

29. Kanamitsu, M. Development of Chinese cabbage harvester / M. Kanamitsu, K. Yamamoto // Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ). – 1996. – 30 (1). – 35.
30. Patent No. 3497013 (February 24, 1970). U.S. / W. M. Baker, P. Road, J. Rte, N. Y. Clyde.
31. Patent No. 3827503 (August 6, 1974). U.S. / C. J. Hansen.
32. Song, K. S. Automatic cabbage feeding, piling, and unloading system for tractor implement Chinese cabbage harvester / K. S. Song, H. Hwang, J. T. Hong // IFAC Proceedings Volumes. – 2000. – 33(29). – 259. – URL: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)36787-3](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)36787-3).
33. Wu, X. W. Discussion on structure of self-propelled hydraulic cabbage harvester / X. W. Wu, Y. Sun, X. K. Yuan // South Agricultural Machinery. – 2015. – 11 35.

#### Information about authors

1. **Alatyrev Sergey Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, st. K. Marks, 29; tel. 89373911350;

2. **Alatyrev Alexey Sergeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, st. K. Marks, 29; tel. 89050273957;

3. **Kruchinkina Irina Sergeevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technology, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, st. K. Marks, 29; tel. 89176533438.

УДК 633.791

DOI:

#### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ШПАГАТА ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ХМЕЛЯ

**Е. П. Алексеев, В. П. Егоров, А. В. Коротков**

*Чувашский государственный аграрный университет*

*428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье произведен расчет, направленный на определение оптимального диаметра шпагата, поддерживающего хмель. Хмель является растением, которое не имеет многолетней кроны, но при этом в вегетационный период превращается в достаточно мощный куст высотой до 6-7 м, представляющий собой вьющуюся лиану, для поддержания которой необходимо использовать специальные конструкции. С учетом особенностей его развития сооружаются шпалеры для поддержки, представляющие с собой опорные столбы с натянутой в верхней части проволокой и вертикальные поддержки из полипропиленового шпагата или стальной проволоки. На каждую поддержку заводится по 2-3 стебля для получения достаточно плотного куста. В процессе роста и развития хмеля происходит увеличение массы растения, а значит, увеличивается и интенсивность распределенной нагрузки  $q$  на предварительно натянутый шпагат. При этом необходимо учитывать интенсивность ветровой нагрузки, действующей на растение и повышающей общую распределенную нагрузку. Действие таких сил нагружает шпагат, а при определенных значениях даже вызывает его обрыв и падение стебля. Максимальное натяжение наблюдается тогда, когда растение проросло полностью по длине шпагата: это происходит в основном на третий году жизни растения. Для определения натяжения шпагата  $T$ , закрепленного в двух точках  $A$  и  $B$  под углом  $10^\circ$  к вертикальной плоскости, под действием распределенных сил было рассмотрено условие статического равновесия. При решении задачи необходимо разложить натяжение  $T$  на горизонтальную и вертикальную составляющие реакции опор.

**Ключевые слова:** хмель, шпалеры, поддержка, шпагат, распределенная нагрузка.

**Введение.** Хмель относится к растениям-лианам и имеет довольно высокую вертикальную скорость роста. За счет специальных волосков, имеющих на стебле, растение достаточно прочно закрепляется на поддержке. Учитывая особенность такого роста, при выращивании хмелеводы применяют специальные сооружения – шпалеры со столбами высотой до 8,5 метров, соединенные в верхней части металлической проволокой в виде клетки.

Для удержания побегов практически в вертикальном положении (под углом  $10^\circ$  к вертикальной плоскости), начиная с ранней стадии роста, применяют прочные поддержки [2], в качестве которых используют химические нити (шпагат полипропиленовый) или стальную проволоку диаметром в 1 мм. На каждую поддержку заводится по 2-3 стебля для получения достаточно плотного куста массой до 6 кг.

**Материалы и методы исследований.** Исследованию гибких нитей посвящено множество работ, включая и те, которые направлены на решение задач по теоретической механике.

В работе Меркина Д.Р. [4] используются статические и динамические уравнения для расчета параметров подвешенных на опорах нитей, имеющих различные точки опоры. Рассмотрены действия распределенных сил с учетом собственной массы нити и внешних сил в виде давления ветра.

Для определения условий, определяющих прочность поддержек хмеля, и выбора оптимального диаметра шпагата представим его в виде гибкой растяжимой нити, изменением диаметра которой можно пренебречь.

Шпагат, нагруженный растением, кроме собственной массы (массовые силы) испытывает нагрузку под действием ветра (поверхностные силы), сила которого зависит от аэродинамического коэффициента и скорости напора. Действия таких сил представим в распределенном виде с интенсивностью  $\bar{q}$ :

$$\bar{q} = \sqrt{\bar{q}_1^2 + \bar{q}_2^2}, \quad (1)$$

где  $\bar{q}_1$  – интенсивность нагрузки, связанной с массой растения, вьющегося по шпагату, Н/м;  $\bar{q}_2$  – интенсивность ветровой нагрузки на стебель хмеля и шпагат, Н/м.

$$\bar{q}_2 = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot V^2 \cdot d, \quad (2)$$

где  $C_x$  – аэродинамический коэффициент ( $C_x=1,2$ );  $\rho$  – плотность воздуха, ( $\rho=1,205 \text{ кг/м}^3$ );  $V$  – скорость ветра, м/с (данные о скорости ветра получены на агрометеорологической станции ФГБОУ ВО «Чувашский ГАУ» за 2019-2021 гг. [3], [5]);  $d$  – диаметр куста хмеля, м.

Распределенную нагрузку представим в виде действия сил вдоль точек подвеса:

$$q = \frac{\bar{q}}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол расположения поддержки хмеля, град.

Рассмотрим условие статического равновесия для натянутого шпагата при поддержке хмеля длиной  $L$  (рис. 1), закрепленного в двух точках  $A$  и  $B$ . Высоту расположения опорных точек обозначим через  $h$ , горизонтальное расстояние – через  $l$ . Натяжение шпагата  $T$  разложим на вертикальную ( $Q$ ) и горизонтальную ( $H$ ) составляющие.

Очевидно, что для равновесия необходимо, чтобы

$$\left. \begin{aligned} \sum x &= 0, \\ \sum y &= 0, \\ \sum M &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

или

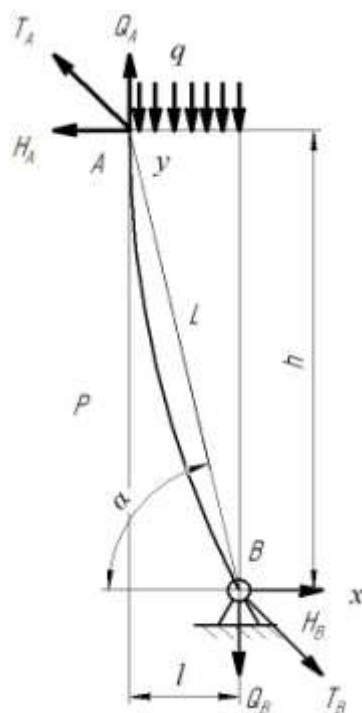


Рис.1. Схема действия сил на поддержку хмеля

$$\left. \begin{aligned} -H_A + H_B &= 0, \\ Q_A + Q_B - ql &= 0, \\ H_A \cdot h - Q_A \cdot l + \frac{ql^2}{2} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5), получим

$$\begin{aligned} H_A &= H_B = H; \\ Q_B &= H \frac{h}{l} + \frac{ql}{2}; \\ Q_A &= \frac{ql}{2} - H \frac{h}{l}, \end{aligned}$$

Рассмотрим единичный участок шпагата  $dx$  в произвольном сечении, на который действует сила натяжения  $T$ .

$$\left. \begin{aligned} -H_A + T_x &= 0, \\ Q_A - qx - T_y &= 0, \\ Q_A \cdot x - H_A \cdot y - \frac{qx^2}{2} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где  $x$  – координата участка  $dx$  на горизонтальной оси, м;  $y$  – координата участка  $dx$  на вертикальной оси, м. Решение системы (6) запишем в виде:

$$T_x = H. \quad (7)$$

Подставив уравнение (7) во второе уравнение системы (6), получим:

$$T_y = Q_A - qx = H \frac{h}{l} + q \left( \frac{l}{2} - x \right). \quad (8)$$

Сумма сил натяжения шпагата определяется следующим образом:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = \sqrt{H^2 + \left( H \frac{h}{l} + q \left( \frac{l}{2} - x \right) \right)^2}. \quad (9)$$

Из третьего уравнения системы (6) получим

$$y = \left( \frac{ql}{2H} + \frac{h}{l} \right) x - \frac{qx^2}{2H}. \quad (10)$$

Производная максимальной точки провисания подвешенной поддержки при  $y=y_{\max}$  из кривой провисания (10) равна

$$\frac{dy}{dx} = \frac{ql}{2H} + \frac{h}{l} + \frac{qx}{H} = 0. \quad (11)$$

Из выражения (11) определим низшую точку подвешенной поддержки:

$$x = \frac{l}{2} + \frac{Hh}{ql}, \quad (12)$$

откуда натяжение нити

$$H = \frac{ql}{h} \left( x - \frac{l}{2} \right). \quad (13)$$

Допустим, что нижняя точка кривой прогиба шпагата совпадает с точкой подвеса  $B$ , тогда

$$H = \frac{ql^2}{2h}. \quad (14)$$

**Результаты исследований и их обсуждение.** При подстановке численных значений был получен график зависимости натяжения шпагата от скорости ветра (рис. 2). Согласно ГОСТу [1] разрывная нагрузка полипропиленового шпагата в зависимости от его диаметра  $d_1=1,0$  мм;  $d_2=1,2$  мм;  $d_3=1,4$  мм;  $d_4=1,6$  мм;  $d_5=1,7$  мм и  $d_6=2,0$  мм представлена в виде пунктирной линии.

Исходя из графика (рис. 2) можно сделать вывод, что при скорости ветра  $V$  до 20 м/с, наблюдаемой на хмельниках Чувашского ГАУ в 2020 г., допустимый диаметр шпагата равен 1,7 мм и может быть выше. При меньшем диаметре натяжение шпагата за счет действия распределенной нагрузки окажется выше допустимого значения, что соответствует точкам пересечения пунктирных линий с графиком зависимости  $T=f(V)$ .

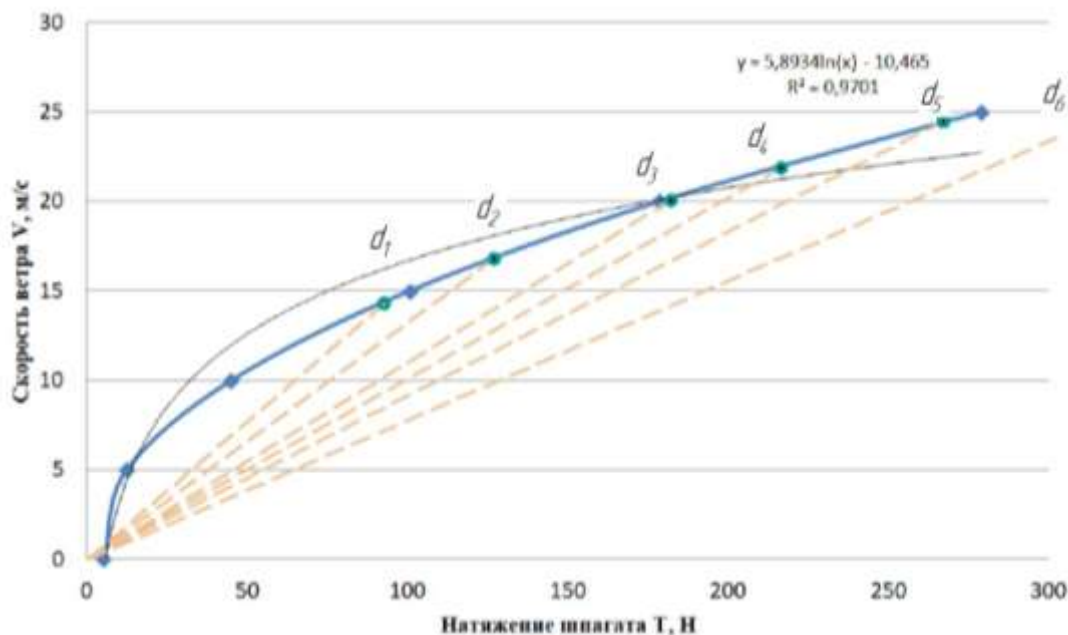


Рис. 2. График зависимости натяжения шпагата  $T$  от скорости ветра  $V$ .

**Выводы.** Очевидно, что величина массовых и поверхностных сил, действующих на поддержку, будет зависеть от фазы роста растения, а наибольшее значение она имеет при полном расположении стебля по длине поддержки. При дальнейшем росте за счет обрастания вокруг металлической проволоки шпалеры стебель переходит в подвешенное состояние, что приводит к снижению нагрузки на шпагат. Выбор оптимального диаметра шпагата в зависимости от натяжения позволяет исключить его обрыв в вегетационный период.

#### Литература

- ГОСТ 17308-88. Межгосударственный стандарт. Шпагаты. Технические условия: принят и введен Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25.03.88 N 731: дата введения 1989-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 15 с.
- Патент № 2716980 С1 Российская Федерация, МПК А01D 46/02, В66F 3/22. № 2019112358. Мобильная вышка для навешивания поддержек стеблей хмеля / П. А. Смирнов, Р. В. Андреев, А. Е. Макушев: заявл. 23.04.2019; опубл. 17.03.2020. – 3 с.
- Коротков, А. В. Влияние агрометеорологических условий на распространение ложной и настоящей мучнистой росы на насаждения хмеля в Чувашской Республике / А. В. Коротков, З. П. Короткова, Е. П. Алексеев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1 (12). – С. 31-38.
- Меркин, Д. Р. Введение в механику гибкой нити / Д. Р. Меркин. – Москва: Наука, 1980. – 240 с.
- Пушкаренко, Н. Н. Влияние агрометеорологических условий на качественные показатели хмеля / Н. Н. Пушкаренко, Е. П. Алексеев, А. В. Коротков // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса: научные труды Международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 429-433.

#### Сведения об авторах

- Алексеев Евгений Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: zhenia\_alex@mail.ru, тел. 8-919-668-24-70;
- Егоров Виталий Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29;
- Коротков Анатолий Васильевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий научно-практическим центром исследований в хмелеводстве, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: tolya.korotkov.62@mail.ru, тел. 8-987-679-17-99.

## SELECTION OF THE OPTIMUM TWINE DIAMETER WITH THE SUPPORT OF HOP

E. P. Alekseev, V. P. Egorov, A. V. Korotkov

Chuvash State Agrarian University  
428003, Cheboksary, Russian Federation

**Brief abstract.** The article made a calculation aimed at determining the optimal diameter of the twine that supports hops. Hop is a plant that does not have a perennial crown, but at the same time, during the growing season, it turns into a fairly powerful bush up to 6-7 m high, which is a climbing vine, to maintain which it is necessary to use special structures. Taking into account the peculiarities of its development, support trellises are constructed, which are support poles with a wire stretched in the upper part and vertical supports made of polypropylene twine or steel wire. For each support, 2-3 stems are planted to obtain a fairly dense bush. In the process of growth and development of hops, an increase in the mass of the plant occurs, which means that the intensity of the distributed load  $q$  on the pre-tensioned twine also increases. In this case, it is necessary to take into account the intensity of the wind load acting on the plant and increasing the total distributed load. The action of such forces loads the twine, and at certain values even causes it to break and the stem to fall. The maximum tension is observed when the plant has grown completely along the length of the twine: this occurs mainly in the third year of the plant's life. To determine the tension of the twine  $T$ , fixed at two points  $A$  and  $B$  at an angle of  $10^\circ$  to the vertical plane, under the action of distributed forces, the condition of static equilibrium was considered. When solving the problem, it is necessary to decompose the tension  $T$  into horizontal and vertical components of the support reaction.

**Key words:** hops, tapestries, support, twine, distributed load.

## References

1. GOST 17308-88. Mezhhgosudarstvennyj standart. SHpagaty. Tekhnicheskie usloviya: prinyat i vveden Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 25.03.88 N 731: data vvedeniya 1989-07-01. – Moskva: Standartinform, 2005. – 15 s.
2. Patent № 2716980 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01D 46/02, B66F 3/22. № 2019112358. Mobil'naya vyshka dlya naveshivaniya podderzhek stebel' hmelya / P. A. Smirnov, R. V. Andreev, A. E. Makushev: zayavl. 23.04.2019: opubl. 17.03.2020. – 3 s.
3. Korotkov, A. V. Vliyanie agrometeorologicheskikh uslovij na rasprostranenie lozhnoj i nastoyashchej muchnistoj rosy na nasazhdeniya hmelya v Chuvashskoj Respublike / A. V. Korotkov, Z. P. Korotkova, E. P. Alekseev // Vestnik Chuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 1 (12). – S. 31-38.
4. Merkin, D. R. Vvedenie v mekhaniku gibkoj niti / D. R. Merkin. – Moskva: Nauka, 1980. – 240 s.
5. Pushkarenko, N. N. Vliyanie agrometeorologicheskikh uslovij na kachestvennye pokazateli hmelya / N. N. Pushkarenko, E. P. Alekseev, A. V. Korotkov // Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnicheskoy bazy agropromyshlennogo kompleksa: nauchnye trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Kazan': Kazanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021. – S. 429-433.

## Information about authors

1. **Alekseev Evgeny Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx Str., 29; e-mail: zhenia\_alex@mail.ru, tel. 8-919-668-24-70;
2. **Egorov Vitaliy Petrovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx Str., 29;
3. **Korotkov Anatoly Vasilyevich**, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Scientific and Practical Center for Research in Hop Growing, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx Str., 29; e-mail: tolya.korotkov.62@mail.ru, tel. 8-987-679-17-99.