

УДК 631.355.3

UDC 631.355.3

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО
ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОЧАТКА КУКУРУЗЫ ПРИ
ЕГО ОТРЫВЕ В КУКУРУЗООБОРОЧНОЙ
ЖАТКЕ**

**STUDY OF MECHANICAL DAMAGE
OF A CORN-COB UNDER ITS BRAKE-OFF
IN A CORN-HARVESTER**

Труфляк Евгений Владимирович
к. т. н., доцент

Truflyak Evgeny Vladimirovich
Cand. Tech. Sci., assistant professor

Кравченко В.С.
д. т. н., профессор

Kravchenko V.S.
Dr. Sci.Tech., professor

Гончарова И.А.
студентка

Goncharova I.A.
student

*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В современных початкоотделяющих аппаратах кукурузоуборочных машин отрыв початка от стебля осуществляется за счет удара початка и растяжения плодоножки. Любое механическое воздействие связано с деформацией початка. При его деформации возникают силы, разрушающие связь зерна со стержнем. В статье рассматривается условие, при котором происходит механическое повреждение початка.

Brake-off of a corn-cob from a stem occurs in expense of a corn-cob blow and pedicle distention in modern husker-shredder corn-harvesters. Any mechanical impact is connected with deformation of a corn-cob. Forces destroying connection between grains with rod appear under its deformation. Condition under which mechanical damage of a corn-cob occurs is considered in the article.

**Ключевые слова: КУКУРУЗООБОРОЧНАЯ
МАШИНА, СТРЕППЕРНЫЙ
ПОЧАТКООТДЕЛЯЮЩИЙ АППАРАТ,
ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ**

Key words: CORN-HARVESTER, STREPPING
HUSKER- SHREDDER MACHINE, CORN-COB
DAMAGE.

Лучшим сроком уборки кукурузы на зерно считается период, когда влажность зерна находится в пределах 25–30 %. В этот срок обеспечиваются минимальные потери урожая, так как в это время зерна початка прочно связаны со стержнем и полеглость растений (при нормальном их развитии) отсутствует [1].

Уборка кукурузы должна проводиться в возможно короткий срок с наступлением спелости зерна, так как с увеличением продолжительности стояния спелой кукурузы на корню увеличиваются обвисание початков и полегание стеблей растений.

При достижении полной спелости зерна количество прямостоящих стеблей кукурузы составляет 89,3 %, наклоненных – 10,2 %, полеглых – 0,5 % (примерно 27 августа); нормальные сроки уборки: прямостоящих –

75 %, наклоненных – 24 %, полеглых – 1 % (примерно 12 сентября); поздние сроки уборки (23 сентября) – 63,5 %, 30 %, 6,5 %, соответственно.

Полеглость кукурузы отрицательно сказывается на качестве работы уборочных машин, увеличивая потери урожая из-за неподобранных полегших растений.

Проблема повышения производительности ограничивается фактором дрейфа во времени физико-механических свойств початков. Чем суше становится кукуруза, тем более она склонна к вышелушиванию на початкоотделяющих пластинах, поэтому агротехнический срок уборки составляет 12 дней. Это можно доказать полученными зависимостями потерь и вышелушивания зерна от влажности зерна при уборке кукурузы комбайном КСКУ-6 по данным разных лет [2] (рисунки 1 и 2).

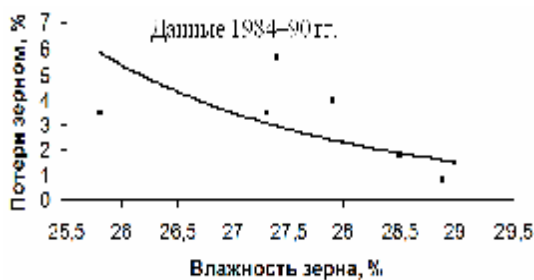


Рисунок 1 – Зависимость потерь от влажности зерна при периодических испытаниях комбайна

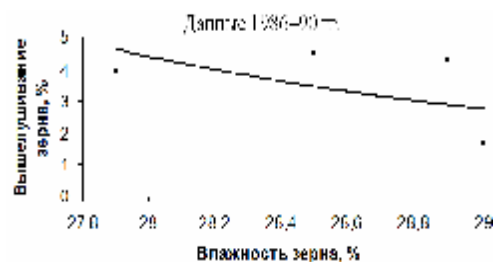


Рисунок 2 – Зависимость вышелушивания от влажности зерна при периодических испытаниях комбайна

Основным рабочим органом кукурузоуборочной жатки является початкоотделяющий аппарат. В современных кукурузоуборочных машинах широкое распространение получили стрепперные початкоотделяющие аппараты, у которых отрыв початков осуществляется на неподвижных стрепперных пластинах (рисунок 3).

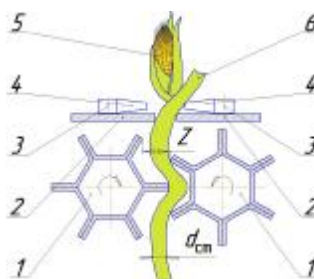


Рисунок 3 – Стрепперный початкоотделяющий аппарат (вид спереди, разрез): 1 – протягивающие вальцы; 2 – початкоотделяющие пластины; 3 – подающая цепь; 4 – лапки; 5 – початок; 6 – стебель

Недостатком этих аппаратов является ограничение по скорости вращения протягивающих вальцов, отрицательно сказывающееся на повышении производительности уборки кукурузы. Это ограничение связано с тем, что с увеличением окружной скорости вальцов возрастает ударный импульс при взаимодействии початка с пластинами, ведущий к повреждению основания початка и потерям урожая за счет теряемого при этом зерна. В связи с этим актуальной является задача снижения ударного импульса при отрыве початков.

Мы же видим свою проблему в разработке теоретических основ “мягкого удара”, позволяющего снизить мгновенные силы, возникающие при ударе початков за счет увеличения времени ударного импульса. Это позволит, в конечном счете, увеличить скорость протягивающих вальцов, а следовательно – и производительность комбайна. Для этого необходимо рассмотреть закономерность разрушения початка в стрепперном початкоотделяющем аппарате.

Движение стебля в русле початкоотделяющего аппарата складывается из двух фаз.

В первой фазе наблюдается свободное движение стебля по конусному зазору протягивающих вальцов. Это движение продолжается до тех пор, пока зазор между вальцами Z больше диаметра стебля $d_{ст}$ (см. рисунок 3). При достижении условия $d_{ст} \approx Z$, стебель останавливается, а движение машины продолжается.

Во второй фазе движение стебля осуществляется следующим образом: под действием лапок цепей часть стебля, расположенная выше остановившейся части стебля, наклоняется в сторону, противоположную движению стебля, и попадает в верхнюю часть вальцов, где захватывается

рифами. При достижении условия захвата стебель протягивается вниз, одновременно сжимаясь и изгибаясь.

Таким образом, стебель с початком одновременно участвует в двух движениях: поступательном ($V_{п}$) и перемещении вниз под действием протягивающих валцов ($V_{пр}$). Суммарная скорость початка при встрече с початкоотделяющими пластинами равна векторной сумме этих скоростей (рисунок 4).

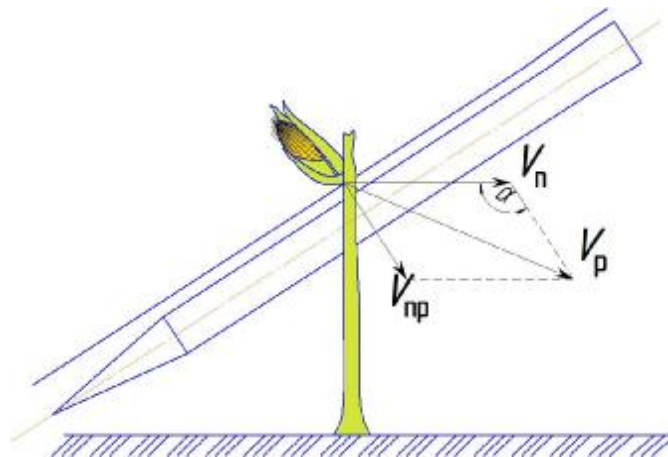


Рисунок 4 – Схема скоростей движения початка

Внешнюю силу, возникающую при ударе початка о пластины, можно определить на основе ударного импульса, если задаться временем удара:

$$J = F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где J – ударный импульс, Нс; F – сила удара, Н; Δt – время удара, с.

Скорость $V_{пр}$ можно определить из допустимого ударного импульса, при котором початок начинает разрушаться (по ранее выполненным исследованиям $J_{доп} = 1,33$ Н·с [3]):

$$V_{пр} = J_{доп} / m_{п} = 1,33 / 0,3 = 4,43 \text{ м/с}, \quad (2)$$

где $m_{п}$ – масса початка, $m_{п} = 0,3$ кг [1].

Ранее нами определено [4], что скорость цепи должна быть в 1,4 раза выше скорости комбайна. Учитывая интенсификацию процесса уборки и возможность увеличения скорости комбайна до 12 км/ч, принимаем $V_{п} = 4,66$ м/с.

Величину суммарного результирующего вектора при ударе початка о пластины можно определить по теореме косинусов:

$$V_p = \sqrt{V_{np}^2 + V_n^2 - 2V_{np}V_n \cos\alpha} = 8 \text{ м/с}, \quad (3)$$

где $\alpha = 123^\circ$.

Таким образом, суммарный ударный импульс составит

$$J_{\text{сум}} = V_p m_n = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ Нс}. \quad (4)$$

Задавшись рядом значений времени удара, определим по выражению (1) возникающую при этом величину внешней силы, приходящейся на точку контакта (см. таблицу, рисунок 5).

Зависимость силы удара початка от времени

Время удара $\Delta t, \text{с}$	Сила удара $F, \text{Н}$	Усилие, приходящееся на точку контакта, Н
0,001	2400	1200
0,002	1200	600
0,003	800	400
0,004	600	300
0,005	480	240



Рисунок 5 – Точки контакта початка с пластинами

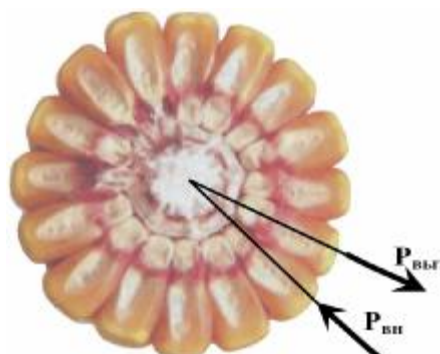


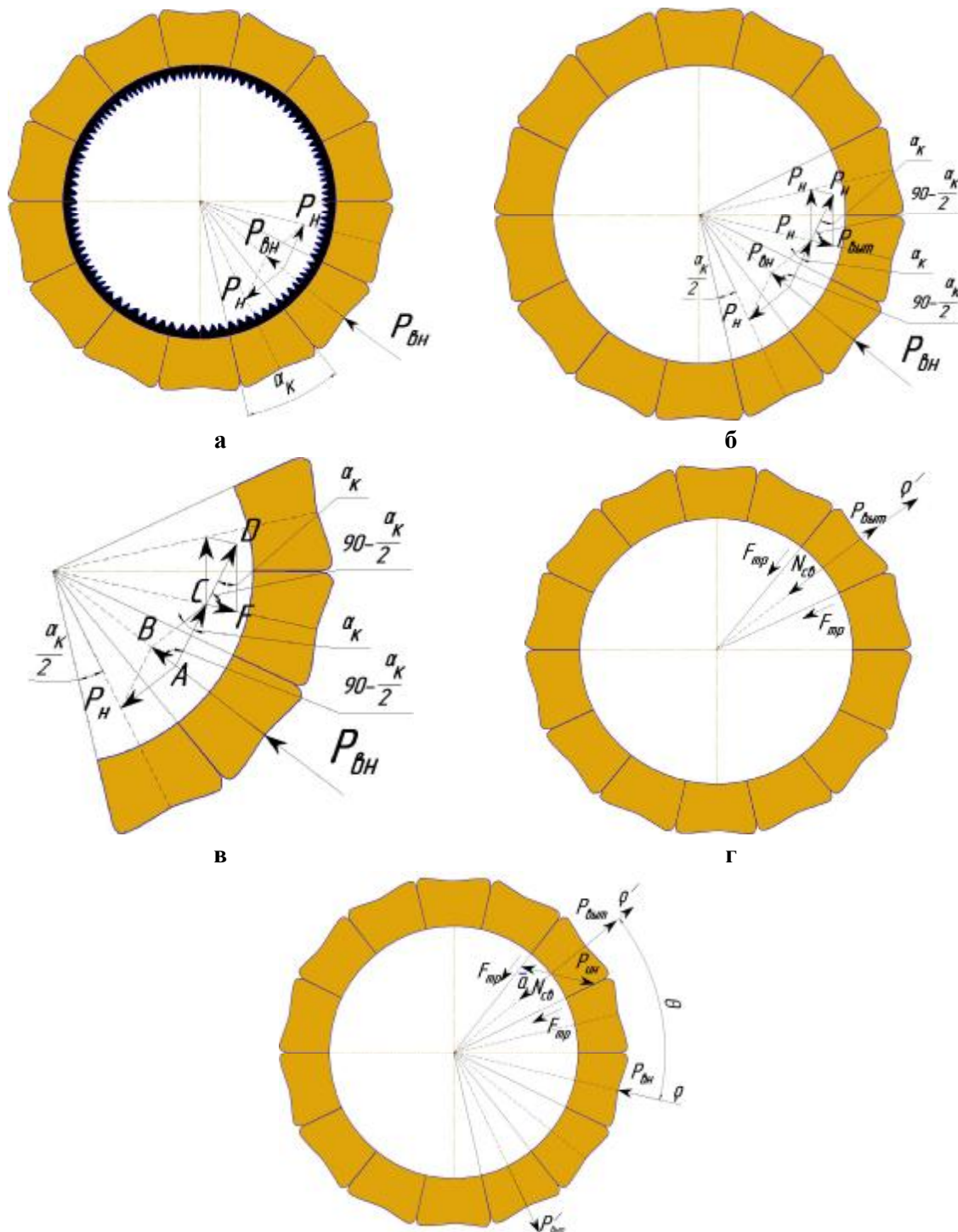
Рисунок 6 – Действие внешней и выталкивающей сил на зерно початка

В современных початкоотделяющих аппаратах отрыв початка осуществляется за счет удара початка и растяжения плодоножки. Любое механическое воздействие связано с деформацией початка. При его деформации возникают силы, разрушающие связь зерна со стержнем.

Из анализа ранее выполненных работ [5] нам известны некоторые признаки разрушения початка. Внешняя сила $P_{вн}$, действующая на зерно,

вызывает такое же действие на зерно силы $P_{\text{выт}}$, выталкивающей его из початка (рисунок б).

Выделим из початка один поперечный ряд зерен (рисунок, 7 а) и, рассматривая зерно как клин, разложим действующую силу $P_{\text{вн}}$ на две составляющие, перпендикулярные граням клина – $P_{\text{н}}$.



д

Рисунок 7 – К определению усилия, необходимого для выделения зерна из початка

Выталкивающая сила $P_{\text{выт}}$, действующая на соседнее зерно, как клин, выталкиваемый из початка, равна силе $P_{\text{вн}}$, действующей на вдавливаемый клин, то есть $P_{\text{вн}} = P_{\text{выт}}$ (рисунок 7, б). Для этого перенесем вектор силы $P_{\text{н}}$ по линии его действия в точку пересечения с центральной осью соседнего клина и разложим его на направление, перпендикулярное грани соседнего клина, и на направление его центральной оси.

Здесь треугольники ABC и CDF (рисунок 7, в) равны по принципу равенства сторон $AC = CD$ и углов, прилежащих к ним ($\alpha_{\text{к}}$ и $90 - \frac{\alpha_{\text{к}}}{2}$).

Усилие, действующее на боковую грань клина $P_{\text{н}}$, определяется из треугольника:

$$P_{\text{н}}^2 = P_{\text{вн}}^2 + P_{\text{н}}^2 - 2P_{\text{вн}}P_{\text{н}}\cos(90^\circ - \frac{\alpha_{\text{к}}}{2}), \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{к}}$ – угол клиновидности зерна.

Теоретически угол клиновидности зерна можно определить по числу рядов зерен n , расположенных на окружности початка. Это всегда четное число.

Таким образом

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{360^\circ}{n}. \quad (6)$$

Решая уравнение (5) относительно $P_{\text{н}}$, получим:

$$P_{\text{н}} = \frac{P_{\text{вн}}}{2 \sin \frac{\alpha_{\text{к}}}{2}}. \quad (7)$$

Сила трения, возникающая на боковых гранях клина (см. рисунок, 7, б), определяется:

$$F_{\text{тр}} = P_{\text{н}}f = \frac{P_{\text{вн}}f}{2 \sin \frac{\alpha_{\text{к}}}{2}}. \quad (8)$$

Зерна выдавливаются из початка клиньями, состоящими из ряда соседних (смежных в ряду) зерен, т.е. необходимо, чтобы [5, 6]

$$\alpha_k n > 2\varphi, \quad (9)$$

где n – число зерен в выдавливаемом клине.

Это неравенство уже справедливо при $n = 2$.

Рассмотрим условие равновесия сил, действующих на клин при статическом нагружении (рисунок 7, г) в проекции на ось ρ' , совпадающую с продольной осью клина – направлением его возможного перемещения:

$$\sum F_{\rho'} = P_{\text{выт}} - F_{\text{тр}} \cos \frac{\alpha_k}{2} - F_{\text{тр}} \cos \frac{\alpha_k}{2} - N_{\text{св}}, \quad (10)$$

где $N_{\text{св}}$ – прочность связи зерна со стержнем, Н.

Условие разрыва связи зерна со стержнем для этого случая имеет вид:

$$P_{\text{выт}} > 2F_{\text{тр}} \cos \frac{\alpha_k}{2} + N_{\text{св}}. \quad (11)$$

С учетом того, что $P_{\text{выт}} = P_{\text{вн}}$; $F_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{вн}} f}{2 \sin \frac{\alpha_k}{2}}$; $f = \text{tg } \varphi$, сила, которую

необходимо приложить к зерну для разрушения связи зерна со стержнем, будет составлять:

$$P_{\text{вн}} > \frac{N_{\text{св}}}{1 - \text{tg } \varphi \cdot \text{ctg } \frac{\alpha_k}{2}}. \quad (12)$$

Динамическое воздействие характеризуется наличием ускорения початка в момент его контакта с телом, сообщаемым ему ускорение. Привести условие равновесия сил при динамическом воздействии можно, добавив в рассмотренное условие (10) силу инерции, возникающую при ударе початка.

Если рассматривать зерна початка как точки единого сплошного тела, то ускорения, приобретенные ими в момент удара, будут иметь

одинаковую величину, а их векторы будут параллельны вектору ускорения в точке нагружения. Будем характеризовать положение зерна угловой координатой θ , отсчитываемой от оси ρ' (рисунок 7, д).

$$\sum F_{\rho'} = P_{\text{выт}} - 2F_{\text{тр}} \cdot \cos \frac{\alpha_k}{2} - N_{\text{св}} + P_{\text{ин}} \cdot \cos \theta. \quad (13)$$

Условие разрыва связи и выделения зерна:

$$P_{\text{вн}} + P_{\text{ин}} \cdot \cos \theta \geq \frac{P_{\text{вн}} \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha_k}{2}}{\sin \frac{\alpha_k}{2}} + N_{\text{св}}. \quad (14)$$

Подставляя значение

$$P_{\text{ин}} = \frac{m_3(V-v)}{\tau}, \quad (15)$$

где m_3 – масса зерна, кг; v , V – скорость початка до и после удара, м/с;
 τ – время удара, с,

получим

$$P_{\text{вн}} \geq \frac{N_{\text{св}} - m_3 \frac{(V-v)}{\tau} \cdot \cos \theta}{1 - \text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \frac{\alpha_k}{2}}. \quad (16)$$

Выражение (16) может быть использовано и при выделении зерна в виде клиньев (5 зерен).

Однако в этом случае углы θ и $\frac{\alpha_k}{2}$ надо рассматривать с точки зрения углов клина, а $N_{\text{св}}$ – как векторную сумму сил связи зерен клина со стержнем, а само выделение клиньев будет происходить в плоскостях, параллельных действующей силе.

Примем следующие исходные данные: $\alpha_k = 23^\circ$, $\theta = 2\alpha_k = 46^\circ$, $m_3 = 0,0003$ кг, сила связи зерна со стержнем (неизолированного) $N_{\text{св}} = 23,8$ Н, коэффициент трения зерна по зерну при влажности 18–50 % $f = 0,48$ [3, 5].

$$P_{\text{вн}} \geq \frac{3 \cdot 28,3 - 3 \cdot 0,0003 \frac{(0 - 4,66)}{0,003} \cdot \cos 46^\circ}{1 - 0,48 \cdot \text{ctg} \frac{3 \cdot 23}{2}} = 285 \text{ Н.} \quad (17)$$

Усилие, приходящееся на одну пластину, составляет $400 \text{ Н} > 285 \text{ Н}$. Это свидетельствует о том, что при ударе початка об обе пластины, как минимум, должны выделиться из початка 2 клина по 3 зерна в каждом. При этом для сокращения потерь необходимо уменьшать величину ударного импульса.

Это свойство нами учтено при разработке нового початкоотделяющего аппарата (патент № 2229209 [7]) с протягивающими вальцами и стрепперными пластинами, в конструкции которого дополнительно вводится пара протягивающих ремней, располагаемых в зоне початкоотделения над пластинами (рисунок 8).



Рисунок 8 – Экспериментальная установка с дополнительным контуром ремней

Список литературы

1. Шатилов, К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
2. Протоколы 13-134-87 (2113710), 13-84-90, 13-107-86, 13-156-84, 13-138-85 Государственных испытаний кукурузоуборочного комбайна КСКУ-6.
3. Труфляк Е.В. Физико-механические свойства кукурузы: Монография. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – С. 143–191.
4. Труфляк Е.В. Параметры процесса декапитации стеблей кукурузы и отделения початков стрепперным аппаратом: Дис... канд. техн. наук. – Краснодар, 2003. – С. 56–61.
5. Кравченко В.С. Параметры и режимы обмолота початков кукурузы. Дис... док. техн. наук. – Краснодар. Т. 1, 1996. – С. 6–252.
6. Войцехович В.В. Статическое и динамическое воздействие сил на обмолачиваемый початок кукурузы // Результаты исследования технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин: Труды / Кишинев: СХИ. – Кишинев, 1972. – Т. 64. – С. 105–110.
7. Пат. 2229209 РФ RU С 1 А 01 D 45/02. Початкоотделяющий аппарат / КубГАУ авт. В.С. Кравченко, Е.И. Трубилин, Е.В. Труфляк – Заявл. 05.01.2003, № 2003100445; Оpubл. 27.05.2004, в Бюл. № 15.