

Е. Л. АБУЦЕВИЧ,
аспирант

К ВОПРОСУ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ МОЛОТИЛЬНОГО И ТЕРОЧНОГО УСТРОЙСТВ ЛЬНОВОРОХООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Обработка льняного вороха от льнокомбайнов в настоящее время в колхозах ведется на самоходных комбайнах. Специальных машин для этих целей не существует.

Необходимых данных теоретического исследования рабочих органов, предназначенных для обработки льновороха от льнокомбайнов, в литературе нет. В связи с этим в настоящей работе исследованы молотильный и терочный аппараты и дано некоторое их теоретическое обоснование.

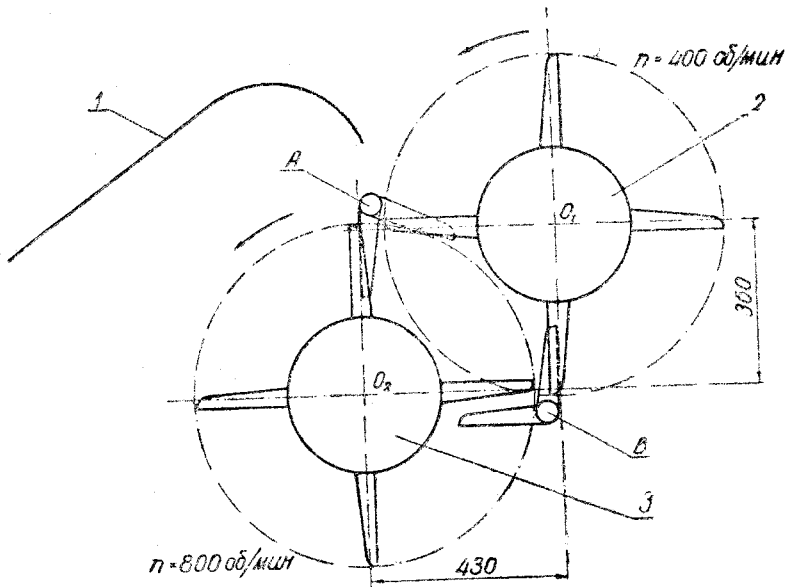


Рис. 1. Схема молотильного устройства:

1—питающий транспортер; 2—питающий барабан; 3—рабочий барабан;
А, В—зубые гребенки

Базой для этого послужила льномолотилка МЛС-2,5. Для отделения головок льна от стеблей и измельчения последних использованы очесывающие барабаны МЛС-2,5 с зубовыми гребенками, имеющими прямые плоские зубья.

Нижний барабан был смещен по отношению к верхнему так, что расстояние между центрами их в вертикальной плоскости составляло 360 мм, а в горизонтальной — 430 мм. Вращение барабанов встречное.

Схема молотильного устройства показана на рис. 1.

Выделение семян из головок льна, находящихся в ворохе, а также из головок, отделенных от стеблей молотильным устройством, проведено на вальцовом терочном аппарате, состоящем из деревянных вальцов, покрытых микропористой резиной.

Двухвальцовый аппарат показан на рис. 2.

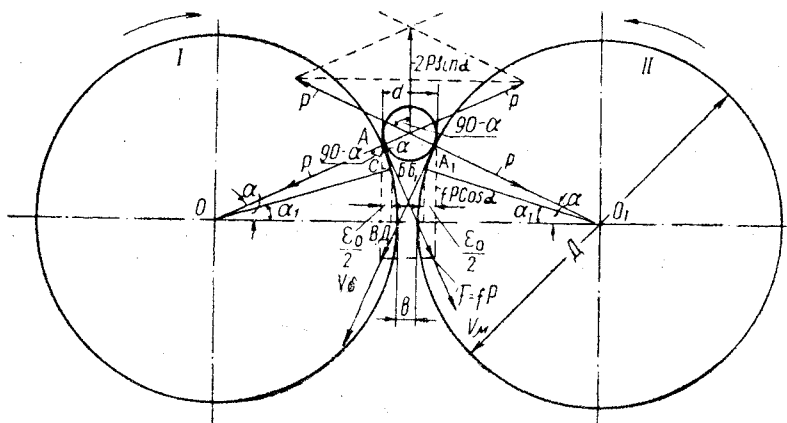


Рис. 2. Двухвальцовый терочный аппарат

Молотильное устройство по обработке льновороха. Механическое воздействие рабочего органа на растительную массу при обмолаоте вызывает известные деформации: растяжение, сжатие, сдвиг и изгиб.

При обработке льновороха молотильным устройством установки сущность процесса заключается в том, чтобы слежавшийся при сушке в комья ворох измельчить, сделать более сыпучим с целью равномерного поступления его в вальцовый терочный аппарат.

Связь головок со стеблями можно нарушить при статическом или динамическом приложении силы. В современных обрывных, очесывающих, молотильных и других устройствах нарушение этой связи происходит при динамическом приложении силы. Соответствующую скорость удара, при которой происходит отделение головки от стебля без ее разрушения, устанавливают опытным путем после создания конструкции рабочего органа и его вспомога-

тельных частей без учета физико-механических свойств растений. Более точные данные для определения необходимой скорости удара можно получить, установив основные показатели физико-механических свойств растений и, в частности, зависимость между силой и деформацией при нарушении связи головок со стеблем и разрушении их сжатием.

По установленной зависимости между силой и деформацией при нарушении связи между частями растения можно определить работу разрушения. Скорость определяется на основе равенства между работой и живой силой элемента растения. Сопоставление этой скорости с действительной скоростью разрушения в данном технологическом устройстве позволяет оценить его достоинства и недостатки, использовать полученные данные для расчета устройств, в которых приходится иметь дело со статическим и динамическим приложением сил на стебель или головку льна.

Одна из основных задач настоящей работы — это выявление геометрии и формы рабочих органов молотильного устройства для отделения головок от стеблей и измельчения путанины, с определением оптимальных режимов их работы. Основные параметры молотильного устройства должны быть выбраны так, чтобы они обеспечивали высокие качественные показатели при наименьшем удельном расходе энергии (на единицу подачи).

На основные качественные показатели — недомлот и дробление зерна, помимо свойств и состояния обмолачиваемого материала, решающее влияние оказывают следующие параметры молотильного устройства: окружная скорость, величина зазоров, количество и расположение зубьев барабанов и гребенок. На величину потребной мощности, кроме перечисленных параметров, большое влияние оказывает рабочая длина барабана.

Рекомендуемая ВНИИЛом скорость очеса льна составляет 8—10 м/сек. Увеличение скорости очеса повышает чистоту отделения головок, снижает отход стеблей в путанину, однако увеличивает повреждаемость стеблей. При обработке льновороха на экспериментальной установке целесообразно увеличивать окружные скорости молотильных барабанов, что повышает чистоту отделения головок от стеблей. Однако увеличение окружных скоростей барабанов должно быть ограничено степенью дробления семян льна. Что касается повреждаемости стеблей, то это не имеет никакого значения, так как в льноворохе в основном находятся обрывки их, которые не могут быть использованы для получения льноволокна, а следовательно, они не представляют особой ценности.

Исходя из этого, для питающего барабана (верхнего) примем окружные скорости средин зубьев от 8,5 до 11,5 м/сек, а для рабочего барабана (нижнего) — от 13 до 17 м/сек. Однако одного изменения величины окружной скорости бывает недостаточно.

Одним из условий приспособления молотильного устройства к свойствам и состоянию обрабатываемого материала является из-

менение величины зазоров между зубьями барабанов и зубьями гребенок.

Между барабанами устанавливались две гребенки: верхняя — *A* (на входе) и нижняя — *B* (на выходе). Зубья гребенок располагались в промежутках между зубьями барабанов в два ряда. Для верхней гребенки угол между рядами зубьев составил 80° , а расстояние между осями симметрии соседних зубьев — 70 мм; для нижней гребенки соответственно 90° и 35 мм.

Зазор между боковыми гранями зубьев барабанов и зубьев верхней и нижней гребенок соответственно составлял 25 и 13 мм.

Длина зубьев оказывает большое влияние как на энергетические, так и на качественные показатели работы молотильного устройства. Увеличение длины зубьев значительно повышает пропускную способность молотильного устройства и при большой подаче позволяет снизить удельный расход энергии. Однако удлинение зубьев приводит к ухудшению качества обмолота; увеличивается недомолот и дробление зерна.

При этом концы зубьев будут давать повышенное дробление зерна, а материал, соприкасающийся с основанием зубьев, — плохо вымолачиваться. Длина зуба должна отвечать требованию, чтобы отдельные его точки имели линейную скорость в допустимых пределах, гарантирующих удовлетворительное качество работы.

Для исследования длина зубьев барабанов и гребенок бралась равной 200 мм. В интересах увеличения пропускной способности молотильного устройства толщина зубьев должна быть возможно меньшей, так как при этом увеличится площадь просвета между зубьями барабанов, а также число зубьев (при неизменном числе ходов и зазоре между боковыми гранями зубьев). Толщина зубьев барабанов и гребенок бралась равной 5 мм. Число зубьев на барабане находится в соответствии с его производительностью.

Производительность барабана на один зуб для различных молотилок колеблется в пределах $1,2$ — $1,6$ кг/мин. Эта производительность при обработке льновороха не установлена и литературных данных по этому вопросу нет. Поэтому в настоящей работе предусматривается установить величину производительности барабана на один зуб — t кг/мин.

Одно и то же количество зубьев может быть размещено на коротком и на длинном барабане в зависимости от числа зубьев, проходящих по одному следу за один оборот барабана. Количество зубьев каждого барабана составляло 48 шт., а расстояние между серединами соседних зубьев на планке — 70 мм. Зубья одного барабана располагались в промежутках между зубьями другого барабана и гребенок.

Количество планок на барабане, равное четырем, взято из тех соображений, что материал, попавший в промежутки между двумя соседними рядами зубьев барабана, мог перераспределяться с целью лучшего отделения головок от стеблей льна.

Выбор диаметра барабана должен вестись, исходя из следую-

щих факторов: динамической эффективности, способности забирать материал при подаче, трудности подбора достаточного момента инерции барабана и затруднений при монтаже и обслуживании, а также возможности наматывания соломы на барабан.

При меньшем диаметре барабана получается наибольшая динамическая эффективность, но, с другой стороны, при уменьшении этого диаметра уменьшается способность барабана забирать материал при подаче, если удары планок с зубьями становятся слишком частыми. Кроме этого, возникают трудности по подбору достаточного момента инерции барабана и затруднения при монтаже и обслуживании, если планки близко расположены друг к другу. Наряду с этим на барабан меньшего диаметра увеличиваются намотки соломы.

Исходя из этого, предусмотрено проведение исследования барабанов с диаметрами: $D_{\min} = 350$ и $D_{\max} = 750$ мм.

Длина барабана оказывает большое влияние на величину потребной мощности, ибо уменьшение длины при неизменной производительности приводит к увеличению потребной мощности за счет увеличения толщины слоя материала, проходящего между барабаном и гребенкой, что ведет к значительному возрастанию относительного сжатия материала в зазорах, нормальных давлений и сил трения.

Увеличение длины барабана снижает мощность, потребную на его работу. Длина барабанов была оставлена равной 950 мм, как у льномолотилки МЛС-2,5.

Когда имеется возможность подаваемый в барабан материал равномерно распределить по всей его длине, целесообразно выбирать небольшое число ходов и делать барабан длинным. При этом зубья могут быть уменьшены, так как они все равно не используются по всей своей высоте вследствие незначительного слоя вороха на гребенке. Когда же нельзя добиться достаточной равномерности распределения вороха по длине барабана, то лучше выбрать большое число ходов и делать короткий барабан.

Качество работы молотильного устройства зависит от количества зубьев барабана или числа встреч зубьев барабана с зубьями гребенки в единицу времени.

С уменьшением числа рядов зубьев гребенки недомолот обычно возрастает, а потребная мощность уменьшается.

Таким образом, при выборе молотильного устройства необходимо учитывать целый ряд факторов. После выбора типа и параметров молотильного устройства можно при заданной производительности произвести подсчет потребной мощности.

Двухвальцовый терочный аппарат (рис. 2). Углом захвата частицы валками является угол, образованный радиусом OA с линией, соединяющей центры валков. За радиус OA следует принимать прямую, соединяющую центры вала и частицы до начала деформации последней.

Приблизленно угол захвата частицы валками определяют в

случаях, когда оба валка находятся в одной плоскости, поверхности их гладкие, окружные скорости валков и частицы одинаковы, а частица имеет шарообразную форму.

Частицы до начала деформирования действуют на валки в точках A и A_1 по нормальям к касательным с некоторым усилием P . В свою очередь частица испытывает со стороны валков такие же усилия P . Вертикальные составляющие этих усилий $2P \sin \alpha$ стремятся вытолкнуть частицу из сферического клина, образуемого цилиндрическими поверхностями валков, а вертикальные составляющие сил трения $2P \cos \alpha$ затягивают частицу в пространство между валками. Исходя из этого, можно составить уравнение равновесия сил, действующих на частицу в момент начала ее контакта с поверхностями валков,

$$2P \sin \alpha = 2fP \cos \alpha.$$

Для того чтобы частица была затянута валками, необходимо соблюдать следующее неравенство:

$$2P \sin \alpha < 2fP \cos \alpha,$$

откуда $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} < f$ или $\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi$.

Зазор между валками вальцового терочного аппарата устанавливается, исходя из физико-механических свойств льна.

По К. Ф. Щербакову, наименьший диаметр головок льна составляет 4 мм. Для полной деформации головок необходимо установить зазор, равный 1—2 мм, предполагая, что между валками будут проходить семена толщиной 0,89 мм (по данным ВНИИЛа). Таким образом, при зазоре 1—2 мм должны быть полная деформация головок и уменьшение процента дробления семян.

Для наружной поверхности валков желательнее применять эластичный материал, в качестве которого может быть использована резина. Кроме этого, могут устанавливаться резиновые воздушные баллоны из микропористой резины.

Сила нажатия валков друг на друга. По данным ВИСХОМа, с 1 га может быть собрано 1100 кг воздушно-сухих головок. Вес головок с 1 м² составит 110 г.

По данным К. Ф. Щербакова, на 1 м² находится в среднем 1000 стеблей, а каждый из них имеет в среднем три головки. Таким образом, 3000 головок будут иметь вес 110 г, а вес одной головки — 0,04 г.

Если допустить, что ворох содержит 73,8%¹ головок, а производительность вальцового аппарата равна 2500 кг вороха в час, то весовое количество головок составит 1845 кг/час, или 510 г/сек. Количество головок, которое необходимо будет обработать вальцами терочного аппарата, в 1 сек составит 12750 шт. На длине валков в 980 мм уложится 163 головки, имеющие диаметр 6 мм при усло-

вни их плотного прилегания друг к другу. 12750 шт. головок составит 78 рядов, если в одном ряду находится 163 головки.

По данным ВИСХОМа, одна головка (или один ряд их) проплющивается с усилием 328 г. Таким образом, для проплющивания 78 рядов головок необходимо усилие в 25,5 кг.

Определение угла захвата валков α и угла первичного разрушения головок валками α_1 . В зависимости от соотношения размера d измельчаемой частицы, зазора b между валками, диаметра D валков и сопротивления измельчаемой частицы разрушению изменяется и степень измельчения ее. Допустим, первичное расщепление частицы на ряд осколков произойдет после ее перемещения между валками из положения AA_1 в BB_1 , т. е. после ее абсолютно го сжатия на величину E_0 . В таком случае первичное разрушение произойдет после поворота валков на угол $\Delta\alpha = \sphericalangle\alpha - \sphericalangle\alpha_1$.

Как видно из рис. 2,

$$D + b = D \cdot \cos\alpha + d \cdot \cos\alpha; \quad (1)$$

$$\frac{E_0}{2} = \frac{D}{2} \cdot \cos\alpha_1 - \frac{D}{2} \cos\alpha. \quad (2)$$

Определим $\cos\alpha$ из выражения (1) $\cos\alpha = \frac{D+b}{D+d}$, (3)
тогда $\cos\alpha_1$ из выражения (2) будет равен

$$\cos\alpha_1 = \frac{E_0 + D \cdot \cos\alpha}{D}. \quad (4)$$

Из треугольника AOB

$$\frac{AB}{OA} = \sin\alpha.$$

Из треугольника BOD

$$\frac{BD}{OB} = \sin\alpha_1.$$

Тогда

$$AB = \frac{D}{2} \cdot \sin\alpha;$$

$$BD = \frac{D}{2} \sin\alpha_1.$$

Сторона AC треугольника ACB определяется как разность AB и BD .

$$AC = AB - BD = \frac{D}{2} (\sin\alpha - \sin\alpha_1).$$

Из треугольника ACB определяем E_0

$$\frac{E_0}{\frac{2}{AC}} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (5)$$

После подстановки значения AC в выражение (5) будем иметь

$$\frac{E_0}{2} = \frac{D}{2}(\sin \alpha - \sin \alpha_1) \operatorname{tg} \alpha.$$

И окончательно

$$E_0 = D(\sin \alpha - \sin \alpha_1) \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Если $D=170$ мм; $b=1$ мм; $d=6$ мм, то $\cos \alpha$ согласно выражению (3) будет равен

$$\cos \alpha = \frac{171}{176} = 0,971,$$

а угол α

$$\alpha = 13^\circ 50'.$$

$\cos \alpha_1$ определяется из выражения (4) после подстановки в него значения E_0 согласно выражению (6)

$$\cos \alpha_1 = \frac{D(\sin \alpha - \sin \alpha_1) \operatorname{tg} \alpha + D \cos \alpha}{D}.$$

Решая полученное выражение, будем иметь

$$D \cdot \cos \alpha_1 = D \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha - D \cdot \sin \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha + D \cdot \cos \alpha.$$

Производим ряд преобразований

$$\cos \alpha_1 + \sin \alpha_1 = \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha + \cos \alpha;$$

$$\cos \alpha_1 + \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_1} = \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha + \cos \alpha;$$

$$\cos^2 \alpha_1 + 2 \cos \alpha_1 \sqrt{1 - \cos^2 \alpha_1} + 1 - \cos^2 \alpha_1 = \sin^2 \alpha \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + 2 \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha;$$

$$4 \cos^2 \alpha_1 (1 - \cos^2 \alpha_1) = \sin^2 \alpha \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} + 2 \sin \alpha \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot \cos \alpha + \cos^2 \alpha - 1;$$

$$4 \cdot \cos^2 \alpha_1 - 4 \cos^4 \alpha_1 = \frac{\sin^4 \alpha}{\cos^2 \alpha} + 2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha - 1 =$$

$$= \frac{\sin^4 \alpha}{\cos^2 \alpha} + \sin^2 \alpha = \frac{(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) \sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

После проведенных преобразований окончательно будем иметь

$$4 \cos^4 \alpha_1 - 4 \cos^2 \alpha_1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = 0.$$

Подставляя значение α в полученное уравнение и решая его, будем иметь

$$\alpha_1 = 6^\circ 40'.$$

Тогда

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_1 = 13^\circ 50' - 6^\circ 40' = 7^\circ 10'.$$

Таким образом, разрушение частицы произойдет после поворота валков на угол, равный $7^\circ 10'$.

Абсолютные скорости валков, время первичного разрушения головок и полное время нахождения частиц в зоне измельчения. Для измельчения головок льна не только в результате сжатия, но и сдвига валкам задают разные скорости. Установлено, что разрушаемое тело может вести себя как вязкое при малых и хрупкое при высоких скоростях деформации. Характер силового воздействия валков на разрушаемые ими частицы, а также пропускная способность пары валков определяется значением абсолютных скоростей быстро и медленно вращающихся валков V_6 и V_M . Средняя скорость частиц в зоне измельчения определяется как

$$V_3 = \frac{V_6 + V_M}{2} \cos \alpha.$$

Зная числа оборотов и радиусы валков, можно определить V_3 .

Если $n_6 = 340$ об/мин; $n_M = 170$ об/мин; $R_6 = R_M = 0,085$, то

$$\omega_6 = \frac{\pi n_6}{30} = \frac{3,14 \cdot 340}{30} = 35,581/\text{сек};$$

$$\omega_M = \frac{\pi n_M}{30} = \frac{3,14 \cdot 170}{30} = 17,791/\text{сек};$$

$$V_M = \omega_M R_M = 17,79 \cdot 0,085 = 1,5 \text{ м/сек};$$

$$V_6 = \omega_6 R_6 = 35,58 \cdot 0,085 = 3,024 \text{ м/сек};$$

$$V_3 = \frac{3,024 + 1,5}{2} \cdot 0,971 = 2,18 \text{ м/сек}.$$

Полное время нахождения частиц в зоне измельчения τ_u

$$\frac{\tau_u \cdot \frac{V_6 + V_M}{2} \cos \alpha}{\frac{D + d}{2} \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha,$$

но так как

$$\frac{D + d}{2} \cos \alpha = \frac{D + b}{2},$$

$$\text{то } \tau_u = \frac{D + b}{(V_6 + V_M) \cos \alpha} \operatorname{tg} \alpha.$$

Если

$$\alpha = 13^\circ 50', \text{ то } \operatorname{tg} \alpha = 0,246.$$

И окончательно

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{0,17 \pm 0,001}{4,5 \cdot 0,97} \cdot 0,246 = 0,009 \text{ сек.}$$

Известно, что $\alpha = \omega t$; $t = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{\alpha}{2\pi n}$;

тогда время первичного разрушения τ_p исходной частицы валками, если принять, что в процессе деформирования частицы до ее разрушения она движется со скоростью медленно вращающегося вала, может быть определено как

$$\tau_p = \frac{(\alpha - \alpha_1) V_0}{360 \cdot n_0 V_{\text{ш}}} = \frac{(13^\circ 50' - 6^\circ 40') 3}{360 \cdot 340 \cdot 1,5} = 0,007 \text{ сек.}$$

Время $\tau_{\text{ш}}$ и τ_p исчисляется тысячными долями секунды, а это свидетельствует об ударном характере разрушения частиц между валками, что не может не вести к дроблению семян.

Еще в 1958 г. во ВНИИЛе было проведено сравнительное изучение работы различных терочных устройств — барабанного аппарата типа «Деман», трехвальцового МЛС-2,5 и двухвальцового конструкции ВНИИЛа.

В двухвальцовой терке были использованы два деревянных резиновых вальца диаметром 170 мм. Вальцам сообщалась разная окружная скорость (0,18 и 0,24 м/сек).

Данные по качеству работы терочных устройств приведены в нижеследующей таблице:

Показатели (при производительности 2,5—3 т/час и оптимальных размерах)	Тип терки		
	барабанная	вальцовая	
		3 вальца	2 вальца
Степень перетирания, %	92,00	98,3	98,6
Дробление семян, %	0,43	3,4	1,4

Барабанная терка по сравнению с вальцовыми имеет пониженный процент дробления семян льна.

Высказанные нами теоретические соображения относительно дробления семян двухвальцовым терочным аппаратом подтверждаются опытами ВНИИЛа. Следовательно, снижение дробления семян льна может быть произведено путем применения более эластичных вальцов и подбором наилучшего режима их работы.

Теоретическая пропускная способность валков при допущении, что вся зона измельчения заполнена материалом, может быть определена (по С. Д. Хусиду) по формуле

$$Q = 3,6 \gamma l V, \text{ в } \psi \text{ кг/час,}$$

где γ — объемный вес измельчаемого материала, $г/см^3$;
 l — длина валков, $см$;
 V_s — скорость измельчаемых материалов, $см/сек$;
 b — величина зазора между валками, $см$;
 ψ — коэффициент объемного заполнения зоны измельчения.
Если

$$\psi = 1; \quad \gamma = 0,18 \text{ г/см}^3; \quad l = 98 \text{ см}; \quad V_s = 218 \text{ см/сек}; \quad b = 0,18 \text{ см},$$

то $Q = 3,6\gamma l V_s \psi = 3,6 \cdot 0,18 \cdot 98 \cdot 218 \cdot 0,18 \cdot 1 = 2478 \text{ кг/час}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретическим исследованием молотильного и терочного устройств установлена предполагаемая форма и геометрия их рабочих органов, а также некоторые режимы их работы.

Данные некоторого теоретического обоснования рабочих органов этих устройств подлежат экспериментальной проверке на установке, созданной на базе льномолотилки МЛС-2,5.

После окончательных экспериментов будут выявлены основные параметры рабочих органов. Это даст возможность установить рациональную форму и геометрию, а также оптимальные режимы этих рабочих органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустыгин М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств. Сельхозгиз, 1948.
 2. Соколов А. Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. Хлебоиздат, 1958.
 3. Шрейдер М. Н. О создании более совершенных льномолотилок. «Тракторы и сельхозмашины», 1959, № 9.
 4. Щербаков К. Ф. Машины для уборки технических культур. Машгиз, 1959.
-