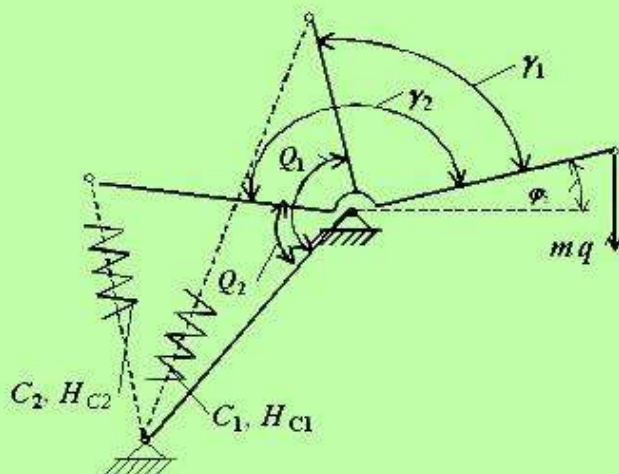


В. В. БЕЛОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ПРУЖИННЫХ МЕХАНИЗМОВ



В.В. БЕЛОВ. Теоретические основы АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ПРУЖИННЫХ МЕХАНИЗМОВ: МОНОГРАФИЯ. – СПБ., 2005. – 354 С.

Под редакцией доктора технических наук, профессора
В.С. Сечкина

В монографии изложен анализ существующих пружинных механизмов подвески с упругими звеньями рабочих органов сельскохозяйственных машин и их методов синтеза.

Изложены теоретические основы нового метода анализа и синтеза упругих характеристик пружинных механизмов подвески, основанные на неизвестных ранее закономерностях, которые могут быть использованы в разных отраслях машиностроения. Материалы дополнены методами оптимизации различных параметров механизма подвески в виде четырехзвенника. Рассмотрены результаты синтеза и исследования различных механизмов подвески исполнительных устройств сельскохозяйственных машин и токоприемников в виде пантографа и нового типа ТПБ.00.00.

Предназначена для студентов, инженеров, конструкторов, научных работников для синтеза, анализа и проведения исследований пружинных механизмов подвески различных рабочих органов в машиностроении.

Рецензенты:

Член–корреспондент Россельхозакадемии,
доктор технических наук, профессор В.Д. Попов,
доктор технических наук А.М. Валге

С благодарностью
Отцу и Матери

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей посевных, уборочных и многих других сельскохозяйственных машин является автоматическое поддержание заданных технологических параметров. Это достигается во многих случаях за счет использования различных механизмов подвески и созданием соответствующих усилий на исполнительные устройства.

Рабочие органы соединяются с рамой несущей машины посредством механизма подвески, который содержит упругое звено. Из всего многообразия этих устройств наибольшее распространение имеют механизмы подвески с цилиндрическими пружинами кручения, которые относятся, по принципу действия, к автоматическим системам прямого действия. Бесспорно, что автоматические устройства по принципу прямого действия наиболее эффективны по сравнению с остальными.

От характеристик механизма подвески рабочих органов и поддержания заданных характеристик зависит не только уровень качества выполнения технологического процесса, но и уровень вибрации машины, ее ресурс, технологическая надежность, точность выполнения процесса, условия жизнедеятельности обслуживающего персонала, уровень производительности труда.

Упругие характеристики механизмов могут быть как линейными, так и нелинейными, и зависят не только от жесткости пружины, но и от конструктивных параметров самого механизма подвески. При нелинейности упругих характеристик механические системы рекомендуется оценить несколькими показателями.

Синтез проводят в предположении линейности упругих характеристик механизмов подвески с упругими звеньями. При синтезе считают, что основное влияние на упругую характеристику и качество копирования оказывает жесткость пружины. Однако, как показывает эксплуатационная практика и экспериментальные исследования, механизмы, разработанные подобным образом, чаще всего имеют характеристики, отличающиеся от требований, и работают не всегда удовлетворительно, нарушая порой весь технологический процесс. Эти обстоятельства приво-

дят к невосполнимым потерям в процессе возделывания сельскохозяйственных культур.

Ввиду возросших рабочих скоростей движения сельскохозяйственных машин проблема синтеза и оптимизации механизмов подвески приобретает особую значимость. Повышение качественных показателей работы механизмов подвески рабочих органов имеет технический, технологический, экономический и социальный аспект.

Решением задачи синтеза пружинного механизма подвески с безразличным положением равновесия занимаются более ста лет.

Поэтому актуальной проблемой остается исследование упругих характеристик и колебаний, наблюдаемых в различных системах пружинных механизмов подвески с исполнительными устройствами.

Представленная работа является обобщением и развитием многолетних исследований автора в области теории и методики синтеза пружинных механизмов подвески в различных положениях равновесия. Разработанные теоретические и методические основы анализа и синтеза пружинных механизмов подвески могут быть использованы в разных отраслях машиностроения при проектировании разных механизмов исполнительных устройств.

В теоретических исследованиях использовались положения и методы аналитической механики, аналитической геометрии, теории приближения, теории функций наименее уклоняющихся от нуля, а также численные методы анализа и математического программирования. С помощью этих методов могут быть проверены, получены и повторены все рассматриваемые результаты исследований пружинных механизмов подвески.

Объектами исследования являлись механизмы подвески сельскохозяйственных машин, их рабочие органы, условия их функционирования, агротехнические требования к выполнению технологических процессов, показатели качества выполнения работ, а также аналогичные механизмы подвески в других отраслях машиностроения, например, механизмы подвески различных токоприёмников наземного электроподвижного состава, их упругие характеристики, условия эксплуатации, требования к токосъёму и другим показателям работы.

Разработан новый оригинальный аналитический метод син-

1. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ

теза механизмов подвески с упругими звеньями с устойчивым, неустойчивым и безразличным положениями равновесия. Выведенные аналитические зависимости по заданным параметрам подвески и требованиям к упругой характеристике позволяют:

- ✓ изучить потенциальные характеристики имеющихся механизмов подвески (патенты 1559453, 2199449);
- ✓ синтезировать механизмы подвески с постоянной нагрузкой на исполнительные звенья (патент 1727542);
- ✓ синтезировать новые конструктивные решения механизма подвески с веерным расположением пружин (патент 1798956);
- ✓ синтезировать адаптируемые подвески в зависимости от изменения жесткости пружины и нагрузки на выходное звено (патент 1798957);
- ✓ синтезировать механизм подвески с регулируемым радиусом кривошипа с одновременным изменением угла между рычагами приложения внешней нагрузки и сил пружины (патент №2235650).

В работе представлены материалы по разработанным и исследованным совместно с Чувашской ГСХА механизмам подвески исполнительных устройств, которые обеспечивают стабильность или постоянство создаваемых усилий в заданной зоне перемещений рабочего органа. Также представлены синтез и результаты исследований токоприемников в виде пантографа и нового типа ТПБ.00.00. В качестве примеров по синтезу упругих и других характеристик механизмов приведены реальные данные различных устройств.

Автор выражает глубокую благодарность всем, принимавшим участие в создании рассматриваемой работы.

Замечания и пожелания по работе просим направить по адресу:

ОБРАЩАЙТЕСЬ на адрес:

E-Mail: [Belov-VV @ yandex.ru](mailto:Belov-VV@yandex.ru)

Д.т.н., проф.

Белову Валерию Васильевичу

Будем рады сотрудничеству по модернизации
и разработке различных механизмов.

1. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ

1.1. Требования к условиям и качественным показателям работы машин

Еще в середине 19 века при описании различных земледельческих машин Г.В. Фирстов отмечал: “Прежде, нежели станем серьезно думать об улучшениях, постараемся внимательно изучить то, что хотим улучшить” [1]. В то же время он рекомендует провести анализ работы машин исходя из принципа и условий работы, а также экономических начал и соответствующих условий эксплуатации машин.

Как отмечал основоположник земледельческой механики В.П. Горячкин, “Особое внимание заслуживают характеристики условий испытаний - рельеф поверхности, состояние растений и сорняков, характеристики материалов для испытаний с точки зрения их физико-механических свойств (влажность, удельный и абсолютный вес, размеры, коэффициенты трения, прочность, механический состав почвы)”.

Перечисленные факторы существенно влияют на показатели качества работы сельхозмашин: для почвообрабатывающих – на равномерность глубины; посевных и посадочных – равномерность распределения по горизонтали и глубины заделки семян; по уходу и защите растений – качество междурядной обработки, опрыскивания, глубины подкормки; уборочных – высоту среза, глубину подкапывания и т.д. [2].

Указанные факторы являются случайными процессами [3], характеризующимися статистическими характеристиками, и их нельзя описать каким-либо аналитическим выражением в виде закономерности их изменения. Они вообще не поддаются аналитическому описанию. Поэтому решения задач, связанных со случайными процессами, носят сугубо условный характер [3].

Многие из условий работы агрегатов накладывают ограничения на конструктивные исполнения и различные эксплуатационные показатели работы сельскохозяйственных агрегатов. Например, плотность, влажность почвы влияют на допустимое удельное давление копирующих устройств на почву: изменение микрорельефа поверхности поля “навязывает” ограничения на

рабочий ход механизма подвески (МП) относительно рамы машины.

Известные механизмы подвески (МП) рабочих органов могут обеспечить наиболее оптимальные соотношения технологических параметров в ограниченном рабочем диапазоне хода. С другой стороны, вследствие особенностей МП и их упругих характеристик в агротехнических требованиях (АТТ) вводят также ограничения на различные эксплуатационные условия. Например, ограничивают предел изменения микрорельефа поля, так как при значительном изменении высоты неровностей существующие исполнительные устройства рабочих органов не всегда позволяют получить качество выполняемой работы.

Ниже рассматриваются положения из АТТ, которые связаны с пружинными МП рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Урожайность массы для разных культур колеблется в довольно широком диапазоне от 1 до 10 кг/м (от 50 до 800 ц/га) [4, ..., 25], что также создает дополнительный перепад нагрузки на исполнительные устройства и МП.

Удельное давление между плющильными вальцами рекомендуется регулировать за счет пружин в пределах до 60 Н/см длины вальца [6, 8, 15, 25], а часть авторов рекомендуют 10...50 Н/см на длину вальца, а максимальное усилие не должно превышать 100 Н/см [15].

Также имеется указание, что чрезмерное усилие снижает пропускную способность машины и повышает повреждаемость стеблей [25]. Как видно, даже по плющильному вальцу нет единого мнения, а если допустить, что эти машины работают на одном и том же поле и убирают одну и ту же культуру, тогда какая же регулировка будет рекомендована по перечисленным параметрам? (табл. 1.1).

Во время работы пресс-подборщиков ПС -1,6 расстояние между пальцами и поверхностью почвы должно быть 1...2 см. При большем зазоре плохо захватываются нижние стебли полевого валка, при меньшем - подборщик часто прижимается к почве, растет опасность его поломки, загрязнения массы почвой, пальцы отгибаются назад и валок заклинивается под подборщи-

ком, останавливая его, сгруживается и одновременно теряется под скастами, в результате растут потери сена и падает производительность агрегата [12, 13].

Таблица 1.1. Агротехнические требования к уборочным машинам при выполнении техпроцесса [4, ..., 22]

Показатели	Зерно-уборочные комбайны	Кормо-уборочные комбайны	Подборщики	Косилки	Самоходные косилки - флюжильки
1	2	3	4	5	6
Рабочая скорость, км/ч На полеглых участках	до 18,0 до 10,0	4,5 ... 5,0	9,0		12,0
Потери при скашивании, % Для полеглых	< 1,0 < 1,5		< 2,0 < 3,0	< 2,0	< 3,0 < 2,0
Заминание травы		Нет	Нет	Нет	Нет
Высота среза, см Минимальная	1...30 или 5 ...18 5	< 8 5 ... 12		< 6,0 3...10	5
Примеси почвы	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Влажность массы, %		50 ... 70 или 85	50 ...70 или 18...30		60 ... 80
Мощность валка, кг/пог.м		5 ... 6 800 ц/га	1 ... 10 или 5...6	250 ц/га	300 ц/га
Микрорельеф, см	±18,0		±5...10	±5...1 0	±5...15
Плотность почвы в слое 0...10 см			5 ... 40 кг/см ³		
Влажность			20 ... 35		

1. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ

1	2	3	4	5	6
почвы, % 0...5 см 0...10 см			или 45 ... 75	5 ... 20	
Глубина следа башмака, см			< 3,0 или <2,0		< 3,0
Диапазон копирования, см			±20		

Для нормальной работы колесно-пальцевые грабли ГВК–6 регулируют так, чтобы пальцы колес не зарывались в почву. Изгиб пальцев рабочего колеса возникает из-за большого давления колес на почву вследствие неправильной регулировки натяжения пружин [14].

Принципиально другие требования по агротехническим требованиям предъявляются на сеялки серии СЗ. Высота гребней и глубина борозд должны быть не более 4 см. Конструкция механизма навески и заглубления сошников должна обеспечивать групповое и индивидуальное заглубление сошника, регулирование коэффициента жесткости механизма навески и заглубления сошников должно находиться в пределах от 0,6 до 2,1 кН/м с интервалом 0,1 кН/м [7].

В сельскохозяйственных машинах встречается значительное разнообразие МП рабочих органов, которые отличаются друг от друга числом пружин, их жесткостью, назначением, упругими характеристиками и многими другими особенностями. Различные варианты исполнения уравнивающих механизмов и их настроечные характеристики по нагрузке на копирующее устройство представлены в таблицах 1.1, 1.2, 1.3, 1.4.

Встречается разновариантность исполнения конструкций блоков пружин в МП. Они могут быть из двух и более пружин, причем встречаются так называемые двойные пружины, т.е. в одной пружине внутри размещается вторая пружина, которая отлична от первой жесткостью. Такой вариант исполнения МП можно встретить на зерноуборочном комбайне “Нива” [16], характеристика которой представлена в таблице 1.2. На комбайнах

“ДОН” и “Ротор” в МП жатки с правой стороны 3 , а с левой - 5 пружин [17, 18].

В зависимости от применяемого сменного рабочего органа изменяется и нагрузка на пружинный МП. Например: масса жатки Е-025 для кошения трав равна 1365 кг; Е - 023 (для кошения трав) - 1235 кг; Е-309 (для кошения зерновых) - 1540 кг и валко-оборачивателя Е-318 (850 кг) [21]. Одновременно натяжение компенсационных пружин рекомендуется регулировать так, чтобы на башмаки была нагрузка в зависимости от состояния поля 250...300 Н на каждый башмак. Аналогичные требования и рекомендации даются по кормоуборочному комбайну “Марал” [26].

Таблица 1.2. **Количество пружин в блоке МП жаток зерноуборочных комбайнов**

Ширина захвата жатки, м	Количество пружин в блоке		
	Левая сторона		Правая сторона
	одинарных	двойных	одинарных
4,1	3	-	2
5,0	-	3	3
6,0	-	3	3

Возможность получения одной и той же упругой характеристики при навешивании различных рабочих органов с разной массой без изменения приведенной жесткости МП [21, 22] вызывает сомнения (табл. 1.4, характеристики Е - 280, Е - 301, 303).

Другой вариант компоновки пружин в зависимости от массы сменного рабочего органа имеет отечественная машина КСК – 100МА. Количество пружин на МП устанавливают в соответствии с рекомендациями таблицы 1.3.

При смене рабочего органа, который имеет другую массу, в отечественных машинах предусмотрено изменение количества пружин МП (табл. 1.1, 1.3), а также в АТТ имеются требования по настройке жесткости подвески, например, по зерновым сеялкам [7], и т.п., а на зарубежных машинах это обстоятельство не учтено.

Также отметим особенности настройки механизма натяжения ремня. В первые 10 мото-ч работы комбайна рекомендуется

1. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ

натягивать ремни через каждый час, в последующих 30...40 мото - ч работы - один раз в день и далее по мере их ослабления [19].

Таблица 1.3. **Число пружин МП в зависимости от сменного рабочего органа КСК – 100МА [61]**

Рабочий орган	Число пружин сменного рабочего органа, установленного	
	слева	справа
Подборщик	1*	2
Жатка для уборки трав	3	4
Жатка для уборки кукурузы	3	5
* - Длина стяжки 310 мм (длина остальных стяжек 193 мм)		

Приведенные данные в табл. 1.4 показывают, что величина давления копирующих устройств на почву колеблется довольно в широком диапазоне от 5...8 до 1200...1500 Н.

Таблица 1.4. **Величина нагрузки на копирующие устройства сельхозмашин**

№, п/п	Марка машины	Особые условия, тип почвы	Место приложения нагрузки	Нагрузка, Н	Литература
1	2	3	4	5	6
1	КДП - 4,0 (аналог КС - 2,1)	-	внутренний наружный	250 ...350 30 ...150	[10]
2	КС - 2,6	-	делитель	300 ...500	[10]
3	Валковые жатки*	-	делитель	250 ...350	[11]
4	ППУ - 0,5	-	делитель	200	[12]
5	ПС - 1,6**	в начале подъема	успокоитель	200	[13]
6	ПРП - 1,6	в начале подъема	успокоитель	200	[13]
7	КС - 2,1	-	внутренний	250 ...350	[14]
		-	наружный	80 ... 150	

1	2	3	4	5	6
8	ГВК - 6,0	на твердой почве на мягкой почве в момент отрыва от почвы	внутренний наружный внутренний наружный по рабочим колесам	180 ...220 15 ...20 30 ... 50 5 ... 8 30 ...80 через 10 Н	[14]
9	КРН - 2,1	-	внутренний наружный	270 ... 700 100 ...200	[14]
10	КПРН - 3,0	в начале подъема	заламывающий брус	600 ...650	[15]
11	КПС - 5Г	мягкая твердая	заламывающий брус	900...120 0 1200..1500	[15]
12	ПК - 1,6	-	успокоитель	120 ...150	[15]
13	ПТН - 4,0	-	успокоитель	50 ... 100	[15]
14	КУФ - 1,8	-	делитель	120 ...150	[15]
15	КСК - 100	-	заламывающий брус	300 ...500	[15]
16	КС - 1,8 “Вихрь”	мягкая твердая	делитель	300 ...400 400 ...500	[15]
17	КС - 2,1	-	внутренние наружные	250...350 80 ...150	[19]
18	КПС - 5Г	-	заламывающий брус	300	[19]
19	Подборщик - транспортёр	в начале подъема	труба успокоителя	250	[19]
20	КУФ - 1,8	в начале подъема	делитель	150 ...200	[19]
21	КС - 1,8 “Вихрь”	в начале подъема	делитель	300 ...500	[19]
22	Е 280, (Е 281) с жаткой, с подборщиком	-	башмак	250 ...300	[20] [26]

1. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ

1	2	3	4	5	6
23	Е - 301, 303	-	башмак	250 ...300	[21]
		слабонесу- щая		100 ...150	[22]
24	КРН - 2,1	-	внутренние наружные	270 ...700 100 ...300	[24]
25	КПРН - 3,0	в начале подъема	заламывающий брус	650 ...700	[25]
26	СК – 5М	в начале подъема слабонесу- щая	на носке делителя	250 ...300	[27] ,
				100 ...150	[15]
27	Дон-1500	в начале подъема	на носке делителя	300 ...400	[27]

Примечания: * - нагрузка определяется в начале подъема с момента отрыва от поверхности почвы и до 10 см по мере подъема; ** - нагрузка определяется в момент отрыва копирующих устройств от поверхности почвы.

В литературе встречаются рекомендации по ограничению величины удельного давления, создаваемого башмаками. Оно должно быть не более 30 кПа [6]. Технические характеристики МП косилок показывают, что КС-2,1 имеет общую массу 250 кг, а масса режущей части, которая уравновешена пружинным механизмом, - 65 кг, соответственно для КРН-2,1 - 570 и 250 кг, а для КПРН-3,0 - 1550 и около 600 кг.

Сравнение характеристик режущих аппаратов показывает, что валковые жатки оказывают нажатие (давление) на поверхность почвы в пределах 25...35 кгс (кгс/башмак), а аналогичные по массе уравновешенной части жатки для скашивания трав на кормоуборочных машинах КПС-5Г - до 150 кгс. Полозки у КПРН-3,0 оказывают нажатие на поверхность почвы - 65...70 кгс и более, хотя масса уравновешенной части на порядок меньше.

Сравнение упругих характеристик МП для КС-2,1 (нажатие на поверхность почвы внутреннего башмака 25...35 кгс) в сравнении с МП валковых жаток вызывает вопрос, почему при разных

уравновешенных массах, отличающихся друг от друга на два порядка, одинаковые настраиваемые нагрузки копирующих устройств?!

Аналогично можно сравнить КРН-2,1, которая создает нагрузку на копирующее устройство для внутреннего башмака 65...70 кгс и более, хотя имеет массу рабочего органа, навешенного на МП, на порядок ниже, чем масса валковых жаток или жатки для скашивания трав на КСК –100МА, которая создает нагрузку от 30 до 50 кгс.

Сравнивая создаваемые нагрузки косилки КРН-2,1 на внутренний и наружный копирующие башмаки с создаваемыми нагрузками косилки КС-2,1 отметим особенность МП. В одном случае (КРН-2,1) нагрузка на внутренний башмак больше, чем на наружный, хотя имеет два блока пружин, которые предназначены для индивидуальной настройки нагрузки на башмаки. Во втором случае аналогичные результаты получаются одной и той же пружиной. С другой стороны, суммарная нагрузка на почву составляет $35+15=50$ кг (КС-2,1), а масса уравновешенной части - всего 65 кг.

Встречаются противоречия в рекомендациях по настройке МП с упругими звеньями. Часть исследователей при увеличении рабочих скоростей агрегата рекомендует уменьшить нажатие на поверхность почвы копирующими устройствами [14], а другая часть, – с уменьшением нажатия на поверхность почвы копирующими устройствами, рекомендует соответственно уменьшить и рабочую скорость агрегата [21, 22]. При уборке низкоурожайных культур исследователи рекомендуют натяжение пружин увеличить, т.е. уменьшить нажатие башмаков на поверхность почвы.

Даже при настройке МП одной и той же машины исследователи рекомендуют различную величину нагрузки на копирующие устройства в зависимости от рабочей скорости (табл. 1.4), порой встречаются диаметрально противоположные рекомендации.

Нагрузка, создаваемая копирующими устройствами, определяется в основном в начале подъема рабочего органа, а при дальнейшем подъеме величина нагрузки значительно возрастает, во многих случаях в 2...3 раза и более по сравнению с минималь-

но установленной нагрузкой. Поэтому указанные данные в табл. 1.4 не в полной мере определяют упругие характеристики МП. При изменении высоты расположения рабочего органа создаваемые нагрузки исполнительных устройств (например, копирующие устройства), навешенных на МП с упругими звеньями, качественные показатели работы машины изменяются.

Эти обстоятельства поясняются тем, что предыдущая обработка влияет на качество выполнения последующих работ, например, по подготовке почвы, посеву, уходу за растениями, а также природно-климатические особенности, ландшафт участка, погодные условия (выпадение осадков, переувлажнение почвы к моменту выполняемых работ).

Чем же объяснить такое расхождение мнений и рекомендаций при использовании пружинных механизмов в качестве МП рабочих органов сельскохозяйственных машин? Очевидно, такое разногласие возникает из-за разных характеристик МП рабочих органов сельскохозяйственных машин, их несовершенства и из-за отсутствия стройной теории и методики синтеза МП.

Северо-западная зона характеризуется тем, что более 50 % сельскохозяйственных угодий имеют засоренность камнями [28, 29]. Поэтому машины, работающие на каменистых почвах, должны иметь предохранительные устройства, которые в основном выполнены в виде пружинных механизмов. Неадекватность внешних условий, сопутствующих при работе различных рабочих органов, приводит к снижению качества работы различных сельскохозяйственных машин.

Неровности поверхности поля влияют на качественные показатели работы всех сельскохозяйственных агрегатов. Вклад процесса неровностей рельефа в изменчивость интервалов между семенами в рядке при посеве составляет около 20 % [30]. Из-за изменения глубины посева значительно снижается урожайность сельскохозяйственных культур [31, 32, 33]. Исследованиями установлено, что отклонение глубины посева от заданной приводит к снижению урожайности зерновых культур на 10 ... 15% [33, 34, 35].

Основным показателем качества сенокосения также является высота стерни, поскольку от этого зависит количество соб-

ранного урожая. Влияние высоты скашивания на потери сена [36] показано на рис. 1.1. Качественные показатели изменяются также при увеличении поступательных скоростей движения силосоуборочных машин см. табл. 1.5.

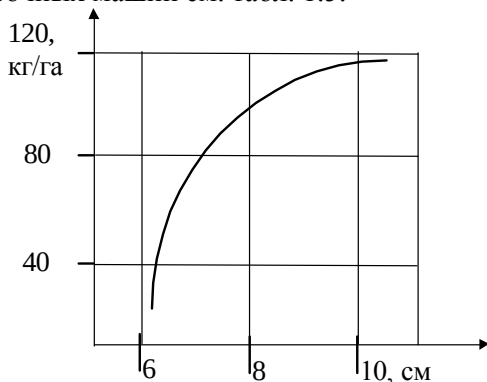


Рис. 1.1. Зависимость потерь урожая от высоты скашивания травостоя

Снижение качественных показателей работы, очевидно, объясняется недостаточной способностью копирования рельефа поля рабочим органом. С другой стороны, также надо отметить, что качественные показатели работы машины зависят не только от технических возможностей, а также от физиологических возможностей человека, его физического состояния, возраста, опыта работы.

Человек не может реагировать на звук ранее 0,12 ... 0,18 с [37], на изменение температуры - 0,15 ... 0,24 с, на боль 0,4 ... 1,0 с, на зрительное раздражение - 0,15 ... 0,22 с. Ограничены и динамические свойства человека - оператора. Количество движений человека руками без нагрузки составляет 5 в секунду, предплечьем - 8 раз. Реакция оператора машины зависит от индивидуальных особенностей человека и может достигнуть до 1,5 с и более. За это время путь движения машины при скорости 5 км/ч составит свыше 2 м.

Если учесть, что кроме реакции оператору необходимо затратить время на включение органа управления, то с учетом его срабатывания общий путь машины при указанной скорости может увеличиться до 5 м и более.

Наибольшее влияние на качественные показатели жатвенных агрегатов оказывает режущий аппарат. Опытами, проведен-

ными в Иллинойском университете США установлено [38], что на долю режущего аппарата приходится свыше 81 % общих потерь зерна за жаткой.

**Таблица 1.5. Изменение качественных показателей работы
силосоуборочных машин в зависимости от поступательной
скорости движения**

Показатели	Рабочая скорость, км/ч		
	5,6	7,1	9,3
Количество качественно срезанных стеблей, %	76,0	56,0	36,0
Высота среза стеблей, см	12,5	16,4	16,8
Средняя длина резки, см	7,0	4,7	15,0
Потери массы, %	3,3	4,0	3,8

Сравнительные испытания в течение 2 лет зерноуборочных комбайнов СК - 5М1 и Мега - 204 модели “Доминатор” фирмы “Клаас” показали следующие результаты [39]. Отклонение высоты среза $\pm 3,0$ см для СК-5М1 и $\pm 10,0$ см – Мега-204. У комбайна Мега - 204 потери в виде срезанных колосьев доходят до 6,1% из-за большой высоты среза, так как автоматическая система, которой оборудованы комбайны “Мега - 204”, не реагирует на малые неровности, а при работе на повышенных скоростях автоматическая система “Автоконтур” недостаточно быстро реагируют на неровности поля. По этой причине колебания высоты среза значительны. Из-за запаздывания срабатывания “Автоконтра” режущий аппарат зачастую “всплывает” на уровень расположения колосьев, что приводит к их срезу и падению перед жаткой. Высота среза в зависимости от рабочей скорости показана на рис. 1.2.

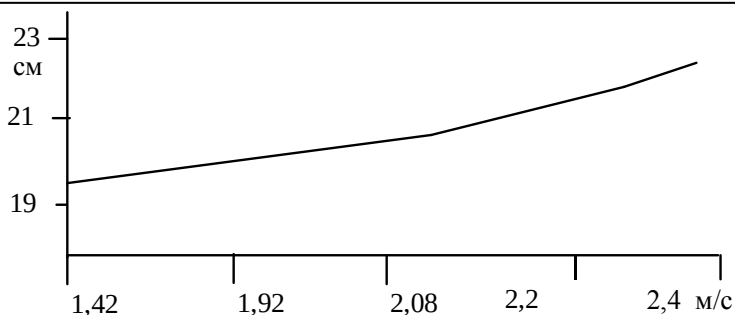


Рис. 1.2. Изменение высоты среза стеблей жаткой комбайна Мега – 204 в зависимости от рабочей скорости

Снижение скорости движения приводит к повышению качества копирования рельефа поля. Как отмечают авторы [39], высота среза за комбайнами “Нива”, оборудованными опорными механизмами копирования, была более равномерной, а увеличение скорости ограничивалось мощностью двигателя. На аналогичном агрофоне при одинаковых рабочих скоростях комбайны “Дон-1500” характеризовались более выровненной высотой среза. Однако при рабочей скорости более 1,7 м/с у комбайна “Дон-1500” наблюдались задевание и захват почвы режущим аппаратом жатки.

Приведенный анализ систем копирования зерноуборочных комбайнов показывает, что обе системы не в полной мере обеспечивают качество работы. Захват почвы на комбайне “Дон-1500” наблюдается, очевидно, из-за превышения нагрузки на копирующие башмаки жатки, что приводит к сминанию части неровностей. Увеличенные потери за комбайном “Мега - 204” объясняются запаздыванием автоматической системы копирования рельефа поля, что рассмотрено выше.

Существенное влияние на потери зерна за жаткой оказывает высота среза. Если высота среза больше допустимого (допустимая высота среза 20 см), значительно увеличиваются потери колосьев. Влияние высоты среза на потери за жаткой видно также из следующих данных: при уборке полеглой ржи повышение высоты среза с 18 до 28 см увеличивает потери зерна за жаткой с 19 до 56 кг/га [27, 40]. Даже незначительное повышение высоты

среза при уборке низкорослого ячменя вызывает заметное возрастание потерь: если при высоте среза 18 см потери составили 37 кг/га, то при 22 см – уже 50 кг/га. При увеличении высоты среза пшеницы с 17 до 21 см потери возрастают от 50 до 112 кг/га [27, 40].

В процессе работы зерноуборочных комбайнов вследствие изменения давления копирующих башмаков на почву происходит отклонение высоты среза от заданной из-за частичного продавливания башмаков в почву или же “всплывания” жатки. Очевидно, это вызвано тем, что имеющиеся МП жаток не имеют постоянного нажатия на поверхность почвы копирующими устройствами в рабочей зоне перемещений режущего аппарата. Также надо отметить, что изменение нажатия на поверхность почвы копирующих башмаков вызывает и изменение рабочей зоны перемещений МП относительно рамы машины.

В некоторых случаях механические потери корма при скашивании для кормоуборочных машин, зависящие от высоты среза травостоя, представляют в виде степенной функции [36]. Также отмечается, что высота среза зависит от конструкции срезающего аппарата, рельефа и засоренности камнями поля. Как видно из неравенства, потери при колебании высоты скашивания из-за низкого качества копирования могут быть значительными, о чем также свидетельствуют вышеприведенные графические зависимости.

На основе исследований [41, 42, 43, 44, 45, 46] установлено, что качество работы капустоуборочных машин в значительной степени зависит от копирующих способностей их рабочими органами рельефа поля. Наибольшее влияние на качество работы капустоуборочных машин оказывают колебания высоты гребней и колебания самой машины [41, 43, 45, 46].

С целью обеспечения качественного копирования используются различные МП рабочих органов. На отечественных и зарубежных капустоуборочных машинах используются опорные колеса [41] с ручным или автоматическим управлением. При работе в реальных условиях такой принцип подвески рабочих органов машин не всегда эффективен, так как предъявляет жесткие требования (± 3 см) на изменение высоты гребня [47]. Вследствие

того, что колебания высоты гребня значительны, выше допуска, потери кочанов возрастают от 2,4% до 15% [48].

Ряд исследователей [41, 42] достаточно полно доказали, что для получения высоких качественных показателей функционирования капустоуборочных машин необходимо поддерживать постоянство расположения режущего аппарата относительно поверхности гребня. Очевидно, что качественное копирование рельефа поверхности гребня возможно при обеспечении постоянства нажатия копирующих устройств на поверхность почвы.

МП рабочих органов должны поддерживать определенное положение рабочего органа относительно поверхности почвы по углу наклона, сохраняя одновременно оптимальные соотношения между углом наклона и положением режущих ножей [46], что позволит обеспечить наиболее качественное выполнение работы.

Качественные показатели технологического функционирования сельскохозяйственных машин зависят в основном от упругих характеристик МП различных рабочих органов. Поэтому особенно актуальной становится задача обеспечения высоких качественных показателей работы сельскохозяйственных машин путем синтеза пружинных механизмов и их упругих характеристик с целью снижения потерь при уборке урожая.

1.2. Разновидности механизмов подвески рабочих органов

Отдельно взятую машину можно рассматривать как совокупность различных по назначению и исполнению механизмов. Для многих из них при выполнении технологического процесса предъявляются требования поддержания какого-либо технологического параметра в строго заданном диапазоне. Для машин, рабочие органы которых взаимодействуют с почвой, одной из основных задач (требований) является копирование рельефа поля.

Подавляющее большинство исследователей занимались вопросом обеспечения постоянства глубины заделки семян. Многие авторы [49,..., 54] отмечают, что на равномерность глубины заделки в основном значительное влияние оказывают параметры МП и жесткость пружины. Также доказано, что МП должен создавать силу нажатия сошника на почву по величине постоянной в

рабочей зоне вертикальных перемещений и обеспечивать горизонтальное положение сошника при колебаниях.

• • • • •

оглавление

	СТР
ВВЕДЕНИЕ	3
I. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ	6
1.1. Требования к условиям и качественным показателям работы машин	6
1.2. Разновидности механизмов подвески рабочих органов	20
1.3. Методы оптимизации пружинных механизмов	29
II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ПРУЖИННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ	41
2.1. Основные понятия и силы, действующие на механическую систему	41
2.2. Основные положения равновесия в механических системах	46
2.3. Основные силы и их характеристики	56
2.3.1. Радиальный механизм подвески	56
2.3.2. Механизмы подвески в виде пантографа	62
2.4. Основы учета характеристик пружин	68
2.4.1 оперативный метод контроля характеристик пружин	68
2.4.2. Основы индивидуального учета характеристик пружин	75
2.5. Основы теории приближения	78
2.6. Теоретические основы синтеза механизмов подвески	84
2.6.1. Синтез радиального механизма подвески	84
2.6.2. Теоретические предпосылки синтеза механизма подвески для общего случая	90
2.6.3. Основы синтеза механизма подвески с веерным расположением пружин	99
2.6.4. Синтез параметров механизма подвески в виде пантографа	106
2.6.5. Теоретические основы синтеза механизма подвески с безразличным положением равновесия	115
2.6.6. Особенности синтеза адаптируемых механизмов подвески	123

2.6.7. Основы синтеза механизма подвески с крестообразным расположением пружин	125
2.7. Определение минимальной нагрузки на исполнительное устройство сельхозмашин	132
2.8. Пути снижения колебаний системы механизм подвески и рабочий орган	136
2.9. Методические основы выбора положения рабочей зоны механизма подвески	153
2.10. Синтез параметров механизма подвески в виде четырехзвенника	160
2.11. Синтез параметров привода в виде четырехзвенника	167
2.11.1. Определение степени ослабления пружины	167
2.11.2. Основы синтеза параметров механизма привода	171
2.12. Синтез схемы расположения регулировочных отверстий	182
2.13. Дифференциальное уравнение движения рабочего органа капустоуборочной машины	189
III. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАШИН	198
IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	213
4.1. Характеристики сил, действующих на механизм подвески	213
4.2. Влияние угла γ на упругую характеристику механизма подвески	219
4.3. Результаты исследований приведенной жесткости мп радиального типа	226
4.4. Результаты исследований механизма подвески методом индивидуального учета характеристик пружин	232
4.5. Результаты исследований механизмов подвески кормоуборочных машин	240
4.5.1. Исследование механизма подвески Косилки крн–2,1	240
4.5.2. Результаты исследования механизма подвески однобрусной косилки кс – 2,1	244
4.5.3. Результаты исследований механизма подвески подборщиков	248
4.5.4. Результаты исследования механизма подвески косилки – плющилки кпп-4,2	253
4.6. Анализ исследований характеристик пружин на стенде оперативного контроля	257

1. ПРОБЛЕМА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ ПОДВЕСКИ

4.7. Результаты исследования математических моделей	265
4.7.1. Исследование функции приведенной свободной длины пружины	265
4.7.2. Пружинный механизм подвески с безразличным положением равновесия	269
4.7.3. Адаптируемый механизм подвески радиального типа	281
4.7.4. Механизм подъема и опускания токоприемника тпб.00.00	287
4.8. Исследование механизма подвески в виде пантографа	293
4.8.1. Анализ упругих характеристик	293
4.8.2. Анализ результатов использования метода индивидуального учета характеристик пружин	301
4.9. Результаты исследования механизма подвески с крестообразным расположением упругих звеньев	308
4.10. Влияние положения рычага приложения внешних сил на результирующую нагрузку	311
4.11. Влияние соотношений длин звеньев четырехзвенника на характеристики механизма подвески	318
4.12. Результаты исследований системы механизма подвески в динамике	324
Общие выводы и рекомендации	331
Литература	337

Обращайтесь, поможем

Замечания и пожелания по работе просим направить по адресу:

ОБРАЩАЙТЕСЬ на адрес:

E-Mail: [Belov-VV @ yandex.ru](mailto:Belov-VV@yandex.ru)

Д.т.н., проф.

Белову Валерию Васильевичу

Будем рады сотрудничеству по модернизации
и разработке различных механизмов.