

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ЗАГОТОВКЕ КОРМОВ С УПЛОТНЕНИЕМDETERMINATION OF THE RECOVERY FACTOR
OF PLANT MATERIAL WHEN HARVESTING FORAGE WITH COMPACTION

Ключевые слова: заготовка кормов с уплотнением, деформация растительных материалов, релаксация напряжений, коэффициент восстановления растительного материала, прессование кормов, плющение трав, рекондиционирование, силосование кормов, заготовка сенажа.

Заготовка растительных кормов с уплотнением получила широкое распространение. Процессы уплотнения имеют место при силосовании и сенажировании растительной массы в траншейных хранилищах, при формировании рулонов и тюков, брикетировании и гранулировании кормов. Характер протекания этих процессов и основные факторы, влияющие на деформацию материала и его релаксацию, являются важными характеристиками качества производимых стебельчатых кормов. В работе отмечается, что при уплотнении растительной массы проявляются два вида деформаций. Для первого вида характерно протекание процесса медленнее, чем происходит релаксация материала. Деформации второго вида протекают быстрее процесса релаксации и способствуют накоплению в материале энергии. Анализ данного явления показывает, что с возрастанием скорости деформации наблюдается и увеличение нерассеянной энергии, а сам процесс рассеивания пропорционален величине энергии. Авторами разработана экспериментальная установка, проведены лабораторные исследования и определены коэффициенты восстановления растительного материала, убираемого кормоуборочными машинами, оснащенными роликовыми прижимами или цилиндрическими отражателями. Это обеспечивает равномерную подачу массы от механизмов подбора в зону прессования и плющения, повышает производительность машин и способствует более качественному протеканию процессов уплотнения кормов. Установлено, что коэффициент восстановления исследуемых образцов меньше единицы и зависит от материала, из которого выполнены рабочие органы машин. Исследование процессов восстановления стебельчатой массы при заготовке кормов с уплотнением имеет практическое значение при проектировании новых моделей пресс-подборщиков, формирующих прямоугольные и цилиндрические паковки корма, пресс-упаковщиков для закладки измельченной

кормовой массы в крупногабаритные полимерные рукава, а также косилок-плющилок и машин для рекондиционирования растительных материалов.

Keywords: forage harvesting with compaction, plant material deformation, stress relaxation, plant material recovery coefficient, forage compaction, grass squashing, reconditioning, ensilaging, haylage making.

Forage harvesting with compaction has become widespread. Compaction processes take place during silage and haylage conservation in trenches, at rolling and baling, and during feed briquetting and pelleting. The nature of these processes and the main factors affecting the deformation of the material and its relaxation are important characteristics of the quality of stalky forages produced. It is pointed out that when the plant material is compacted, two types of deformations occur. For the first type, the process proceeds slower than the relaxation of the material. The deformation of the second type proceeds faster than the relaxation process, and contribute to the accumulation of energy in the material. The analysis of this phenomenon shows that with increasing deformation rate, increased undissipated energy is also observed, and the dissipation process itself is proportional to the value of the energy. The authors have developed an experimental setup, conducted laboratory studies and determined the recovery factors of plant material removed by forage harvesters equipped with roller clamps or cylindrical reflectors. This ensures a uniform supply of herbage from the pick-up mechanisms to the pressing and conditioning zone, and increases the output of the machines and contributes to a better flow of the forage compaction processes. It was found that the recovery factor of the samples under study was less than one and depended on the material from which the working tools of the machines were made. The investigation of the processes of stalky herbage recovery during forage harvesting with compaction is of practical importance in the design of new models of balers that form rectangular and cylindrical forage packages, press packers for placing the crushed forage material in large-sized polymer sleeves, as well as mower-conditioners and machines for reconditioning of plant materials.

Стречень Марат Владимирович, специалист по подготовке персонала, ООО «ВЕЛМАШ-С», г. Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация, e-mail: smav67@rambler.ru.

Strechen Marat Vladimirovich, personnel training specialist, ООО "VELMASH-S", Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation, e-mail: smav67@rambler.ru.

Кокунова Ирина Владимировна, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, г. Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация, e-mail: i.kokunova@yandex.ru.

Пушкарев Анатолий Анатольевич, магистрант, ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, г. Великие Луки, Псковская обл., Российская Федерация, e-mail: an.puschnoy@yandex.ru.

Kokunova Irina Vladimirovna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Velikie Luki State Agricultural Academy, Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation, e-mail: i.kokunova@yandex.ru.

Pushkarev Anatoly Anatolevich, master's degree student, Velikie Luki State Agricultural Academy, Velikie Luki, Pskov Region, Russian Federation, e-mail: an.puschnoy@yandex.ru.

Введение

Интенсификация отрасли животноводства предъявляет все более высокие требования к кормовой базе сельскохозяйственных предприятий, качеству и себестоимости заготавливаемых кормов. Полноценное кормление является одним из важнейших факторов, который способствует проведению успешной племенной работы и служит основой для повышения продуктивности сельскохозяйственных животных, совершенствования существующих и выведения новых пород и типов [1]. Это, в свою очередь, повышает и требования к техническим средствам, обеспечивающим процесс кормозаготовки. Создание новых машин и модернизация существующей кормозаготовительной техники основываются сегодня на широких научных исследованиях, проводимых как профильными лабораториями научно-исследовательских центров, так и учеными высших учебных заведений агроинженерного профиля [2].

Процессы уплотнения растительных материалов при заготовке кормов широко применяются в мировой практике. Они осуществляются при реализации различных кормозаготовительных технологий: при силосовании и сенажировании измельченной растительной массы в траншейных хранилищах, формировании рулонов и тюков, брикетировании и гранулировании кормов [3-5]. Многолетний опыт работы свидетельствует о том, что характер и скорость протекания этих процессов зависят от целого ряда различных факторов, в том числе от величины приложенного давления, времени его воздействия на обрабатываемый материал, температуры и влажности растительной массы, начальной плотности материала и др. [6].

Цель исследования – разработка методики для определения коэффициента восстановления растительного материала при заготовке стебельчатых кормов с уплотнением.

Задачи исследования:

- анализ основных факторов, влияющих на деформацию растительных материалов, возни-

кающую в процессе заготовки кормов, и релаксацию напряжений;

- разработка установки и методики экспериментальных исследований для определения коэффициента восстановления растительного материала, убираемого кормоуборочными машинами, оснащенными роликовыми прижимами и цилиндрическими отражателями.

Объекты и методы

Объектами исследования в работе являлись процессы деформации и релаксации напряжений растительного материала, наблюдающиеся при заготовке растительных кормов с уплотнением. В работе применялись аналитические методы исследования, проводилась систематизация основных факторов, оказывающих влияние на характер и скорость протекания этих процессов, а также использовались экспериментальные методы исследования в лабораторных условиях.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследованию процессов уплотнения сенокосомистых материалов посвящено значительное количество работ, опубликованных отечественными и зарубежными учеными. Установлено, что при уплотнении растительной массы в процессе кормозаготовки в ней накапливается энергия упругих деформаций, а после снятия нагрузки наблюдается ее упругое расширение, которое происходит преимущественно в направлении прилагавшегося давления. Профессор В.И. Особов в своих работах отмечает, что после снятия прилагаемого усилия слой растительного материала увеличивается по высоте более чем в 2 раза, а в горизонтальном направлении это увеличение не превышает 3%. Увеличение объема растительной массы наблюдается больше всего в течение первых 15 минут, а в дальнейшем происходит замедление этого процесса [7, 8].

Результаты опытов показывают, что одним из важнейших факторов, влияющим на восста-

новление растительного материала после его деформации, является время, в течение которого образец подвергался давлению, то есть чем больше время воздействия нагрузки на объект, тем меньше происходит его восстановление после разгрузки.

Деформация растительных кормов в процессе их заготовки происходит под действием внешних сил и сопровождается возникновением внутренних связей взаимодействия между отдельными частицами материала [9]. Принято считать, что если под действием внешних сил деформация исследуемого объекта возрастает непрерывно во времени и является необратимой, то это означает, что материал «течет». С учетом этого пластичное течение возникает только тогда, когда воздействующие на материал силы превышают некоторый предел, называемый пределом текучести, а деформация слоя стебельчатых кормов в виде сена, силоса или сенажа происходит при любых нагрузках, то эти корма можно рассматривать как упруго-вязкие материалы [8].

Явления релаксации и ползучести в разной степени характерны для всех материалов и уже достаточно хорошо изучены. Основываясь на теории последствия Людвиг Больцмана, отечественные ученые А.П. Бронский и В.И. Особов [7, 8] предлагают для теоретического рассмотрения влияния времени действия нагрузки на уплотнение растительных материалов использовать данную теорию с некоторыми частными допущениями. Они подразделяют деформацию сено-соломистых материалов на два вида. Для первого вида характерно протекание процесса медленнее, чем происходит релаксация материала. Деформации второго вида протекают быстрее процесса релаксации и способствуют накоплению в материале энергии. Анализ данного явления показывает, что с возрастанием скорости деформации наблюдается и увеличение нерассеянной энергии, а сам процесс рассеивания пропорционален величине энергии.

Исследованиями В.И. Особова установлено, что рассеивание энергии при деформации стебельчатых кормов пропорционально самой энергии, т.е.

$$\frac{dE}{dt} = -\psi E. \quad (1)$$

Проинтегрировав выражение (1) в пределах от 0 до t и от E_0 до E , было получено уравнение рассеивания энергии

$$E = E_0 e^{-\psi t}, \quad (2)$$

где E_0 – энергия, подведенная к исследуемому материалу;

E – нерассеянная потенциальная энергия материала в данный момент времени;

ψ – постоянная, обратная времени, в течение которого энергия E_0 уменьшается в e раз.

На современных кормоуборочных машинах для улучшения подачи растительного материала от механизмов подбора в зону прессования и плющения, увеличения производительности кормоуборочной техники, а также для более качественного выполнения процессов уплотнения растительной массы устанавливаются специальные устройства в виде роликовых прижимов или цилиндрических отражателей. Для изучения взаимодействия этих механизмов с травяной массой необходимо определить коэффициент восстановления материала k после воздействия на него дополнительного усилия.

Основываясь на данных предварительного эксперимента, исследованиях отечественных ученых [4, 7] и с учетом того, что скорость падения растительной массы изменяется в небольших пределах, величину k принимаем зависящей только от материала тел, участвующих в соударении. В качестве предельных случаев будем рассматривать случай абсолютно упругого удара, для которого характерно полное восстановление кинетической энергии исследуемого тела после соударения, а также случай абсолютно неупругого удара, который заканчивается уже в первой стадии и характеризуется полным рассеиванием кинетической энергии тела, которая уходит на его деформацию и нагревание.

Для определения величины k принимаем допущение, что исследуемый растительный материал имеет форму шара и свободно падает на поверхность с предварительно заданной высоты. Высота подъема шара после удара определяется с помощью стоящей рядом вертикальной линейки. Принцип действия экспериментальной установки представлен на рисунке 1.

Экспериментальная установка состоит из сменных опорных плит, изготовленных соответственно из металла и ПВХ, вертикальной линейки и измерительного треугольника. Для определения коэффициента восстановления растительного материала после удара задавались высотой падения образца, предварительно изготовленного в виде шара диаметром 110 ± 5 мм (рис. 2). Влажность исследуемых образцов находилась в диапазоне 50-55%, что соответ-

ствуется требованиям к заготовке сенажа, температура воздуха при проведении эксперимента составляла 21°C.

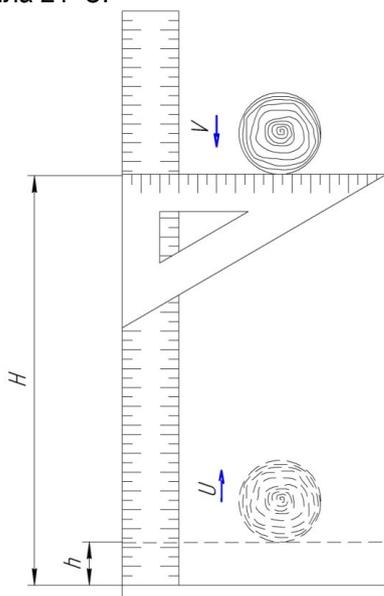


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения коэффициента

восстановления растительного материала

Согласно формуле Галилея имеем

$$k = \frac{u}{v} \tag{3}$$

С учетом того, что $v = \sqrt{2gH}$,

$$u = \sqrt{2gh}, \text{ формула (3) примет вид} \tag{4}$$

$$k = \sqrt{\frac{h}{H}}$$

где u – скорость тела в начале удара, м/с;

u – скорость тела в конце удара, м/с;

H – высота падения тела, м;

h – высота подъема тела после удара, м.

Результаты проведенных исследований сводим в таблицу.

Из полученных в ходе экспериментальных исследований данных следует, что коэффициент восстановления испытуемых образцов растительного материала k значительно меньше единицы и зависит от материала поверхности, на которую он падает.



Рис. 2. Образцы исследуемого растительного материала

Таблица

Значения коэффициента восстановления испытуемого образца растительного материала (клеверо-злаковая смесь)

Масса испытуемого образца, кг	Вид материала			
	ПВХ		сталь	
	высота падения 1 м	высота падения 1,5 м	высота падения 1 м	высота падения 1,5 м
0,13	0,183	0,163	0,158	0,152
0,23	0,200	0,173	0,158	0,020
0,30	0,221	0,210	0,140	0,08

Выводы

В ходе проведения теоретических исследований установлено, при заготовке стебельчатых кормов с уплотнением имеют место два вида деформаций растительного материала. Для первого вида характерно протекание процесса деформаций медленнее, чем происходит релаксация материала. Для деформаций второго вида присуще более быстрое протекание процесса, сопровождаемое накоплением в материале

энергии. Основными факторами, влияющими на характер протекания процессов при уплотнении стебельчатых кормов, являются величина прилагаемого давления и время его воздействия.

Проведенные исследования позволили определить коэффициенты восстановления растительного материала, убираемого кормоуборочными машинами, оснащенными роликовыми прижимами и цилиндрическими отражателями, которые обеспечивают равномерную подачу

массы от механизмов подбора в зону прессования и плющения, повышают производительность уборочных машин и способствуют более качественному протеканию процессов уплотнения кормов. Установлено, что коэффициент восстановления испытуемых образцов корма значительно меньше единицы и зависит в основном от материала, из которого выполнены рабочие органы машин. Изучение процессов восстановления стебельчатой массы при заготовке кормов с уплотнением имеет практическое значение при проектировании новых моделей пресс-подборщиков, формирующих прямоугольные и цилиндрические паковки растительного корма, пресс-упаковщиков для закладки измельченной массы в крупногабаритные полимерные рукава, а также косилок-плющилок и машин для рекондиционирования растительных материалов.

Библиографический список

1. Волгин, В. И. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности / В. И. Волгин, Л. В. Романенко, П. Н. Прохоренко, З. Л. Федорова, Е. А. Корочкина. – Москва: РАН, 2018. – 260 с. – Текст: непосредственный.
2. Кокунова, И. В. К вопросу повышения качества сенажа, заготавливаемого в сложных погодноклиматических условиях / И. В. Кокунова, А. А. Жуков, М. Г. Подчекаев. – Текст: непосредственный // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 1 (142). – С. 51-55.
3. Kokunova I.V., Titenkova O.S. (2016). Foraggio di qualita - la base della produzione di prodotti animali ecologicamente puliti. *Italian Science Review*. 1 (34): 35-37.
4. Иванов, М. В. Совершенствование процесса уплотнения кормов в траншейных хранилищах / М. В. Иванов. – Текст: непосредственный // Молодежь в науке – 2017: сборник материалов международной конференции молодых ученых; в 2 частях. – Минск: ИД «Белорусская наука», 2018. – Часть 1. – С. 225-230.
5. Ли, С. С. Пути повышения качества силоса и сенажа / С. С. Ли, Е. Н. Пшеничникова, Е. А. Кроневальд. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (112). – С. 98-102.
6. Кокунова, И. В. Исследование процесса прессования объемистых кормов в прессовальной камере рулонного пресс-подборщика с частично свободной цепью подачи / И. В. Кокунова, Т. Е. Федорова-Семенова. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (81). – С. 105-107.
7. Особов, В. И. Математическая модель процесса прессования кормов / В. И. Особов, В. Г. Нореико, О. В. Горелов. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 1990. – № 1. – С. 30-32.
8. Особов, В. И. Механическая технология кормов / В. И. Особов. – Москва: Колос. – 344 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Volgin, V.I. Polnotsennoe kormlenie molochnogo skota – osnova realizatsii geneticheskogo potentsiala produktivnosti / V.I. Volgin, L.V. Romanenko, P.N. Prokhorenko, Z.L. Fedorova, E.A. Korochkina. – Moskva: RAN, 2018. – 260 s.
2. Kokunova, I.V. K voprosu povysheniia kachestva senazha, zagotavlivaemogo v slozhnykh pogodno-klimaticheskikh usloviakh / I.V. Kokunova, A.A. Zhukov, M.G. Podchekaev // Vestnik KrasGAU. – 2019. – No. 1 (142). – S. 51-55.
3. Kokunova I.V., Titenkova O.S. (2016). Foraggio di qualita - la base della produzione di prodotti animali ecologicamente puliti. *Italian Science Review*. 1 (34): 35-37.
4. Ivanov, M.V. Sovershenstvovanie protsessu uplotneniia kormov v transheinykh khranilishchakh / M.V. Ivanov // Molodezh v nauke – 2017: sbornik materialov mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh; v 2 chastiakh. – Minsk: ID «Belorusskaia nauka», 2018. – Ch. 1. – S. 225-230.
5. Li, S.S. Puti povysheniia kachestva silosa i senazha / S.S. Li, E.N. Pshenichnikova, E.A. Kronevald // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – No. 2 (112). – S. 98-102.
6. Kokunova, I.V. Issledovanie protsessu pressovaniia obieemistykh kormov v pressovalnoi kamere rulonnogo press-podborshchika s chastichno svobodnoi tsepiu podachi / I.V. Kokunova, T.E. Fedorova-Semenova // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 1 (81). – S. 105-107.
7. Osobov, V.I. Matematicheskaia model protsessu pressovaniia kormov / V.I. Osobov, V.G. Noreiko, O.V. Gorelov // Traktory i selkhoz mashiny. – 1990. – No. 1. – S. 30-32.
8. Osobov, V.I. Mekhanicheskaiia tekhnologiia kormov / V.I. Osobov. – Moskva: Kolos. – 344 s.