

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАБОТЫ СТЕБЛЕПОДЪЕМНИКА ПРИ СКАШИВАНИИ ПОЛЕГШИХ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

THE STUDY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF THE OPERATION OF THE STALK LIFTER WHEN MOWING DOWN DEAD GRAIN AND LEGUMINOUS CROPS

В.Н. ПРИМАК, к.т.н.
А.Ю. ПОПОВ, к.т.н.

Донской государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия, popov_a_ju@mail.ru

V.N. PRIMAK, PhD in Engineering
A.YU. POPOV, PhD in Engineering

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia,
popov_a_ju@mail.ru

В настоящее время при скашивании полегших зерновых и зернобобовых культур валковые жатки и хедера зерноуборочных комбайнов оборудуются стеблеподъемниками. Успешное выполнение процесса поднятия полеглых и срезанных стеблей обусловлено правильным выбором значения угла наклона крыла стеблеподъемника. В существующих конструкциях стеблеподъемников угол наклона устанавливается меньше угла трения стебля о поверхность устройства. Однако при таком подходе к выбору угла при влажном стеблестое и больших колебаниях микрорельефа поверхности поля замечается обволакивание крыльев стеблеподъемников и сгуживание хлебной массы. Это говорит о том, что знания коэффициента трения стеблей убираемых культур при проектировании стеблеподъемников недостаточно. Поэтому возникает необходимость в исследовании процесса подъема стеблей зерновых и зернобобовых культур.

Целью исследования является определение теоретической зависимости величины подъема стеблей от конструктивных и технологических параметров работы стеблеподъемного устройства уборочных машин при скашивании полегших зерновых и зернобобовых культур, а также технологических свойств убираемой культуры. В статье рассмотрен процесс подъема срезанного стебля по поверхности стеблеподъемника, а также полегшего несрезанного стебля с учетом силы сопротивления изгибу и переплетения стеблей. Определены силы, действующие на стебель. Принято допущение об абсолютной неупругости удара стебля о поверхность устройства. На основе полученной математической модели построены графики теоретических зависимостей максимально возможного перемещения стебля и высоты подъема его в зависимости от скорости движения машины и угла установки крыла стеблеподъемника. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что конструктивные параметры стеблеподъемника определяются не только коэффициентом трения скольжения стеблей убираемых культур, но также скоростью движения уборочной машины и величиной силы сопротивления изгибу стебля.

Ключевые слова: стеблеподъемник, угол трения, угол наклона, высота подъема, скорость, полеглые стебли, перемещение.

Nowadays, the roller reapers and headers of grain harvesters, when mowing down dead grain and leguminous crops, are equipped with stalk lifts. The successful completion of the process of raising flat and cut stems depends on the correct choice of the angle of inclination of the wing of the stem lift. In existing designs of stalk lifts, the angle of inclination is set less than the angle of friction of the stalk on the surface of the device. However, with this approach to choosing an angle with a moist stalk and large fluctuations in the microrelief of the field surface, there are observed the enveloping of the wings of the stalk lifters and the process of unloading of the grain mass. This suggests that knowledge of the coefficient of friction of the stems of harvested crops in the design of stem lifters is not enough. Therefore, there is a need to study the process of lifting the stems of grain and leguminous crops. The aim of the study is to determine the theoretical dependence of the magnitude of the rise of the stems on the structural and technological parameters of the operation of the stem-lifting device of harvesting machines when mowing dead grains and legumes, as well as the technological properties of the harvested crop. The article discusses the process of lifting a cut stem along the surface of the stem lifter, as well as a laden uncut stem, taking into account the strength of resistance to bending and weaving of the stems. The forces acting on the stem are determined. The assumption is made about the absolute inelasticity of the impact of the stem on the surface of the device. Based on the obtained mathematical model, graphs of theoretical dependencies of the maximum possible movement of the stem and the height of its rise depending on the speed of the machine and the angle of installation of the wing of the stem lifter are constructed. Analysis of the obtained dependences allows us to conclude that the design parameters of the stem lifter are determined both by the sliding friction coefficient of the stems of harvested crops and by the speed of the harvester and the strength of the bending resistance of the stem as well.

Keywords: stem lifter, friction angle, tilt angle, lifting height, speed, dead stems, moving.

Введение

В настоящее время валковые жатки и хедера зерноуборочных комбайнов при скашивании полегших зерновых и зернобобовых культур оборудуются стеблеподъемниками, которые устанавливаются на пальцах режущих аппаратов или являются составной частью пальца. Стеблеподъемники в отдельных случаях имеют жесткое крепление к пальцам или могут самостоятельно копировать рельеф поля за счет пружинного механизма [1, 2].

Технологический процесс, выполняемый стеблеподъемником, заключается в поднятии полеглых, а также отдельных срезанных стеблей. Успешное выполнение процесса в значительной степени обусловлено правильным выбором значения угла наклона α крыла стеблеподъемника.

В существующих стеблеподъемниках угла α взят меньше угла трения стебля о металл, так как поверхность стеблеподъемника при движении машины должна брать на себя как срезанные, так и несрезанные стебли [3, 4]. Однако при таком упрощенном подходе к выбору угла замечается обволакивание крыльев стеблеподъемников при влажном стеблестое, и особенно при больших колебаниях микрорельефа поверхности поля. Зачастую при сильно сплетенном стеблестое имеет место сгуживание хлебной массы на стеблеподъемнике, мешающее нормальной работе уборочной машины. Все это говорит о том, что знания коэффициента трения стеблей убираемых культур при проектировании стеблеподъемников недостаточно, а качество работы стеблеподъемного устройства определяется и другими факторами.

Поэтому возникает необходимость в исследовании процесса подъема стеблей зерновых и зернобобовых культур, определении конструктивных параметров и режимов работы стеблеподъемников жаток, в частности обосновании угла подъема стеблей при скашивании полегших зерновых и зернобобовых культур.

Цель исследований

Определение теоретической зависимости величины подъема стеблей от конструктивных и технологических параметров работы стеблеподъемного устройства уборочных машин при скашивании полегших зерновых и зернобобовых культур, а также технологических свойств убираемой культуры.

Материалы и методы

Математическое моделирование процесса подъема стеблей

Рассмотрим движение стеблеподъемника со скоростью v_0 . Координатные оси направим по поверхности стеблеподъемника Ox и перпендикулярно – Oy . В точке O стеблеподъемник встречается с уже срезанным стеблем. При встрече происходит удар и стебель приобретает некоторую скорость v_0 , величина которой зависит от характера удара и в первую очередь от физических свойств соударяющихся тел. Во время удара стеблей технических культур о металлическую поверхность стеблеподъемника коэффициент восстановления имеет весьма небольшую величину, поэтому рассматриваемый удар в первом приближении можно принять абсолютно неупругим.

При перемещении по поверхности стеблеподъемника на стебель действуют сила трения скольжения стебля о поверхность стеблеподъемника F , сила тяжести mg и сила реакции опоры N . Совокупность сил, действующих на свободный срезанный стебель, представлена на рис. 1.

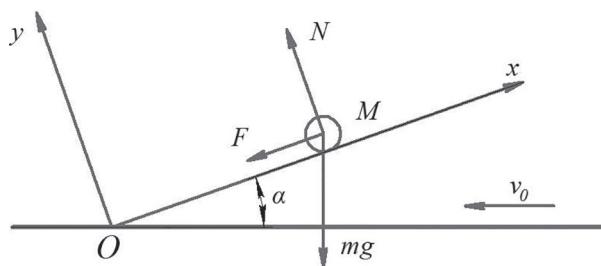


Рис. 1. Схема сил, действующих на срезанный стебель

Угол трения между стеблем и металлической поверхностью обозначим через φ . Безусловно, после удара стебель поднимается на поверхность стеблеподъемника лишь при условии $\alpha < \frac{\pi}{2} - \varphi$ [3]. В противном случае стебель будет обволакиваться перед стеблеподъемником.

При допущении абсолютной неупругости удара и при $\alpha < \frac{\pi}{2} - \varphi$ после встречи со стеблеподъемником стебель приобретает скорость, равную $v_0 \cos \alpha$.

Дифференциальное уравнение относительного движения стебля по поверхности стеблеподъемника будет:

$$m \frac{dv_x}{dt} = -F - mg \sin \alpha, \quad (1)$$

где m – масса стебля; v_x – скорость перемещения стебля по поверхности стеблеподъемника.

Так как сила трения скольжения определяется по известной зависимости:

$$F = fN = fmg \cos \alpha,$$

где f – коэффициент трения скольжения стебля по поверхности стеблеподъемника, то

$$\frac{dv_x}{dt} = -g(f \cos \alpha + \sin \alpha). \quad (2)$$

Интегрирование этого уравнения дает:

$$v_x = v_0 \cos \alpha - gt(f \cos \alpha + \sin \alpha),$$

или

$$v_x = v_0 \cos \alpha - \frac{gt \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (3)$$

В полученном выражении первая составляющая равенства является постоянной величиной, а вторая – со временем увеличивается. Безусловно, через определенное время t_1 наступит момент, когда движение стебля вверх прекратится. Значение t_1 определяется из выражения (3) при условии $v_x = 0$:

$$t_1 = \frac{v_0 \cos \alpha \cdot \cos \varphi}{g \sin(\alpha + \varphi)}. \quad (4)$$

Для определения максимального перемещения L_x срезанного стебля, которое он проходит по поверхности стеблеподъемника, можно поступить следующим образом. Из выражения (3) после интегрирования имеем:

$$x = v_0 t \cos \alpha - \frac{gt^2 \sin(\alpha + \varphi)}{2 \cos \varphi} + C_1. \quad (5)$$

Так как при $t = 0$, $x = 0$, то $C_1 = 0$. Следовательно:

$$x = v_0 t \cos \alpha - \frac{gt^2 \sin(\alpha + \varphi)}{2 \cos \varphi}. \quad (6)$$

Вместо t , взяв t_1 из этого выражения можно получить:

$$L_x = \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha \cdot \cos \varphi}{g \sin(\alpha + \varphi)}. \quad (7)$$

Результаты и обсуждение

На основании полученной формулы (7) построены графики зависимости максимально возможного пути L_x , проходимого срезанным

стеблем от угла наклона стеблеподъемника α при $\varphi = 35^\circ$ и скорости движения уборочной машины 1,5 и 2 м/с, приведенные на рис. 2.

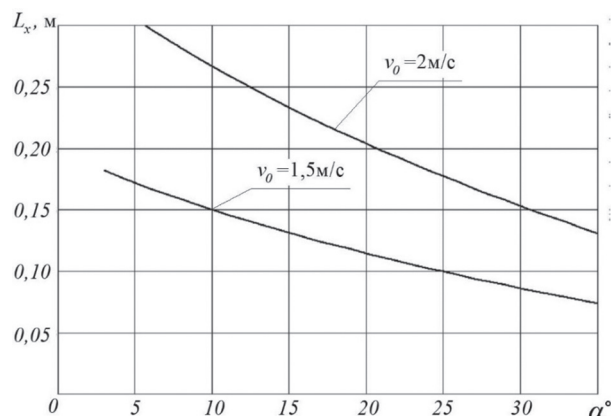


Рис. 2. Теоретическая зависимость максимально возможного перемещения L_x срезанного стебля от величины угла наклона стеблеподъемника α при $\varphi = 35^\circ$ и скорости движения уборочной машины 1,5 и 2 м/с

Из графика на рис. 2, а также формулы (7) видно, что при повышении скорости движения машины предельное расстояние L_x , на которое может двигаться срезанный стебель, резко возрастает. Это говорит в пользу повышения скоростей уборочных машин, снабженных стеблеподъемниками.

Кроме того, из графика (рис. 2) видно, что с уменьшением угла α путь L_x увеличивается. Но так как для работы стеблеподъемников главными является их способность поднимать стебли по возможности выше, считая от поверхности поля, то из рис. 1 видно, что высоту подъема срезанного стебля определяется по формуле:

$$h = L_x \sin \alpha. \quad (8)$$

На основе формулы (8) построены графики зависимости величины подъема h срезанных стеблей от угла наклона стеблеподъемника α при $\varphi = 35^\circ$ и скорости движения уборочной машины 1,5 м/с и 2 м/с, приведенных на рис. 3.

Из графика (рис. 3) видно, что при увеличении угла α величина подъема срезанных стеблей стеблеподъемником возрастает. Но даже при скорости движения машины $v_0 = 2,0$ м/с она не превышает 8 см (при $\alpha = 35^\circ$).

Учитывая наличие микрорельефа поверхности поля, значение $h = 8$ см позволит поднять лишь небольшую часть срезанных стеблей.

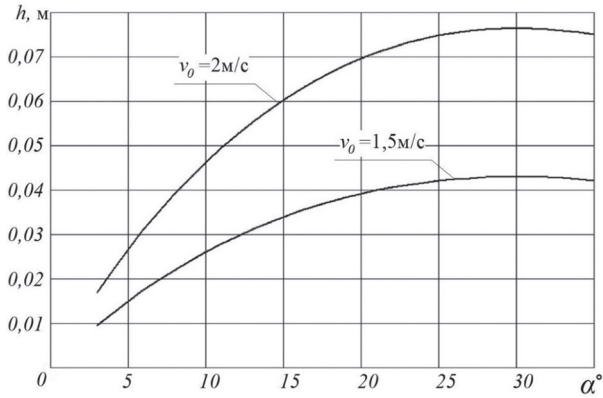


Рис. 3. Теоретическая зависимость величины подъема срезанного стебля h от угла наклона стеблеподъемника α при $\varphi = 35^\circ$ и скорости движения уборочной машины 1,5 и 2 м/с

Формула (3) выражает относительную скорость движения срезанного стебля по поверхности стеблеподъемника. Если взять $v_x = \text{const}$, то можно в координатной системе $\alpha O t$ получить кривую поперечного сечения поверхности стеблеподъемника, при движении по которому скорость срезанного стебля остается постоянной. Такая поверхность получается при постепенном уменьшении угла α , и, конечно, она может иметь практическое значение до α_0 . Однако расчеты показывают, что промежуток времени, при котором угол α уменьшается до $\alpha = 0$, весьма небольшой, и поэтому для принятых скоростей движения уборочных машин выбор стеблеподъемников с такими поверхностями непрактичен.

Стеблеподъемники значительно легче поднимают несрезанные стебли. Такие стебли могут находиться в любом положении относительно поверхности стеблеподъемника. Возьмем, например, их наклонное положение, как это показано на рис. 4. При движении по стрелке v_0 стебель будет перемещаться в направлении оси Ox , но так как он связан в точке A , то перемещение его будет иметь составляющую также по оси Oy . Однако в рассматриваемом случае более важное значение имеет перемещение стебля в направлении оси Ox , поэтому вместо приведенной берем плоскую задачу и возвращаемся к рис. 1.

В последнем случае к приведенным силам (рис. 5) прибавляется P , являющаяся силой сопротивления изгибу стебля и направленная обратно направлению движения [5, 6].

При переходе от пространственной к плоской задаче в направлении оси Ox будет дей-

ствовать составляющая сила P , которую обозначим через P_x . Сила эта – переменная и в общем случае зависит как от перемещения стебля x , так и от скорости этого перемещения x' по оси Ox . В общем виде данную силу обозначим $P_x(x, x')$.

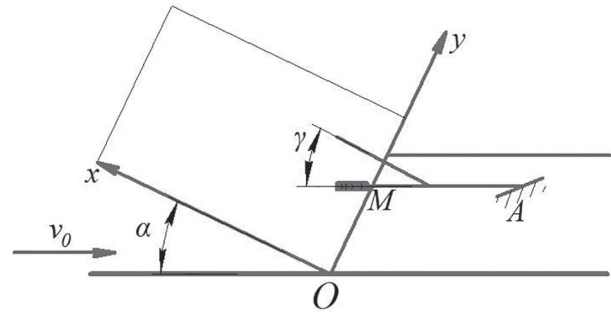


Рис. 4. Схема работы стеблеподъемника при встрече с несрезанным стеблем

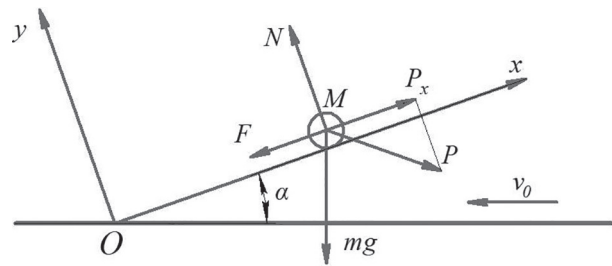


Рис. 5. Схема сил, действующих на несрезанный стебель

Дифференциальное уравнение движения стебля в последнем случае в определенных пределах будет иметь следующий вид:

$$m \frac{dv_x}{dt} = -fN - mg \sin \alpha + P_x(x, x'). \quad (9)$$

Но так как сила реакции опоры равна $N = mg \cos \alpha$, то

$$\frac{dv_x}{dt} = -g(f \cos \alpha + \sin \alpha) + P_x(x, x'). \quad (10)$$

$$v_x = -gt(f \cos \alpha + \sin \alpha) + C_1 + \int_0^x P_x(x, x') dx. \quad (11)$$

$$\text{При } t = 0, v_x = v_0 \cos \alpha \text{ и } \int_0^x P_x(x, x') dx = 0.$$

Поэтому окончательно получим:

$$v_x = v_0 \cos \alpha - \frac{gt \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} + \int_0^x P_x(x, x') dx. \quad (12)$$

В формуле (12) значение третьего члена ограничивается условием:

$$\int_0^x P_x(x, x') dx \leq \frac{gt \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (13)$$

При равенстве обеих частей в выражении (8) стебель, попадая на поверхность стеблеподъемника, движется с относительной скоростью, равной скорости, полученной им в первый момент встречи со стеблеподъемником.

Очевидно, чем больше сопротивление изгибу стебля, чем меньше угол γ (рис. 4), тем значение члена $\int_0^x P_x(x, x') dx$ больше. Однако, как было сказано выше, его значение не может быть больше $\frac{gt \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}$.

Зачастую полеглые стебли переплетаются между собой. В последнем случае дифференциальное уравнение относительного движения опять будет иметь вид (6), а влияние переплетенных стеблей выразится силой $P_x(x, x')$. В обоих случаях сила $P_x(x, x')$ зависит от многочисленных случайных факторов, и поэтому ее значение для различных случаев можно определить лишь опытным путем [5, 6]. Однако наличие силы $P_x(x, x')$, особенно для стеблей, имеющих большой момент сопротивления изгибу или сильно переплетенных, взаимно поддерживающих, значительно облегчает подъем стеблей по поверхности стеблеподъемников. Безусловно, это относится к тому промежутку времени, когда срез стеблей еще не произошел. После среза стеблей их перемещение подчиняется закономерностям, приведенным ранее по зависимости (3).

В силу того, что для различных культур сила $P_x(x, x')$ может изменяться в значительных пределах, в каждом случае необходимо путем лабораторных опытов определить ее значение, а затем, используя вышеприведенные теоретические изыскания, определять искомое значение угла α . Можно идти и другим путем: при помощи полевых опытов непосредственно определить наилучшее значение угла α . Однако этот путь более дорогостоящий, так как требует постановки весьма обширных опытов на различных участках. При этом необходимо учесть также влияние микрорельефа поверхности поля и тот факт, что при копировании рельефа поля постоянно меняется угол установки режущего аппарата по отношению к стеблестоя на корню. Это влияет на каче-

ство среза и потери несрезанными растениями и зерном в зоне захвата машин и под валком.

Выводы

В результате данного исследования рассмотрена динамика процесса работы стеблеподъемника уборочной машины при подъеме полегших и срезанных стеблей. Определены аналитические зависимости величин поднятия и максимального перемещения срезанного и полегшего стебля от скорости уборочной машины и угла установки стеблеподъемника. Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что конструктивные параметры стеблеподъемника определяются не только коэффициентом трения скольжения стеблей убираемых культур, но и другими технологическими параметрами работы, а именно скоростью движения уборочной машины, величиной сопротивления изгибу стебля. Кроме того, полученные аналитические зависимости могут использоваться для проведения дальнейших исследований и модернизации стеблеподъемных устройств для зерноуборочных машин.

Литература

1. Кузнецов Л.В. Новые технологические способы и технические средства для уборки полеглых хлебов в условиях Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 11. С. 40–41.
2. Антипкин А.Н., Кухмазов К.З. Обоснование конструктивных параметров стеблеподъемника жатки зерноуборочного комбайна // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2011. № 1–1. С. 157–161.
3. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: учеб. пособие для высш. учеб. заведений / под общ. ред. Г.Е. Листопада. М.: Агропромиздат, 1986. 688 с.
4. Ключков А.В., Шкуратов С.С. Обоснование параметров стеблеподъемника для повышенной высоты среза растений комбайном // Вестник Барановичского государственного университета. Серия: технические науки. 2015. № 3. С. 85–89.
5. Примак В.Н. Изучение физико-механических свойств сцепления стеблей риса в полевых условиях. М.: Деп. в ВНИИТЭИСХ № 55, 1983. 35 с.
6. Царев Ю.А., Примак В.Н., Олейник Д.В. Обоснование физической модели возникновения потерь за валковой жаткой ЖРК-5 // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: сб. материалов 5-й науч.-практи-

ческой конф. в рамках 15 междун. агропромыш. выставки «Интерагромаш – 2012» 29 фев. – 1 марта. Ростов-на-Дону. 2012. С. 88–91.

References

1. Kuznecov L.V. New technological methods and technical means for harvesting dead bread in Siberia. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2009. No 11, pp. 40–41 (in Russ.).
2. Antipkin A.N., Kuhmazov K.Z. Justification of the design parameters of the stem lifter of the header of the combine harvester. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011. No 1–1, pp. 157–161 (in Russ.).
3. Listopad G.E., Demidov G.K., Zonov B.D. *Sel'skohozyajstvennyye i meliorativnyye mashiny [Agricultural and reclamation machinery]: ucheb. posobie dlya vyssh. ucheb. zavedenij. Pod obshch. red. G.E. Listopada*. Moscow: Agropromizdat Publ., 1986. 688 p.
4. Klochkov A.V., SHkuratov S.S. Justification of the parameters of the stalk lift for the increased height of the cut of plants by the combine. *Vestnik Baranovichskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: tekhnicheskie nauki*. 2015. No 3, pp. 85–89 (in Russ.).
5. Primak V.N. Study of physical and mechanical properties of rice stalks adhesion in the field. Moscow: Dep. v VNIITEISKH. 1983. No 55, pp. 35 (in Russ.).
6. Carev YU.A., Primak V.N., Olejnik D.V. The rationale for the physical model of the emergence of losses in the windrow header ZhRK-5. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya: sb. materialov 5-j nauch.-prakticheskoy konf. v ramkah 15 mezhdun. agroproмыш. vystavki «Interagromash – 2012» 29 фев. – 1 marta [The state and prospects for the development of agricultural engineering: collection of materials of the 5th Scientific and practical conference. In the framework of 15th International agricultural exhibition “Interagromash – 2012” February 29th – March 1st]*. Rostov-na-Donu. 2012, pp. 88–91 (in Russ.).