traffic farming and Wide span tractors* / I. Onal // *Journal of Agricultural Machinery Science*, 2012. – № 8(4). – P.353-364.
10. Pedersen, H.H. *Harvest Capacity Model for a Wide Span Onion Bunker Harvester* / H.H. Pedersen // *In Automation and System Technology in Plant Production, CIGR section V & NJF section VII conference, 30 June - 2 July 2011*.
11. Uleksin V.A. *Mostovoy zemledeliye. Monografiya* / V.A. Uleksin - Dnepropetrovsk: Porogi, 2008. - 224 s.
12. Chamen W.C.T. *A New Methodology For Weed Control And Cereal Crop Production Based On Wide Span Vehicles And Precision Guidance: Biotrac* / W.C.T. Chamen // *4th EWRS Workshop on Physical Weed Control. – The Netherlands, 20-22 March 2000. – P.51-55*.
13. Pedersen H.H. *User requirements for a Wide Span Tractor for Controlled Traffic Farming* / H.H. Pedersen, C.G. Sørensen, F.W. Oudshoorn // *International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. CIOSTA XXXV Conference “From Effective to Intelligent Agriculture and Forestry”*. - Denmark, 3-5 July 2013.
14. Kuvachev V., Mitkova V., Shul'ga A. 2016. *Modelirovaniye plosko-parallel'nogo dvizheniya v vertikal'noy ploskosti shirokokoleynogo agrosredstva dlya koleynoy sistemy zemledeliya* / V. Kuvachev, V. Mitkova, A. Shul'ga // *Motrol*, 2016. - Vol. 18 №1. - S. 3-12.
15. Kuvachov V.P. 2016. *Kinematika povorotu shirokokoliynikh zasobiv mekhanizatsiyi silskohospodarskoho vyrobnytstva dlya koliynoyi sistemy zemlerobstva* / V.P. Kuvachov // *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, 2016. - Vyp. 10/2 (30). - S. 46-49.



16. Nadykto V.T. ! Zastosuvannya MNK dlya vyznachennya parametriv ratsionalnoyi Funktsiyi / V.T. Nadykto, O.V. Velychko // Naukovyy visnyk Tavriyskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu, 2015. - Vyp. 5, T.1. - S.223-228.

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ШИРОКОКОЛЕЙНЫХ АГРОСРЕДСТВ

Аннотация: экономический эффект, который можно получить при внедрении колёйной системы земледелия, непосредственно определен потерями площади поля под инженерную зону, предназначенную для движения специализированных ширококолёйных агросредств. Насколько эффективной будет организована площадь поля для движения специализированных ширококолёйных агросредств, настолько будут удовлетворительными и показатели землеиспользования в колёйной системе земледелия. Целью исследований является обоснование конструктивных и других параметров специализированных ширококолёйных агросредств с позиции эффективного землепользования в колёйной системе земледелия. Теоретические исследования, синтез конструктивных схем и параметров специализированных ширококолёйных агросредств осуществлялся путем моделирования на ПК условий его функционирования. В основу методов исследования положены основные положения высшей математики и теоретической механики с использованием пакета Mathcad. В результате исследований установлено, что планировка поля под колёйную систему земледелия с использованием специализированных ширококолёйных агросредств должен учитывать ширину их колёи и параметры транспортной системы. Использование современных моделей специализированных ширококолёйных агросредств с шириной колёи 7,5 м позволяет достигать величины потерь площади поля под инженерную зону не более 5-6%, что является достаточно приемлемым. Практическое использование специализированных ширококолёйных агросредств в колёйной системе земледелия требует обоснования принципов их автоматического вождения, что позволит максимально уменьшить потери площади поля под инженерную зону минимум в 1,5 раза.

Ключевые слова: колёйная система земледелия, ширококолёйное агросредство, инженерная зона, землеиспользование.

MECHANICAL-TECHNOLOGICAL BASICS OF USING WIDE SPAN TRACTOR (VEHICLE)

Summary: the economic benefits that can be obtained by introduction of controlled traffic farming, directly determined by the losses in the field of engineering under the area intended for the movement of wide span tractor (vehicle). How effective will be organized by the area of the field for the movement of wide span tractor (vehicle), so there are satisfactory indicators use of land in controlled traffic farming. The aim of the research is the study of structural and other settings wide span tractor (vehicle) from the position of land use in controlled traffic farming. Theoretical studies, synthesis constructive schemes and parameters of a wide span tractor (vehicle) was carried out by simulation on a PC of its operating conditions. Based methods this research is based on the main provisions of the higher mathematics and theoretical mechanics using Mathcad. As a result of researches it is established that the layout of fields under controlled traffic farming with the use of a wide span tractor (vehicle) must take into account the width of their track, and the parameters of the transport system. The use of modern models of wide span tractor (vehicle) with a gauge of 7,5 m allows to achieve values of losses in the field of engineering under the area of no more than 5-6%, which is quite acceptable. Practical use of wide span tractor (vehicle) controlled traffic farming requires understanding of principles of their automatic driving, which will allow to minimize the loss of area under the field engineering area at least 1.5 times.

Keywords: controlled traffic farming, wide span tractor (vehicle), engineering area, the use of land.