

УДК 631.354.2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ НА ДЕФОРМАЦИЮ СОЛОМЫ ПРУТКОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

**В. Ф. Ковалевский,**

*аспирант каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, магистр техн. наук*

**А. В. Ключков,**

*профессор каф. сельскохозяйственных машин БГСХА, докт. техн. наук, профессор*

*В статье приведены экспериментальные исследования по определению действующих усилий на прутки в зависимости от вида соломы. Для проведения опытов разработана переносная установка. Определены основные пределы усилий, действующих на прутки различной длины. Среднее удельное усилие для прутков длиной 300-500 мм находится в пределах 0,019–0,042 Н/мм, а общее усилие по концу прутка по трем видам соломы составляет 0,49–24,53 Н.*

*Ключевые слова: уборка, солома, усилие, деформация, пруток.*

*The article presents experimental studies to determine the effective forces on the rod depending on the straw's type. To conduct experiments a portable installation has been designed. The main outside forces acting on bars of different lengths have been identified. An average unit stress for rods with a length of 300-500 mm is within 0.019–0,042 N/mm, and the total force on the bar end on the three types of straw is 0,49–24,53 N.*

*Keywords: maid, straw, stress, strain, rod.*

### Введение

Уборка незерновой части урожая связана с большими массами обрабатываемого материала и значительными затратами, которые превышают требуемые для уборки зерна. Применяемые машины, в том числе и зерноуборочные комбайны, перемещают и определенным образом деформируют солому, на что расходуется энергия и требуются специальные механические устройства. При этом можно предполагать, что характеристики данного процесса будут зависеть от вида обрабатываемой соломы, характера и степени механического воздействия [1, 2].

Цель настоящего исследования – определение действующих усилий на прутки различной длины в зависимости от вида соломы.

Рассматривая процесс уборки соломы в различных устройствах, можно выделить такой элемент механического воздействия, как деформация определенной массы в процессе смещения на некоторую высоту. Это проявляется при работе соломотряса, соломонабивателей и активаторов различной конструкции, а также при работе подборщиков и машин для дальнейшего использования соломы в животноводстве и на другие цели [3, 4]. Данный процесс может быть выделен в качестве базового и заслуживает более детального изучения.

Исследованию процесса деформации растительных материалов, включая солому, посвящено достаточно работ [5, 6]. При этом рассматривались различные характеристики, включая действующие усилия и их последствия. Установлено, что составной частью многих технологических процессов, выполняемых сельскохозяйственными машинами, является деформация сжатия [7, 8]. В рабочих процессах различных

устройств проявляются также деформации растяжения и изгиба. Данные виды деформаций могут быть смоделированы при воздействии на валок соломы пруткового элемента.

Известными исследованиями установлено [3, 4], что сопротивления и возникающие деформации растительного материала зависят от вида материала, его состояния, диаметра стеблей и других характеристик. Например, для стеблей пшеницы деформации в пределах пропорциональности могут изменяться от 0,1 до 12,5 мм. Однако при этом характеристики энергозатрат на деформацию определенной массы соломы наиболее распространенными прутковыми элементами не установлены. Необходимость их определения связана также с задачей уточнения прочностных характеристик рабочих органов для воздействия на соломистую массу.

### Основная часть

Экспериментальные исследования по определению усилий, возникающих при деформации соломистой массы, проводились с использованием специальной лабораторной установки. Она имеет (рис. 1) следующие основные части: основание, стойку, экран, стяжку, рычаг, распорку, прутки, трубу, втулку, упор, фиксатор, динамометр.

При проведении опытов в полевых условиях была исследована солома ячменя, озимой пшеницы и тритикале. Испытания проводились в период уборочной кампании с 27.07 по 03.08.2015 года при влажности соломы 19 %. К испытаниям были подготовлены прутки различной длины: 200, 300 и 500 мм. Выбор длины прутков был обусловлен реальными условиями работы известных устройств, которые взаимодействуют с соломой и охватывает весь существующий

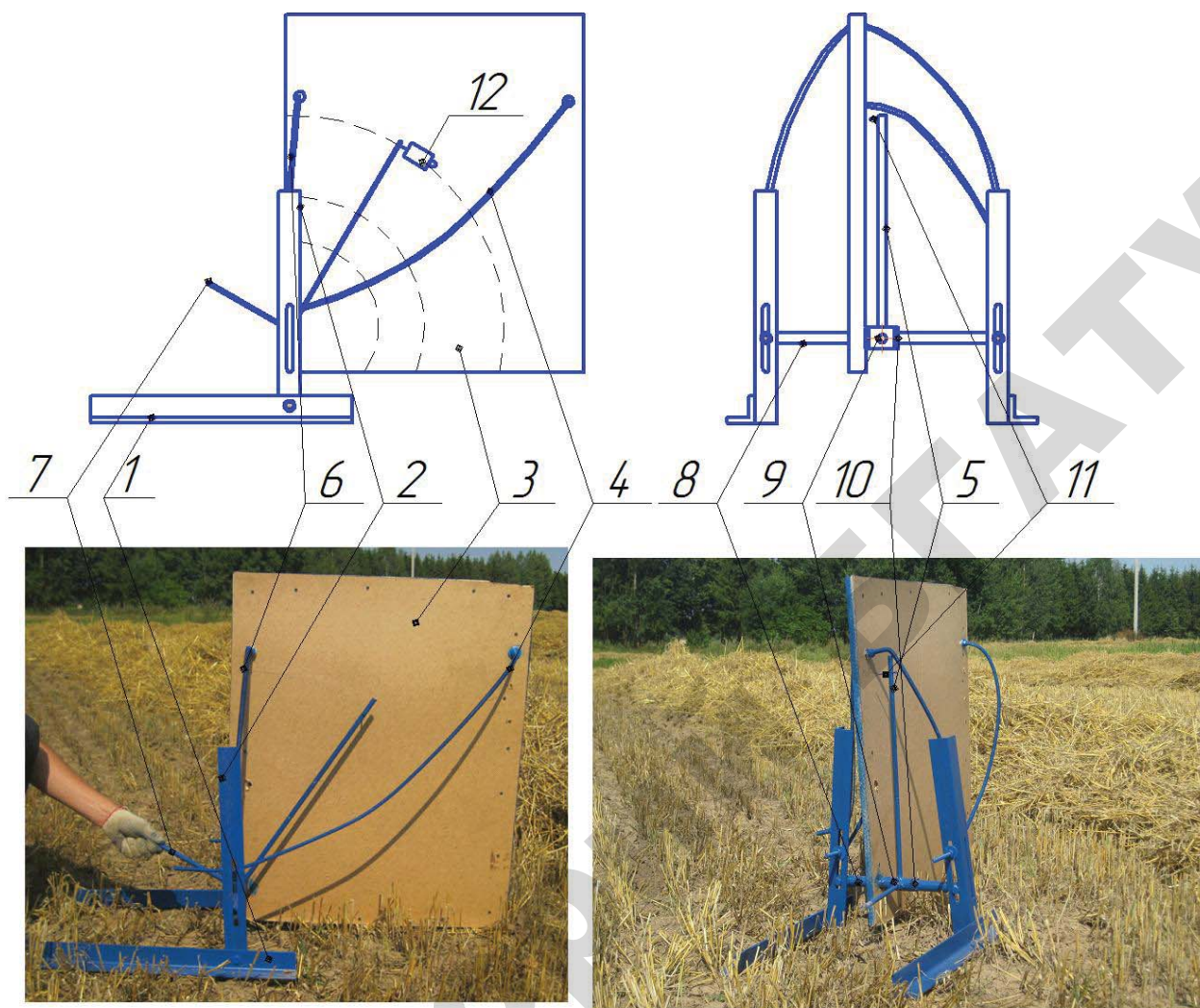


Рисунок 1. Лабораторная установка для моделирования действия прутка на слой соломы:  
1 – основание; 2 – стойка; 3 – экран; 4 – стяжка; 5 – рычаг; 6 – распорка; 7 – пруток; 8 – труба;  
9 – втулка; 10 – упор; 11 – фиксатор; 12 – динамометр

диапазон применяемых параметров. Диаметр прутков составлял 10 мм, что исключало их прогиб.

Первоначально на поле, где проводились опыты, замерялась высота стерни и высота валка. Разработанная установка устанавливалась перпендикулярно к валку соломы сразу после прохода комбайна. При этом установка опиралась на основание 1, к которому посредством болтового соединения прикреплены стойки 2. Стойки скреплены между собой посредством трубы 8 и растяжки 6. В стойках 2 имеются пазы, которые позволят перемещать трубу 8 на нужную высоту. Высота расположения трубы 8 относительно поверхности поля зависит от высоты стерни. Горизонтальное расположение трубы 8 и экрана 3 устанавливалось посредством уровня.

К стойкам 2 посредством стяжки 4 прикреплен экран 3, на котором нанесена координатная сетка. Для крепления экрана 3 к трубе 8 выполнено отверстие, посредством которого экран 3 может поворачиваться относительно трубы 8. В центре трубы 8 по-

движно установлена втулка 9, которая с обеих сторон ограничена упорами 10. К данной втулке 9 приварен рычаг 5, в котором имеются отверстия по длине, центр которых находится на высоте 200, 300 и 500 мм. В данные отверстия рычага 5 устанавливается фиксатор 11, который позволяет точно указать при повороте рычага 5 на экране 3, на какую высоту произведен подъем конца прутка 7, а также к данному фиксатору крепится динамометр 12. На шкале электронного динамометра фиксировалось усилие, отнесенное к концу используемого прутка. Перемещение рычага 5 относительно поверхности экрана 3 осуществляется по дуге окружности. В связи с тем, что прутки имеют различную длину, на экране выполнены соответственно три шкалы делений для каждого из прутков. Градуировка шкалы на экраны 3 произведена через 10 мм. На втулке 9 под углом 90° к оси рычага 5 приварена гайка М 10, в которую посредством резьбового соединения вкручивается сменный пруток 7. При установке лабораторной установки

перпендикулярно к валку устанавливали во втулку 9 прутки различной длины и производили замер усилия подъема каждого прутка с помощью динамометра 12.

Разработанная методика позволила получить устойчивые и объективные результаты в полевых условиях (2015 г.), когда исследуемые валки соломы были достаточно чистыми от посторонних примесей и по влажности приближались к устойчивой кондиционной.

Первоначально опыты по определению усилий, действующих на прутки, провели на валке соломы ячменя, так как его начали убирать одним из первых. В результате замера высоты стерни было установлено, что она в месте опыта составляет в среднем 0,135 м. При этом высота валка составляла 0,380 м. По полученным данным построены графики закономерностей изменения определяемых усилий. Представим график изменения усилий на деформацию валка соломы ячменя прутками длиной 200, 300 и 500 мм (рис. 2а). По общему характеру кривых можно видеть, что сопротивление соломы деформации имеет незначительный этап упругости, затем увеличение усилий с увеличением подъема незначительно. В какой-то мере это подобно закономерностям сопротивления почвы как упруго-пластичной среды.

Исходя из данного графика (рис. 2 а) можно установить пределы изменения усилий, действующих на прутки длиной 200 мм, которые составляют 0,49–9,03 Н. Среднее значение действующего усилия на прутки составляет 5 Н. Характер изменения усилий описывает логарифмическая кривая с тенденцией роста усилий. Однако можно заметить, что при проведении 20 замеров наблюдаются некоторые перепады усилий. Это объясняется, прежде всего, разрыхлением валка прутком, что приводит к разуплотнению структурной решетки соломы валка ячменя. Также можно отметить, что на экране шкалы, которая предназначена для замера усилий прутком длиной 200 мм, проградуирована с ценой деления – 10 мм, следовательно, проведение 20 замеров обеспечивает поворот прутка на угол  $90^\circ$  относительно первоначального положения. Данный угол достаточно велик, и в месте поворота между прутком и стойками установки наблюдается сгуживание соломы и дальнейший поворот рычага не имеет практического смысла.

При установке прутка длиной 300 мм наблюдается увеличение усилия на прутки (рис. 2 а). Максимальное значение составляет 13,83 Н, а минимальное значение – 0,49 Н, что соответствует минимальному значению усилия на прутке длиной 200 мм. Следовательно, усилие на прутке длиной 300 мм больше усилия на прутке длиной 200 мм в среднем на 4,8 Н. Характер изменения усилий в обоих случаях по своему характеру схож. Однако можно отметить, что, несмотря на перепады, наблюдается тенденция роста. Также увеличение усилий на прутке объясняется длиной прутка, который на 100 мм больше, чем в предыдущем исполнении (200 мм). При исследовании усилий, которые действуют на прутки длиной 300 мм, было проведено 30 замеров, что соответствует повороту прутка на угол до  $90^\circ$ .

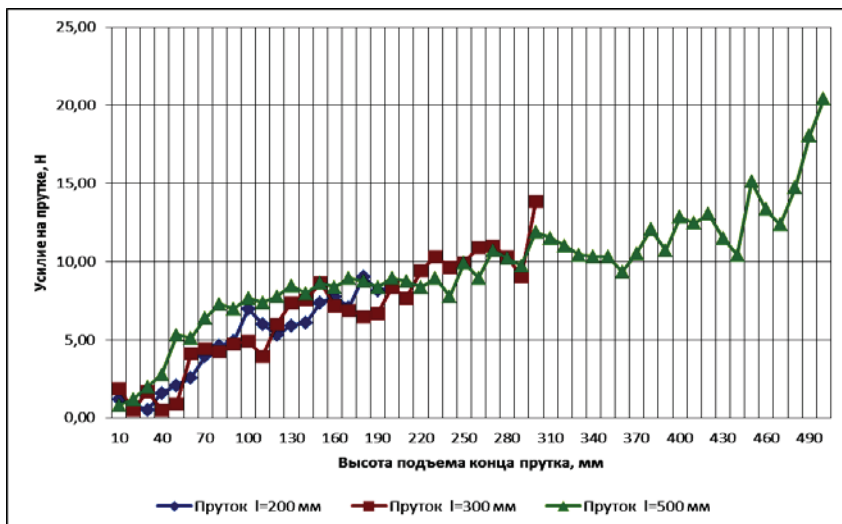
Аналогичный характер имеют усилия, действующие на прутки длиной 500 мм (рис. 2 б). При увеличении длины прутка наблюдается сглаженность изменения усилий. Как и при предыдущих замерах, при поднятии прутка на большую высоту наблюдается рост усилия на прутке. В данном опыте сделано 50 замеров, по которым можно установить пределы изменения усилий, составляющие 0,78–20,4 Н. Среднее значение усилия на прутке длиной 500 мм составляет 9,48 Н.

Произведем расчет средних усилий, действующих на 1 мм длины прутка. Среднее усилие на единицу длины прутка незначительно зависит от его параметров. Для длины прутка 200 мм усилие составляет 0,025 Н/мм, а для длины прутка 300 и 500 мм соответственно составляет 0,022 и 0,019 Н/мм.

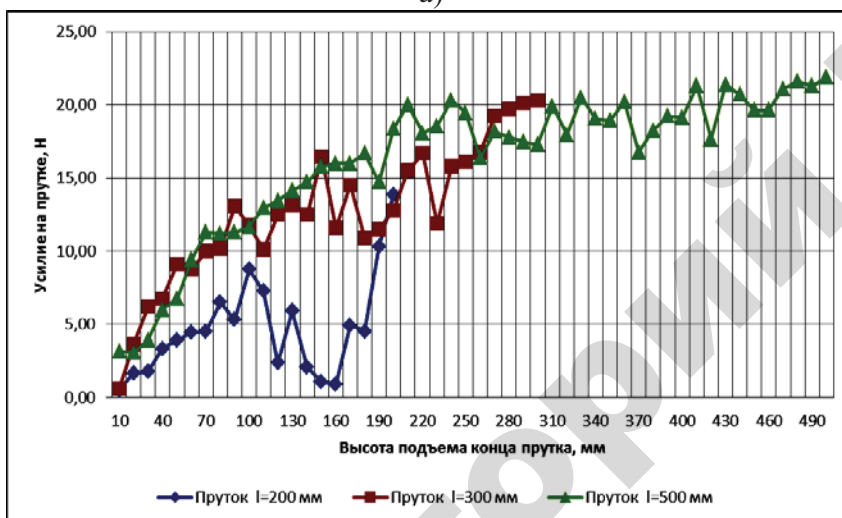
При проведении опытов по определению усилий, действующих на прутки на валке ячменя, был произведен замер ширины валка, который составил в среднем 1 м, а также была измерена масса одного погонного метра длины валка, которая составила 1,99 кг. Исходя из того, что в результате опытов были определены масса, длина, ширина и высота валка ячменя, можно рассчитать плотность соломы, которая составила  $5,25 \text{ кг/м}^3$ . Исходя из полученных данных по определению усилий, действующих на прутки, на соломе ячменя можно установить среднее значение усилий для исследованных прутков. Для прутка длиной 200 мм среднее усилие составляет 5 Н, для прутка 300 мм – равно 6,62 Н, а для прутка длиной 500 мм составляет 9,48 Н.

Аналогичные исследования были проведены на валке соломы озимой пшеницы. Средняя высота стерни в месте проведения опытов составила 0,14 м, а высота валка – 0,37 м. Закономерности изменения усилий, действующих на прутки различной длины, представим в виде сводного графика (рис. 2 б).

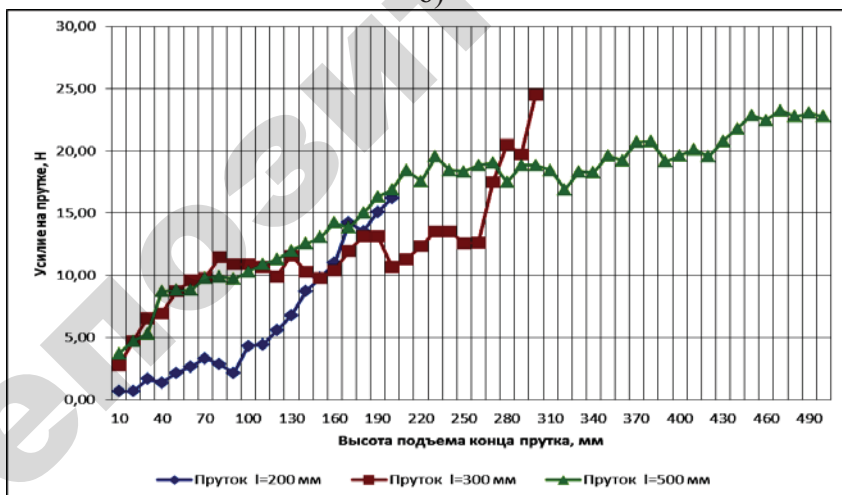
Можно отметить, что количество опытов для каждого прутка, как и в опытах с валком соломы ячменя, одинаковое и составляет 20,30 и 50 опытов. Исходя из полученных данных, можно выделить, что усилие на прутке длиной 200 мм находится в пределах 0,49–13,83 Н. Среднее усилие по итогам замеров составило 4,68 Н. Характер изменения кривой усилий схож с ранее полученными результатами на валке ячменя и имеет характер логарифмической функции с определенной амплитудой отклонений отдельных точек. Для прутка длиной 300 мм максимальное усилие на деформацию соломы составляет 20,31 Н, минимальное – 0,59 Н. Среднее усилие, действующее на прутки длиной 300 мм, имеет значение 12,6 Н. Для прутка длиной 500 мм также наблюдается тенденция роста усилий, которые находятся в пределах 3,04–21,80 Н, а среднее усилие составляет 16,2 Н. Также рассчитали среднее усилие на 1 мм длины прутка. Для прутка длиной 200 мм усилие составляет 0,023 Н/мм, далее наблюдается тенденция роста удельного усилия для прутка 300 мм до величины 0,042 Н/мм. В дальнейшем наблюдается уменьшение данной величины на 0,010 Н/мм для прутка длиной 500 мм. В этом опыте также была измерена ширина валка, которая составила 1 м, а масса 1 м валка составила 1,85 кг. В резуль-



а)



б)



в)

Рисунок 2. Усилия на деформацию валка соломы прутками длиной 200, 300 и 500 мм: а – ячмень; б – озимая пшеница; в – тритикале

тате опытов на валке озимой пшеницы были установлены пределы изменения усилий 0,49-21,88 Н.

Рассмотрим полученные данные в результате опытов на валке соломы тритикале. Средняя высота стерни в месте опыта составила 0,12 м, высота валка – 0,36 м. Представим графически изменения усилий, действующих на прутки различной длины при деформации валка соломы тритикале (рис. 2в).

Для прутка длиной 200 мм минимальное усилие составляет 0,69 Н, максимальное – 16,19 Н. Наблюдается рост усилий для прутка длиной 300 мм, для которого установлены пределы от 2,75 до 24,53 Н. Также установили пределы действующих усилий 3,73-23,25 Н для прутка длиной 500 мм. Отличительной особенностью изменения усилий является то, что аппроксимации по логарифмической кривой максимально приближены друг к другу. Для прутков длиной 200 и 500 мм наблюдается одинаковая величина удельного усилия на единицу длины, составляющая 0,032 Н/мм, а для прутка длиной 300 мм – 0,039 Н/мм. Характер изменения среднего усилия на единицу длины прутка для соломы тритикале подобен кривой для соломы озимой пшеницы. Также для валка соломы тритикале определили его ширину, которая в среднем была равна 1 м. Масса одного метра длины валка для тритикале составила 2,57 кг. Расчетная величина плотности тритикале составила 7,14 кг/м<sup>3</sup>.

Для обобщения полученных результатов и выявления общей тенденции процесса деформации соломы прутковым рабочим органом, был построен график осредненной зависимости возникающего усилия от высоты подъема прутков для исследованных трех видов соломы (рис. 3).

Полученные зависимости имеют сходный характер и описывают исследуемый процесс как упруго-пластический, параметры которого зависят от вида соломы. Для прутков длиной 300 и 500 мм упругие деформации проявляются

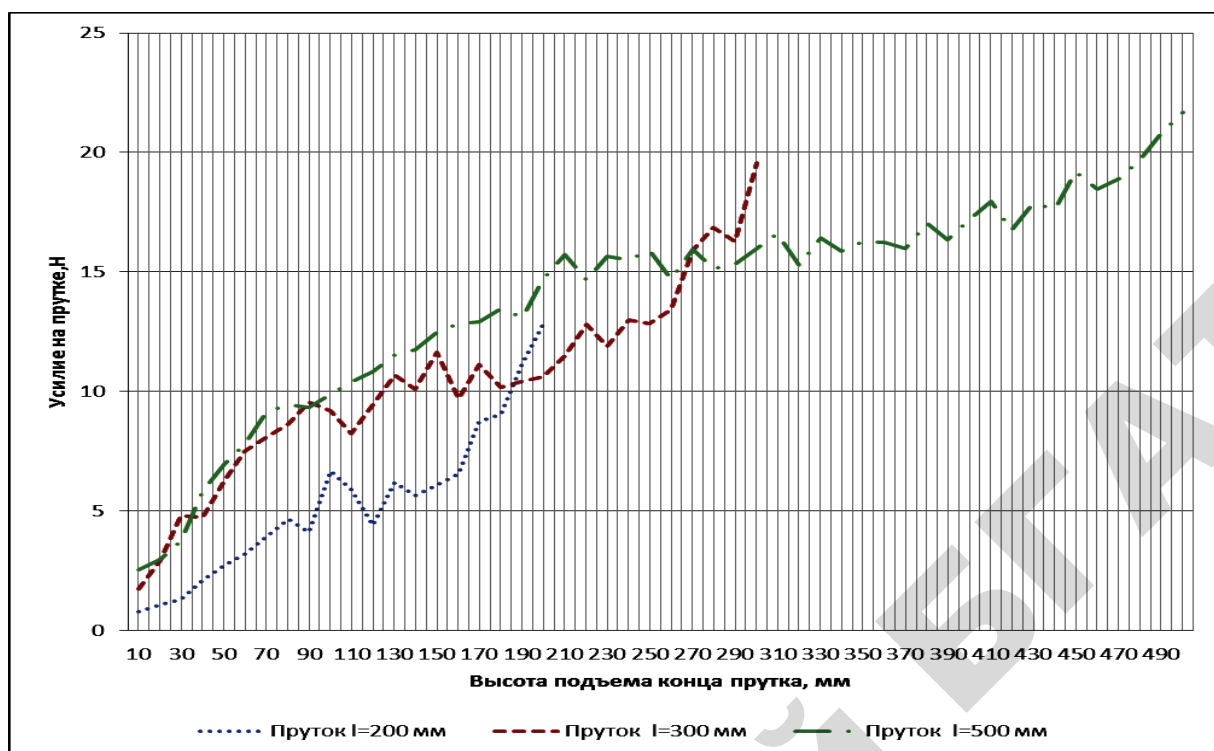


Рисунок 3. Осредненные усилия на деформацию валка соломы (ячменя, озимой пшеницы, тритикале) прутками длиной 200, 300 и 500 мм

до высоты подъема 110-210 мм. Для короткого прутка длиной 200 мм зависимость возникающего усилия от высоты подъема приближается к пропорциональной.

#### Заключение

В результате проведения исследований по определению усилий, действующих на прутки при деформации валка соломы, установили основные пределы изменения этих величин для различных видов соломы: ячменя, пшеницы и тритикале. В результате опытов установлено, что на возникающее усилие влияют как вид соломы, так и длина прутка. Исходя из анализа трех видов соломы установлено, что для прутка длиной 200 мм усилие находится в пределах 0,49-16,19 Н, а среднее усилие на единицу длины прутка составляет от 0,023 до 0,032 Н/мм. Для прутка длиной 300 мм максимальное значение составляет 24,53 Н, минимальное – 0,49 Н. Среднее усилие на единицу длины этого прутка находится в пределах 0,022-0,042 Н/мм. Изменение усилий для прутка длиной 500 мм составляет 0,78-23,25 Н, а среднее значение удельного усилия по длине находится в пределах 0,019-0,032 Н/мм. Можно отметить, что изменение среднего усилия по длине для всех прутков находится в близких пределах 0,019-0,042 Н/мм. Что же касается общего усилия по трем культурам, то оно для исследованных прутков находится в пределах 0,49-24,53 Н. Установлен общий характер зависимостей между возникающим усилием и степенью деформации соломы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев, Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев // Аграрная наука, 1998. – 208 с.
2. Бурмирова, М. Ф. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений / М. Ф. Бурмирова, Г. Г. Колулькова. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 360 с.
3. Григорьев, А. А. Исследование процесса сжатия слоя сеносоломистых материалов / А. А. Григорьев // Тракторы и сельхозмашины, 1964. – №8. – С. 19-21.
4. Хайлис, Г. А. О некоторых закономерностях сжатия стебельной массы / Г. А. Хайлис // Тракторы и сельхозмашины, 1970. – №11. – С. 25-27.
5. Хайлис, Г. А. Механика растительных материалов / Г. А. Хайлис. – Киев: УААЕ, 1994. – 334 с.
6. Храпач, Е. И. Приборы для изучения физико-механических свойств сельскохозяйственных материалов / Е. И. Храпач. – Измерительная техника в сельском хозяйстве. – М.: ОНТИПРИБОР, 1967. – С. 209-217.
7. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений (методы исследования, приборы, характеристика). – М.: Колос, 1970. – 424 с.
8. Саркисян, Г. М. Использование принципа строения стеблей при конструировании сельхозмашин / Г. М. Саркисян // Тракторы и сельхозмашины, 1992. – №5. – С. 21-22.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.01.2016