

ПОВЫШЕНИЕ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫШКИ ДЛЯ НАВЕШИВАНИЯ ПОДДЕРЖЕК НА ХМЕЛЬНИКАХ**А. О. Васильев, С. Л. Лукаев, Р. В. Андреев, Ю. Ф. Казаков**

Реферат. В ходе исследований рассматривались параметры бокового интервала от 300 до 620 мм с шагом 40 мм и ширина колеи трактора от 1450 до 1810 мм также с шагом 40 мм. Целью работы было повышение курсовой устойчивости мобильной вышки, применяемой для навешивания поддержек хмеля, что напрямую влияет на её эффективность и качество выполнения операций. В условиях хмельников с междурядьем 3,3 м установлено, что оптимальное соотношение параметров соответствует колее трактора 1610 ± 5 мм и боковому интервалу 420 ± 5 мм. При таких значениях устойчивость вышки возрастает в среднем на 10–12%, а вероятность отклонения от ряда более чем на 20 см при движении по неровностям снижается. Использование мобильной вышки позволяет повысить производительность работ по установке поддержек в 2–3 раза по сравнению с ручным трудом. В Чувашском ГАУ была разработана вышка ножничного типа, которая агрегируется с тракторами мощностью от 45 кВт. Полевые испытания показали, что её недостатком является увод от заданного курса при работе на неровностях, что снижает точность навешивания. Для устранения этой проблемы применялись методы статического и динамического анализа, учитывающие силы, действующие на вышку в горизонтальной плоскости. Результаты расчетов подтвердили, что увеличение бокового интервала и ширины колеи трактора приводит к росту смещения точки прицепа, тогда как расширение междурядья снижает этот эффект. Таким образом, полученные данные позволяют оптимизировать параметры вышки и трактора, обеспечивая повышение устойчивости, маневренности и качества работы на хмельниках.

Ключевые слова: мобильная вышка, хмелеводство, навешивание поддержек.

Введение. Хмель относится к сельскохозяйственным культурам с небольшим объемом производства и является значимой отраслью сельского хозяйства, мировые площади его насаждений составляют более 51 тыс. га [1]. В России и в ряде европейских стран хмелеводство исторически остается важной сельскохозяйственной отраслью. В последние годы, в условиях экономических санкций и продуктового эмбарго, Россия столкнулась с проблемой импортозамещения, особенно в сельскохозяйственном секторе, включая производство хмеля.

В связи с этим специалисты все чаще обсуждают проблемы и перспективы развития хмелеводства в России и особенно в Чувашской Республике [2]. Эффективность производственного процесса напрямую зависит от своевременного и корректного выполнения технологических операций. Учитывая рост цен на энергоносители и материалы, внедрение более эффективных и экономически обоснованных технологий в производство хмеля становится все более важным.

Использование мобильной вышки для навешивания поддержек хмеля позволяет увеличить производительность работы на этой операции в 2–3 раза. Для частично механизированного процесса навешивания поддержек хмеля применяются вышки модели ВХ-4 и платформы ВГХ-5.2 [3]. Вышки для подвязки поддержек на шпалеры, разработанные и произведенные ранее, не соответствуют габаритам, установленным требованиями Правил дорожного движения РФ по ширине, также затрудняют передвижение через въездные ворота и мосты. Эта особенность сильно ограничивает их эксплуатацию в хозяйствах с разнесенными площадями хмельников и при транспортировке. При этом очень важно, чтобы наряду с

разработкой новых машин, обеспечивающих стабильное устойчивое выполнение сельскохозяйственных операций, неукоснительно выполнялось одно из главных условий – снижение полных энергозатрат и увеличение безопасности [4].

Технологический процесс работы с вышкой выглядит следующим образом: на краю хмельника рабочие загружают пучки поддержек в направляющие кольца вышки. Рабочие извлекают концы поддержек из пучка и привязывают их к верхней продольной проволоке с интервалом 0,8 – 1 метра. При движении агрегата поддержки извлекаются из пучка и располагаются на шпалере. В Чувашском ГАУ разработана вышка для навешивания поддержек хмеля ножничного типа (рис. 1) [5].

Главный недостаток конструкции состоит в том, что она обладает низкой эффективностью выполнения технологического процесса в связи с чрезмерным отклонением от ряда насаждений хмеля при уводе вышки от заданного курса, что приводит к снижению производительности операции навешивания поддержек хмеля. Поэтому повышение устойчивости движения является актуальной задачей при модернизации существующей вышки для навешивания поддержек.

Вышка может агрегироваться с трактором мощностью от 45 кВт, высота подъема ее рабочей площадки достигает 3,5 метра.

Цель исследований заключается в улучшении качественных показателей работы вышки для навешивания поддержек хмеля путем повышения ее курсовой устойчивости. Внедрение данной конструкции способствует повышению производительности операции навешивания поддержек хмеля, что позволит существенно снизить затраты на выращивание хмеля.



Рис. 1 – Процесс навешивания поддержек

Условия, материалы и методы. Рассматриваемая вышка для навешивания поддержек хмеля предполагает регулируемую величину колеи: в рабочем положении – до 3,3 м (в зависимости от ширины междурядья хмельника), в транспортном положении – 2,5 м. Возможность регулируемого смещения точки прицепа потребует для повышения продольной устойчивости движения вышки при работе.

Таким образом, при модернизации и проектировании необходимо выполнить установленные нормативные требования и стандарты при проведении расчетов устойчивости мобильных вышек для навешивания поддержек

хмеля, для которых правильный учет курсовой устойчивости имеет огромное значение [6, 7].

Микрорельеф хмельника имеет незначительное отклонение от среднего уровня, представим движение вышки для навешивания поддержек как плоскопараллельное, определяемое движением горизонтальной проекции на плоскость хмельника. Агрегат, как динамическая система, состоит из последовательно соединенных звеньев – трактора и вышки, которые связаны между собой шарнирно [8].

Данные для обоснования параметров вышки для навешивания поддержек обусловлены размерами схемы посадки хмеля (рис. 2).

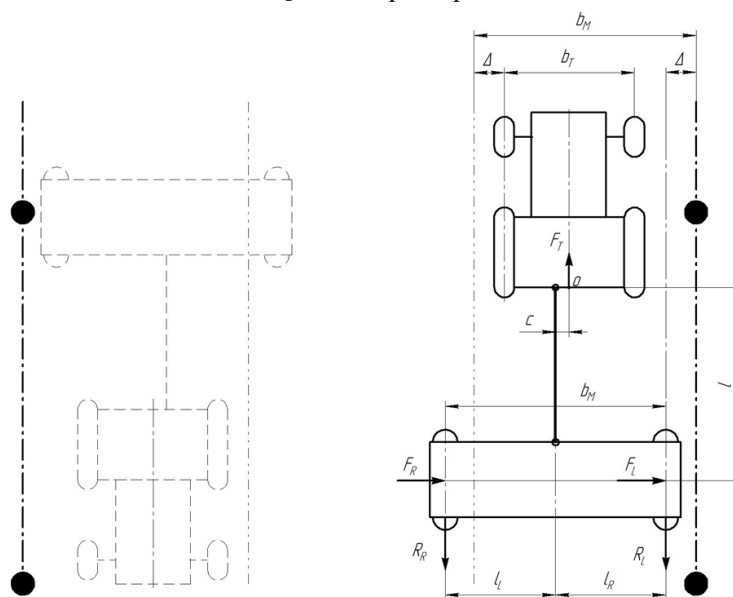


Рис. 2 – Схема расположения элементов вышки в рядах хмеля: Δ – боковой интервал; b_T – ширина колеи трактора; b_M – ширина междурядья хмельника; P_T – сила тяги трактора; R_L, R_R – силы сопротивления перекатыванию, F_{T1}, F_{T2} – силы сопротивления боковому сдвигу колес, l_L, l_R, l – плечи сил; ● – столб, — — — — столбовой ряд, - - - - - бесстолбовой (свободный) ряд

Уравнение поступательной части движения вышки для навешивания поддержек можно записать в следующем виде:

$$m \frac{dv}{dt} = P_T - (R_L + R_R), \quad (1)$$

где m – масса машины, кг;
 dv/dt – производная модуля скорости поступательного движения агрегата по времени, м/с²;

P_T – сила тяги трактора, Н;

R_L, R_R – силы сопротивления перекачиванию левого и правого опорных колес, приложенные к раме вышки для навешивания поддержек соответственно (здесь и далее индексы L и R относятся к левому и правому опорным колесам вышки соответственно), Н [9].

Для установления сущности нарушений устойчивости движения вышки для навешивания поддержек определим сумму моментов всех сил относительно точки прицепа (рис. 2), т.е.

$$\sum MC(F_k) = R_L \cdot l_L - R_R \cdot l_R + (F_{T1} + F_{T2}) \cdot l, \quad (2)$$

где l_L, l_R, l – плечи сил $R_L, R_R, F_{T1} + F_{T2}$ соответственно, м.;

F_{T1}, F_{T2} – силы сопротивления почвы боковому сдвигу колес, Н.

Для равномерного поступательного движения вышки для навешивания поддержек необходимо соблюдение условия:

$$\sum MC(F_k) = 0 \quad (3)$$

При условии симметричности вышки и расположения прицепного дышла по центру рамы в горизонтальной плоскости, т.е. равенстве сил сопротивления перекачиванию колес и их плеч, действие сил сопротивления боковому сдвигу колес стремится к нулю при установившемся движении [10, 11].

Очевидно, что момент, создаваемый разницей плеч сил сопротивления качению правого и левого колес компенсируется силами сопротивления почвы боковому уводу, при этом курсовая устойчивость теряется и вышка перестает следовать заданному курсу. При конструировании вышки необходимо учитывать, что плечи l_L и l_R можно уравнивать путем смещения точки прицепа на величину c . При движении агрегата устойчиво вдоль оси ряда хмеля, значение $F_{T1} + F_{T2}$ будет ничтожным, поскольку бокового увода колес в этом случае не произойдет.

Для соблюдения этого условия, учитывая параметры хмельника, потребуются смещение точки прицепа на величину c (рис. 2).

В этом случае выражение (2) примет вид:

$$\sum MC(F_k) = R_L \cdot l_L - R_R \cdot l_R + (F_{T1} + F_{T2})l + P_T c, \quad (4)$$

где P_T – сила тяги на серье трактора, Н;

c – величина смещения точки прицепа, мм.

Смещение точки прицепа на величину

c позволит приблизить друг к другу значения сил сопротивления перекачиванию R_L и R_R при отсутствии сил бокового сдвига. Рассчитав некоторую величину смещения точки прицепа c можно добиться повышения курсовой устойчивости движения вышки для навешивания поддержек вдоль ряда хмельника.

На современных хмельниках используется схема посадки с междурядьем 3,3 м [2]. При движении агрегата по междурядью во время операции навешивания поддержек во избежание повреждения насаждений хмеля необходимо выдерживать боковой интервал Δ (рис. 2). Для этого трактор снабжен маркером, который движется над рядом хмеля.

Геометрически величина смещения точки прицепа на хмельниках с указанным междурядьем определяется как

$$c = 0,5 (b_T - b_M) + 2\Delta, \quad (5)$$

где b_T – ширина колеи трактора, м;

b_M – ширина междурядья хмельника, м;

Δ – боковой интервал, м.

Выражение (5) позволяет подобрать значения величины точки прицепа c в зависимости от ширины колеи трактора и выбранного бокового интервала при выполнении операции навешивания поддержек на хмельниках. Таким образом обеспечивается поперечная устойчивость вышки для комфортной и безопасной работы персонала, отсутствует наезд опорных колес трактора и вышки на рядки хмеля.

Технологическая колея вышки для навешивания поддержек соответствует ширине междурядья b_M .

На тракторах МТЗ–82 расстояние между соседними технологическими отверстиями прицепной скобы составляет 80 мм. Исходя из этих соображений предусматриваем величину смещения точки прицепа c . Практика показала, что увеличение ее более чем на 200 мм негативно сказывается на курсовой устойчивости трактора [10].

Полученные выражения справедливы для любых значений ширины междурядья хмельников. Как показали результаты наших экспериментов, путем установления оптимальных соотношений бокового интервала и колеи трактора можно добиться значений смещения точки прицепа, кратных 80 мм и, как следствие, равномерное движение агрегата.

Результаты и обсуждение. Для наиболее часто используемых значений ширины междурядья хмельников 3,3 м была построена поверхность по формуле (5), описывающая влияние установленной колеи трактора b_T и бокового интервала Δ на величину смещения точки прицепа c , которая должна быть кратна 80 мм – расстоянию между соседними технологическими отверстиями прицепной скобы (рис. 3).

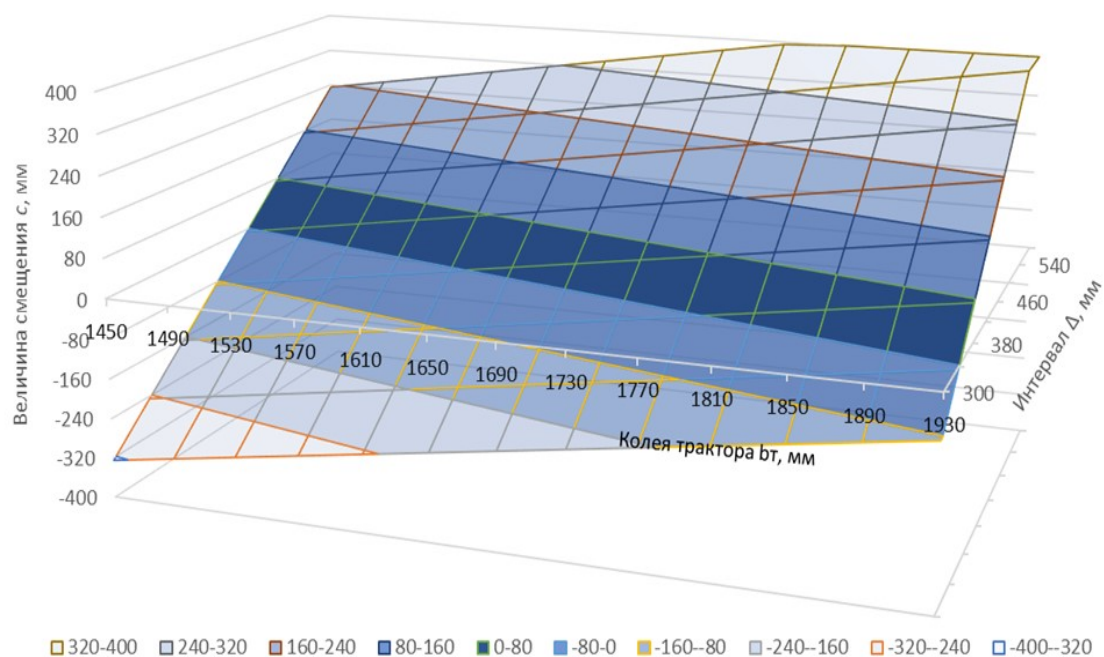


Рис. 3 – Влияние колеи трактора и бокового интервала на величину смещения точки прицепа

Колея трактора регулируется согласно его инструкции по эксплуатации. Был рассмотрен максимально возможный ее диапазон.

Экспериментально было установлено, что при значениях Δ меньше 300 мм происходит наезд колеса на рядок насаждений хмеля, что недопустимо, максимум бокового интервала не ограничен. Оптимальным для маневрирования значением является $\Delta = 500$ мм.

Наименьшая величина колеи трактора ($bT = 1450$ мм) соответствовала нулевому смещению точки прицепа при значениях бокового интервала Δ , близких к 460 мм, наибольшая ($bT = 1930$ мм) – при 340 мм.

В рассматриваемом диапазоне колеи трактора практический интерес представляют те значения, при которых обеспечивается смещение точки прицепа, кратное 80 мм. Таковыми являются значения 1450, 1610, 1770 и 1930 мм (рис. 4).

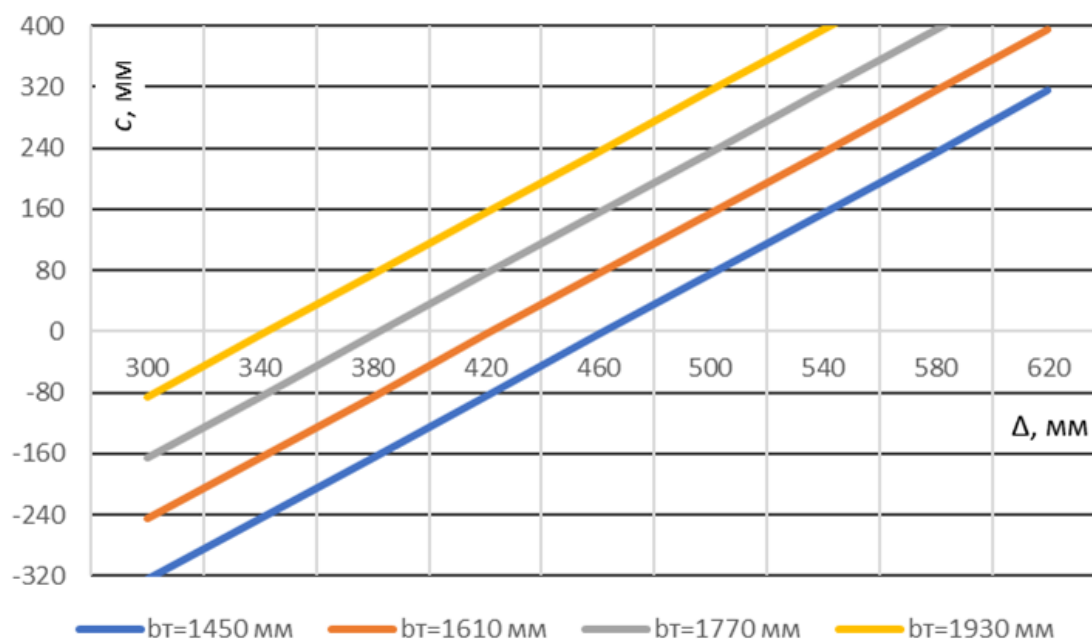


Рис. 4 – Двухмерное сечение поверхности для выбранных значений колеи: b_T – колея

Оптимальному значению $\Delta = 500$ мм соответствует значение колеи трактора 1450 мм, требующее смещения точки прицепа на 80 мм. Однако минимальное значение колеи трактора с прицепной вышкой для навешивания поддержек при использовании на хмельниках со сложным микрорельефом, имеющим существенные неровности, сказывается отрицательно на курсовой устойчивости агрегата. Тогда колея трактора $bT = 1610$ мм обеспечит устойчиво при величине смещения точки прицепа 160 мм. На хмельниках с умеренными неровностями допустимо выполнять операцию навешивания поддержек при значении бокового интервала $\Delta = 460$ мм [2]. В этом случае колея $bT = 1610$ мм обеспечит смещение точки прицепа $c = 80$ мм, а $bT = 1770$ мм – $c = 160$ мм.

Эти значения следует учесть также при определении начальных параметров параллелограммного механизма подъема, высоты поручней и ширины корзины для персонала.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование смещения точки прицепа, кратного 80 мм, для обеспечения равномерного движения вышки для навешивания поддержек и повышения курсовой

устойчивости агрегата. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния других параметров, таких как скорость движения агрегата и тип почвы, на курсовую устойчивость.

Выводы. Смещение точки прицепа оказывает компенсирующее влияние на курсовую устойчивость движения прицепной вышки для навешивания поддержек хмеля. При оптимальном значении бокового интервала $\Delta = 500$ мм смещение точки прицепа $c = 80$ мм возможно с колеей трактора $bT = 1450$ мм. На практике микрорельеф поля влияет на курсовую устойчивость трактора, поэтому рекомендуется использовать увеличенные значения колеи. Теоретические расчеты показали наибольшую целесообразность использования колеи $bT = 1610$ мм с боковым интервалом $\Delta = 460$ или 500 мм, что соответствует смещению точки прицепа $c = 80$ или 160 мм соответственно. На практике погрешности установки колеи, а также соблюдения бокового интервала составляют не более ± 5 мм. Таким образом оптимальным соотношением для устойчивого движения является сочетание колеи трактора 1610 ± 5 мм и бокового интервала 420 ± 5 мм.

Литература

1. Машинные технологии для возделывания хмеля / Ю. П. Дмитриев, В. И. Медведев, А. П. Акимов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2(49). С. 86-92. doi:10.12737/article_5b3506e7938e47.51294573.
2. К вопросу оптимизации системы шпалерного сооружения на хмельнике / Ю. П. Дмитриев, С. Ю. Дмитриев, В. А. Андреев и др. // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 3(26). С. 146-153. doi: 10.48612/vch/e3m9-6449-9bfa.
3. Development and research of the tower for hanging supports on hop-gardens / P. A. Smirnov, A. O. Vasiliev, R. V. Andreev et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific Conference Interstroyemeh - 2019, ISM 2019, Kazan, 12–13 сентября 2019 года. 2020. Vol. 786. – P. 012061. doi:10.1088/1757-899X/786/1/012061.
4. A novel concept of convertible roofs with high transformability consisting of planar scissor-hinge structures / Y. Akgün, C. J. Gantes, K. E. Kalochairetis, G. Kiper // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. No. 9. P. 2873-2883. doi: 10.1016/j.engstruct.2010.05.006.
5. Метод выявления потери устойчивости движения тракторов при реализации тягового усилия на прицеп или сцепной агрегат / М. М. Жилейкин, П. В. Сиротин, С. С. Носиков, Н. Н. Пуляев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2023. № 1. С. 39-48.
6. Результаты моделирования устойчивости движения сельскохозяйственного агрегата к внешним воздействиям / Н. В. Сергеев, С. Е. Сенькевич, М. Е. Чаплыгин, Р. А. Попов // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 2(42). С. 246-261. doi: 10.5281/zenodo.16564005.
7. Влияние жесткости навесной системы на устойчивость криволинейного движения машинно-тракторного агрегата / А. Н. Беляев, Д. Н. Афоничев, Т. В. Тришина и др. // Наука в центральной России. 2023. № 2(62). С. 115-126. doi: 10.35887/2305-2538-2023-2-115-126.
8. Кирсанов М. Н. Аналитический расчет параллелограммного механизма с произвольным числом секций // Вестник машиностроения. 2018. № 1. С. 37-39.
9. Studies on Correction of the Trajectory of a Tractor Train / A. Kushnarev, A. Shuravin, E. Kuznetsov [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East : Agricultural Innovation Systems, Volume 1, Volozhenin, 21–22 июня 2021 года. Vol. 353. Ussuriysk: Springer, 2022. P. 28-35. – doi: 10.1007/978-3-030-91402-8_4.
10. Оценка соответствия колеи трактора с междурядьем посевов / А. А. Ахметов, Б. А. Камбаров, Д. У. Камбарова, Ж. А. Султанов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 3. С. 48-53. doi: 10.22314/2073759920231734853.
11. Sliding-crawling parallelogram mechanism / Y. Tian, Y. A. Yao, X. Wei, A. Joneja // Mechanism and Machine Theory. 2014. Vol. 78. P. 201-228. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2014.03.013.

Сведения об авторах:

Васильев Александр Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, e-mail: 3777222@bk.ru

Лукаев Сергей Львович – аспирант кафедры транспортно – технологических машин и комплексов, e-mail: boss.lukaev@mail.ru

Андреев Роман Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, e-mail: rv_andreev@mail.ru

Казаков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: ura.kazakov@mail.ru
Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия.

INCREASING THE COURSE STABILITY OF A MOBILE TOWER FOR SUPPORT INSTALLATION IN HOP FIELD

A. O. Vasilev, S. L. Lukaev, R. V. Andreev, Yu. F. Kazakov

Abstract. The study examined lateral spacing parameters from 300 to 620 mm with a step of 40 mm and tractor track widths from 1.450 to 1.810 mm, also with a step of 40 mm. The aim of the study was to improve the course stability of a mobile tower used for hanging hop supports, which directly impacts its efficiency and quality of operations. The optimal parameter ratio was found to be a tractor track width of 1.610 ± 5 mm and a lateral spacing of 420 ± 5 mm in hop field conditions with a row spacing of 3.3 m. With these values, the tower's stability increases by an average of 10-12%, and the probability of deviation from the row by more than 20 cm when driving over uneven surfaces decreases. Using a mobile tower increases the productivity of support installation work by 2-3 times compared to manual labor. A scissor-type tower was developed at Chuvash State Agricultural University, which can be coupled with tractors with a power of 45 kW or more. Field tests revealed that its disadvantage is deviation from the intended course when working on uneven surfaces, which reduces the accuracy of attachment. The static and dynamic analysis methods were used to eliminate this problem, taking into account the forces acting on the tower in the horizontal plane. The calculation results confirmed that increasing the lateral spacing and the width of the tractor's track leads to an increase in the offset of the trailer point, while widening the row spacing reduces this effect. Thus, the obtained data allows us to optimize the tower and tractor parameters, ensuring increased stability, maneuverability, and quality of work in the hop fields.

Key words: mobile tower, hop growing, support installation.

References

1. Dmitriev YuP, Medvedev VI, Akimov AP. [Machine technologies for hop cultivation]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 2(49). 86-92 p. DOI: 10.12737/article_5b3506e7938e47.51294573.
2. Dmitriev YuP, Dmitriev SYu, Andreev VA. [On the issue of optimization of the trellis structure system in a hop field]. Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; 3(26). 146-153 p. DOI: 10.48612/vch/e3m9-6449-9bfa.
3. Smirnov PA, Vasilev AO, Andreev RV. Development and research of the tower for hanging supports on hop-gardens. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroyemh – 2019. ISM 2019. Kazan, Russia, September 12-13, 2019. 2020. Vol.786. 012061 p. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012061.
4. Akgun Y, Gantes CJ, Kalochairetis KE, Kiper G. A novel concept of convertible roofs with high transformability consisting of planar scissor-hinge structures. Engineering Structures. 2010; Vol.32. 9. 2873-2883 p. DOI: 10.1016/j.engstruct.2010.05.006.
5. Zhileykin MM, Sirotin PV, Nosikov SS, Pulyaev NN. [Method for detecting loss of stability of movement of tractors when implementing traction force on a trailer or coupling unit]. Traktory i selkhoz mashiny. 2023; 1. 39-48 p. DOI: 10.17816/0321-4443-321266.
6. Sergeev NV, Senkevich SE, Chaplygin ME, Popov RA. [Results of modeling the stability of movement of an agricultural unit to external influences]. Tavricheskiy vestnik nauki. 2025; 2(42). 246-261 p. DOI: 10.5281/zenodo.16564005.
7. Belyaev AN, Afonichev DN, Trishina TV. [Influence of the rigidity of the mounted system on the stability of curvilinear motion of a machine-tractor unit]. Nauka v tsentralnoy Rossii. 2023; 2(62). 115-126 p. DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-115-126.
8. Kirsanov MN. [Analytical calculation of a parallelogram mechanism with an arbitrary number of sections]. Vestnik mashinostroeniya. 2018; 1. 37-39 p.
9. Kushnarev A, Shuravin A, Kuznetsov E. Studies on correction of the trajectory of a tractor train. Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems, Volume 1, Volozhenin, June 21-22, 2021; Vol.353. Ussuriysk: Springer. 2022; 28-35 p. – doi: 10.1007/978-3-030-91402-8_4.
10. Akhmetov AA, Kambarov BA, Kambarova DU, Sultanov Zha. [Evaluation of conformity of tractor track with row spacing of crops]. Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2023; Vol.17. 3. 48-53 p. DOI: 10.22314/2073759920231734853.
11. Tian Y, Yao YA, Wei X, Joneja A. Sliding-crawling parallelogram mechanism. Mechanism and Machine Theory. 2014; Vol.78. 201-228 p. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.03.013.

Authors:

Vasilev Aleksandr Olegovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Services Department, e-mail: 3777222@bk.ru
Lukaev Sergey Lvovich – post-graduate student of Department of Transport and Technological Machines and Complexes, e-mail: boss.lukaev@mail.ru
Andreev Roman Viktorovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Services Department, e-mail: rv.andreev@mail.ru
Kazakov Yuriy Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Transport and Technological Machines and Complexes, e-mail: ura.kazakov@mail.ru
Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia.