

УДК 631.331

А.И Бойко, проф., д-р. техн. наук*Национальный аграрный университет, г. Киев***Н.А. Свирень, доц., канд. техн. наук***Кировоградский национальный технический университет*

Анализ влияния параметров дозирующего устройства на эффективность отбора семян

Проанализировано влияние геометрических и кинематических параметров работы дозирующего устройства пневматического высевающего аппарата на эффективность его работы. Установлены основные закономерности изменения времени захвата семян различной формы от параметров дозирующего элемента. Выявлены рациональные значения этих параметров.

дозирующее устройство, параметры, отбор семян, рациональность

Эффективность отбора отдельных семян из общей массы дозирующими устройствами высевных аппаратов зависит от многих факторов. Большая часть из них определяют непосредственные конструктивные параметры самих аппаратов, а некоторые связаны с биологическими особенностями семян высеваемых культур.

Все эти факторы нашли свое отображение в уравнениях движения семени при его отделении от общей массы [1], однако влияние каждого из них на эффективность отбора (захвата) семени возможно только в результате решения указанных уравнений и анализа полученных результатов.

Решение уравнений движения семени при захвате его дозирующим элементом выполнено чисельными методами на основе разработанного соответствующего алгоритма и программы вычислений. При этом вычислительными процедурами предусматривается рассмотрение различных возможных форм движений семени: с поворотом и проскальзыванием по поверхности дозирующего элемента; только с поворотом вокруг собственного центра массы без проскальзывания по поверхности; с чистым скольжением (проскальзыванием) без поворота вокруг центра массы.

Процесс отбора семени дозирующим элементом пневматического высевающего аппарата осуществляется тогда, когда диск с присасывающими отверстиями проходит в толще семян загрузной камеры. Очевидно, что время захвата в этом случае ограничено временем этого движения $t_{дс}$ и не должно его превышать, то есть должно выполняться условие

$$t_{зах} \leq t_{дс} = \frac{\varphi_{ax}}{\omega}$$

где φ_{ax} - центральный угол сектора загрузки высевающего аппарата;

ω - угловая скорость движения дозирующего диска.

Таким образом, данным исследованием преследуется цель – получения основных характеристик отбора и выделения семян из общей массы при изучении движения семени в области присасывающего отверстия дозирующего элемента. На основании этого определяются технологические параметры высевающего аппарата, поскольку от качества выполнения этой важнейшей операции зависит точность, производительность, универсальность и другие показатели его работы. Однако для выполнения процесса захвата семени необходимо, чтобы оно легко заполняло ячейку присасывающего отверстия диска, а затем удерживалось там вплоть до наступления фазы сбрасывания и подачи в борозду.

Технологические показатели высевающего аппарата определяются его конструктивными параметрами, в которые, прежде всего, входят такие как: диаметр диска, угловая скорость его вращения, количество отверстий на диске и шаг их расстановки, а также диаметр присасывающих отверстий.

Результатом решения поставленной задачи является определение функциональных зависимостей (связей) обобщенных координат: угла собственно поворота семени Θ и пути его скольжения по поверхности присасывающего отверстия $X_{ск}$ от времени t движения. То есть установление функций вида:

$$\begin{aligned}\Theta &= f(t); \\ X_{ск} &= f(t).\end{aligned}$$

Исследование движения семени в области присасывающего отверстия имеет важное значение так как именно эта ответственная операция определяет эффективность работы дозирующего устройства.

Основными параметрами входящими в уравнение движения семени и представляющими интерес в исследовании и анализе их влияния на время захвата присасывающим отверстием являются: угловая скорость вращения диска - ω ; радиус вращения присасывающих отверстий - r_{01} ; сила присасывания P , обусловленная перепадом давлений; форма присасывающего отверстия выраженная углом его конусности α ; форма семени, представляемая в сечении эллипсом с полуосями a и b .

Таким образом, вид перемещения семени может происходить по-разному в зависимости от сочетания параметров ω , r_{01} , P , α , a и b , а также состояния контактируемых поверхностей влияющих на коэффициент трения между семенем и диском. Это движение может быть в виде чистого перекатывания по конической поверхности присасывающего отверстия, в виде скольжения по этой поверхности или комбинации указанных движений, на характер которых оказывают влияние величина силы трения в зоне контакта.

Если форма семени не оказывает существенного влияния при движении его со скольжением, то при движении перекатыванием ее роль важна. От формы семени при таком движении зависит величина вектора равнодействующей силы R_c (рис. 1) и его направление.

Кроме этого, форма семени в виде эллипсоида определяет момент касания, то есть захвата отверстием. Под периодом захвата семени присасывающим отверстием понимается время необходимое для того, чтобы семя вошло в отверстие и произошло касание при котором выполняется условие $d = 0$ (рис. 1).

Исходя из проведенных вычислений построены графические зависимости устанавливающие взаимосвязи между угловой скоростью дозирующего диска ω и временем захвата семени $t_{зах}$, а также радиусом расположения присасывающих отверстий r_{01} и временем захвата (рис. 2). Результаты вычислений получены при фиксированных усредненных значениях остальных параметров.

С увеличением угловой скорости вращения диска возрастает и линейная скорость перемещения присасывающих отверстий в зерновой массе. Так как сектор захвата (область, в которой находятся зерна) остается постоянным, то время движения отверстия в слое семян сокращается, а скорость их относительного перемещения возрастает. Очевидно это приводит к более активному взаимодействию присасывающих отверстий с зерновой массой, что в свою очередь, уменьшает время присасывания (захвата) зерен. Как видно из полученных графиков (рис. 2, кривая а) эта зависимость нелинейна и отражает уменьшение времени захвата от увеличения угловой скорости дозирующего диска. В области пересечения полученного графика со временем движения диска в слое семян $t_{дс}$ определяются рациональные соотношения параметров сектора загрузки и скорости движения дозирующего элемента. Так, для

выбранных параметров расчета угловая скорость диска находится в области близкой к $\omega = 8 \text{ с}^{-1}$.

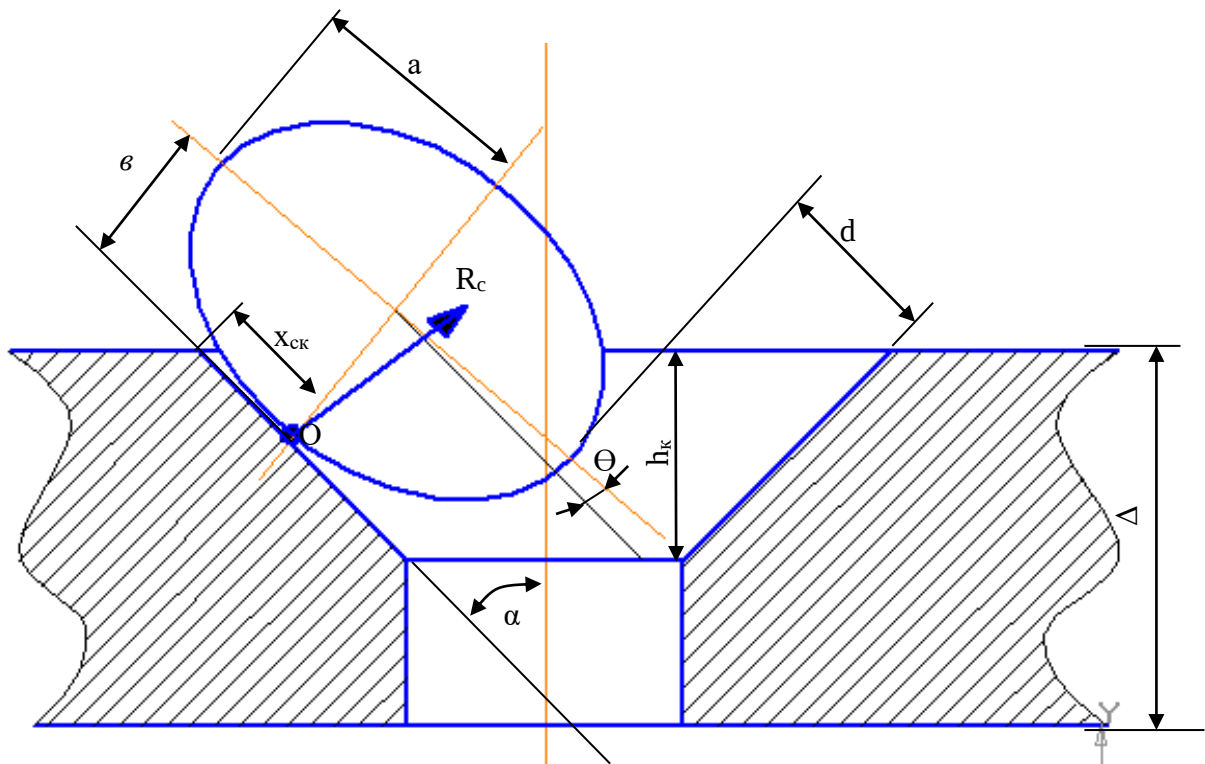


Рисунок 1 – Схема контакта семени с присасывающим отверстием

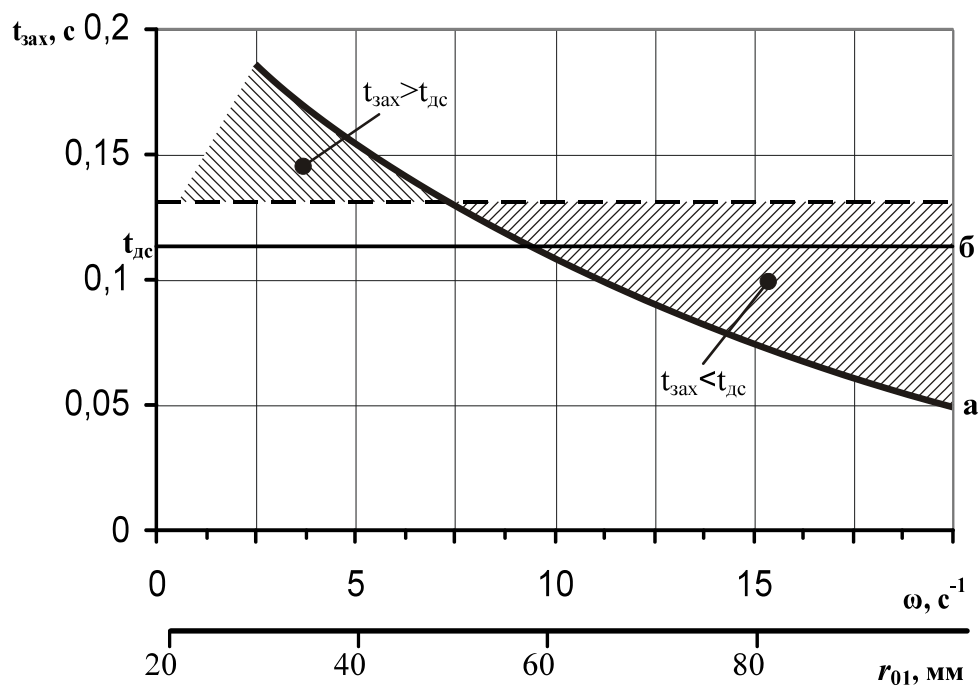


Рисунок 2 – Зависимость времени захвата семени присасывающим отверстием от угловой скорости вращения высевающего диска (а) и радиуса вращения присасывающих отверстий (б).

Очевидно, снижение времени захвата с увеличением оборотов высевающего диска, являясь, само по себе, положительным явлением в увеличении

производительности высевающего аппарата, содержит и отрицательные моменты, связанные с потерей качества дозирования. Полученный результат требует экспериментальной проверки при проведении соответствующих лабораторных и полевых исследований.

В случае, если время движения семени до полного входа в отверстие и касания с ним больше чем время нахождения присасывающего отверстия в секторе загрузки (в массе семян), когда есть перепад давления и действует присасывающая сила P , то работа дозатора неэффективна, и могут наблюдаться пропуски, то есть незаполнения присасывающих отверстий. Необходимо, чтобы выполнялось обратное условие, при котором $t_{\text{зах}} < t_{\text{дс}}$.

То есть, семя должно успевать попасть в ячейку присасывающего отверстия и вместе с ним перемещаться к сектору сброса семян.

Исследованиями влияния радиуса расположения присасывающих отверстий r_{01} на время захвата при дозировании не установлено существенных изменений (рис. 2, кривая б). Увеличение радиуса r_{01} увеличивает линейную скорость перемещения присасывающего отверстия в слое семян, что активизирует контактное взаимодействие и благоприятствует захвату семени. Однако, при этом, если не меняются другие параметры дозирующего устройства, то увеличивается путь семени в секторе захвата, что, очевидно, нивелирует полученные преимущества. В результате зависимость имеет практически линейный характер, который указывает на несущественное влияние радиуса расположения присасывающих отверстий на время захвата семян.

Научный и практический интерес представляет изучение влияния перепада давления в камерах, которое обуславливает действие присасывающей силы P на время захвата семени отверстием. Как и в предыдущем исследовании для установления искомой закономерности остальные параметры в расчетах приняты величинами постоянными.

Действие присасывающей силы лежит в основе работы пневмомеханического высевающего аппарата, поэтому исследование ее влияния существенно важно для повышения эффективности работы аппарата.

Как видно из полученной зависимости (рис. 3) время присасывания с увеличением присасывающей силы P вначале быстро уменьшается, а затем изменяется незначительно. На графике можно выделить два характерных участка: период резкого снижения времени захвата семени при увеличении присасывающей силы (1) и период, когда дальнейшее увеличение присасывающей силы мало влияет на изменение времени захвата (2). Для этого периода время захвата несколько стабилизируется на уровне $t_{\text{зах}} \sim 0,1 \text{ с}$. Полученный результат вполне удовлетворяет конструкциям современных высевающих аппаратов реализующих передовые технологии посева.

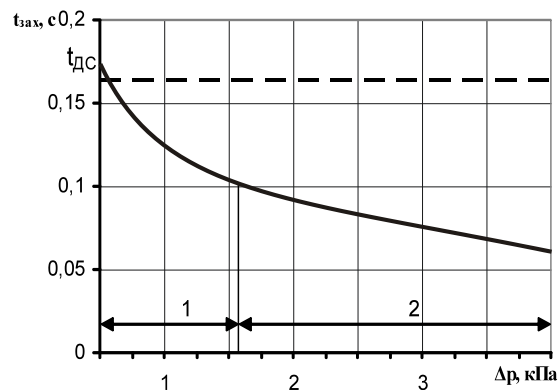


Рисунок 3 – Зависимость изменения времени захвата семени присасывающим отверстием от усилия присасывания

Форма отверстия также оказывает влияние на время присасывания (захвата) семени. Как принято в данном исследовании формой отверстия, по которому осуществляется движение семени при заходе его в отверстие является коническая поверхность. Выбор такой поверхности не случаен и обусловлен желанием расширить универсальность аппарата, который мог бы работать на высевах более широкого класса культур имеющих семена различных размеров. В то же время, известно, что кроме конической формы отверстия для повышения универсальности аппаратов предложены и другие их формы: например – тороидальная [2].

Форму конической поверхности в исследуемом случае целесообразно характеризовать углом конусности отверстия α и высотой конуса h_k (рис.1). Для упрощения расчетов примем, что высота конуса будет величиной постоянной и равной половине толщины высевающего диска.

$$h_k = \frac{\Delta}{2}$$

Очевидно, что форма присасывающего отверстия и форма самого семени взаимосвязаны их взаимодействием при осуществлении движения семени до заполнения отверстия и удержания его там. При изучении влияния формы конического отверстия на эффективность захвата семени примем его форму фиксированной в виде эллипсоида с постоянными параметрами (длинами полуосей в сечении a , b) и будем варьировать только формой отверстия изменяя его конусность, оставив высоту конуса также величиной постоянной.

После выполнения вычислительных процедур построены соответствующие графические зависимости (рис. 4), отражающие изменение времени захвата семени от угла конусности присасывающего отверстия. Графики получены для трех разных уровней присасывающей силы P_1 , P_2 и P_3 . Причем $P_3 > P_2 > P_1$. Все полученные зависимости имеют нелинейный характер, показывающий, что в начале увеличения угла α наблюдается снижение времени захвата

Причем, чем больше усилие присасывания семени, тем быстрее происходит это снижение. С дальнейшим увеличением угла конусности ($\alpha > 20^\circ$) интенсивность снижения времени захвата уменьшается до нулевого значения, после чего время захвата снова начинает расти. Полученные зависимости с экстремумом–минимумом указывают на конкурирующее действие факторов в процессе присасывания семени. Очевидно, при малых α в процессе захвата, роль силы веса и центробежной силы мало значимы. Более существенно в этом случае влияние присасывающей силы P . По мере увеличения угла конусности происходит перераспределение усилий, действующих на семя. При этом также увеличивается путь семени по конической поверхности, поскольку и сама поверхность возрастает. Можно предположить, что с увеличением угла α увеличивается тангенциальная составляющая направленная вдоль поверхности конуса, что благоприятно сказывается на процессе захвата семени. В то же время нормальная составляющая этой силы падает, что также способствует движению семени в глубь отверстия, поскольку уменьшается сила трения семени о коническую поверхность. Сила веса и центробежная сила направлены перпендикулярно оси отверстия, поэтому их влияние на время захвата семени противоположно влиянию присасывающей силы P и увеличение угла конусности отрицательно сказывается на времени захвата, увеличивая его.

Конкурирующее действие силовых и геометрических факторов на процесс движения семени в глубь присасывающего отверстия довольно сложно, как сложно и само движение, которое может происходить в виде скольжения семени по поверхности, а также в виде его качения. Комбинацией этих движений зависящих от сил трения в контакте семени с поверхностью отверстия определяется окончательный результат –

сокращение времени захвата, а значит и повышение эффективности работы высевающего аппарата.

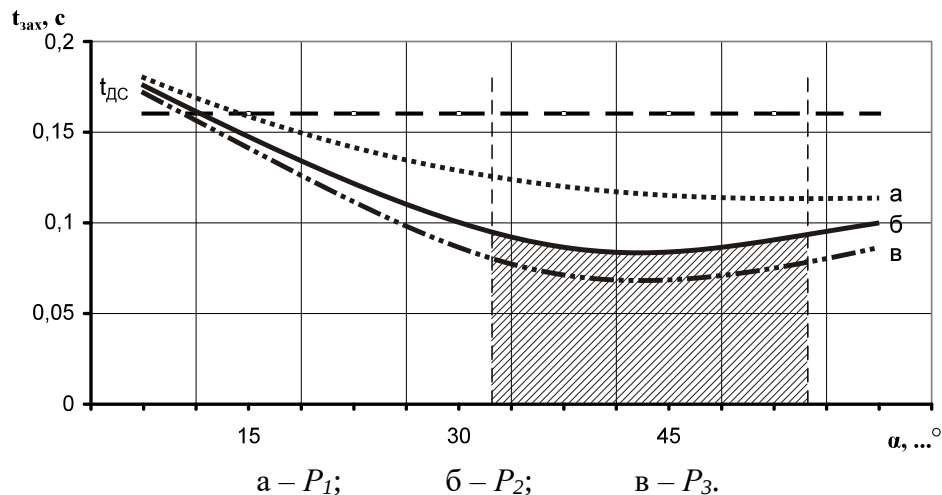


Рисунок 4 – Влияние угла конусности присасывающего отверстия на время захвата семени

С уменьшением угла конусности α лобовое сопротивление движению семени в глубь отверстия растет, так как уменьшается тангенциальная составляющая силы P , следовательно и время захвата семени увеличивается.

Проведенные исследования показывают и подтверждают факт улучшения захвата семян в случае придания присасывающему отверстию конической формы. Однако увеличение конусности полезно в ограниченном диапазоне увеличения угла α и действия присасывающей силы P .

Таким образом, общий эффект сокращения времени присасывания семени является сложной комбинацией действия силы веса центробежной силы, которая вследствие вращения диска постоянно меняет свое направление, присасывающей силы и геометрических параметров отверстия, которые обуславливают распределение составляющих этих сил и определяют длину пути семени до полного его перемещения в глубь отверстия.

Время захвата может существенно увеличиваться, если присасывающая сила выбрана соизмеримой с суммой силы веса и центробежной силой. Тогда зависимость времени захвата от угла конусности имеет более выраженный экстремальный характер с минимумом в области углов $35^\circ < \alpha < 50^\circ$ (рис. 4).

Немалое влияние на процесс захвата семени присасывающим отверстием оказывает сама форма семени. В проводимом исследовании она принята в виде эллипсоида, что наилучше описывает реальную форму высеваемых семян зерновых культур.

Как усредненная характеристика формы семени эллипсоид наилучшим образом описывает геометрию семян, однако, если конкретно характеризовать семена тех или иных культур, то эллипсоидная форма может претерпевать различные вариации. В математическом описании это означает изменения в соотношении длин большой и малой полуосей эллипса как отображения эллипсоида в плоскость его главного сечения. Таким образом процесс присасывания семян различных культур можно моделировать изменяя параметры эллипса.

Форма семени может быть определена величиной отношения длин полуосей эллипса $\frac{a}{b}$. Если это отношение равно единице, то есть $a=b$, то эллипс вырождается в

окружность. При увеличении отношения $\frac{a}{b} > 1$ форма эллипса удлиняется, представляя усредненную форму семян той или иной моделируемой культуры.

Общая закономерность влияния формы семени на время захвата его присасывающим отверстием дозирующего диска представлено на рис. 5.

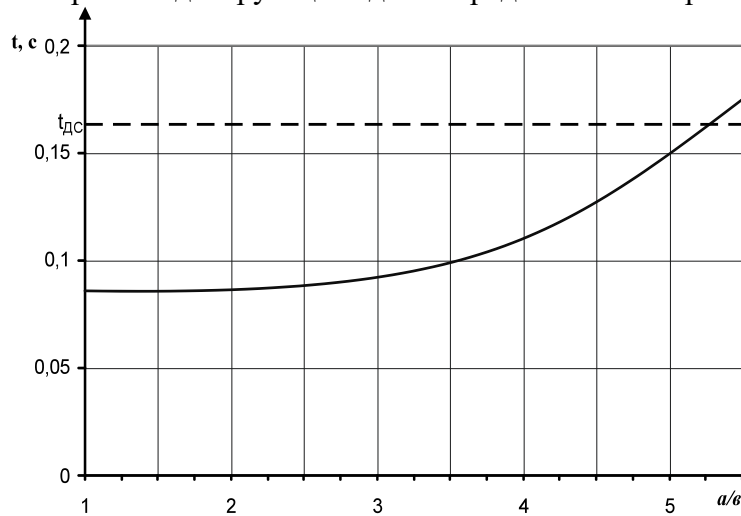


Рисунок 5 – Влияние формы семени на время захвата его присасывающим отверстием дозирующего элемента

Как видно из полученного графика зависимость имеет нелинейный характер. При отношении длин полуосей семени $\frac{a}{b} = 1$ наблюдается самое короткое время присасывания. Равенство полуосей семени указывает на его сферическую форму представляемую в сечении уравнением окружности. Очевидно семя такой формы в своем движении по поверхности присасывающего отверстия совершает в основном перекатывание. Симметричная форма семени способствует его лучшему улавливанию коническим отверстием. Причем четкая линия сопряжения конуса со сферой создает предпосылки хорошего удержания семени вплоть до наступления фазы сбрасывания для последующего его высева.

Увеличение отношения длин полуосей описывает форму удлиненного семени. Причем, чем больше это отношение, тем семена более продолговатой формы. Это отражается на характере его движения вблизи присасывающего отверстия. Увеличение времени захвата с увеличением отношения длин полуосей можно объяснить возрастанием роли скользящего движения в общем движении некруглого семени в области прилегающей к присасывающему отверстию (рис. 4). То есть, по мере увеличения эллипсности движение семени становится комбинированным с постепенным все большим преобладанием скользящего движения над качением. Затруднение в общем движении к центру присасывающего отверстия приводит к возрастанию времени захвата семени. Причем нарастание времени захвата происходит довольно быстро, указывая на снижение эффективности работы пневмомеханических аппаратов на семенах некруглой удлиненной формы.

Научный и практический интерес представляет изучение дозирования семян разной формы в сочетании с изменением геометрии присасывающего отверстия. Именно этот процесс контактного взаимодействия семян различной эллипсности с поверхностями отверстий наилучшим образом адаптированных к их присасыванию и перемещению в зону сбрасывания обеспечивает производительность и точность посева. Эта задача наиболее сложная, а ее решение наиболее важно для обеспечения качественного посева растительных культур.

Результаты исследований на основе аналитического моделирования движения семян в зоне их захвата присасывающим отверстием представлены графическими зависимостями на рис. 6.

Для зерен сферической формы характерны относительно низкие значения времени захвата, которые почти в три раза меньше времени движения дозирующего диска в слое семян (рис. 6, кривая а). Это указывает на высокую скорость захвата семян и большую вероятность того, что за время движения диска в слое все его присасывающие отверстия проходящие сектор загрузки будут заполнены семенами. Незначительное увеличение времени захвата с возрастанием угла конусности присасывающего отверстия по-видимому связано с удлинением пути его движения по конической поверхности до полного соприкосновения с ней.

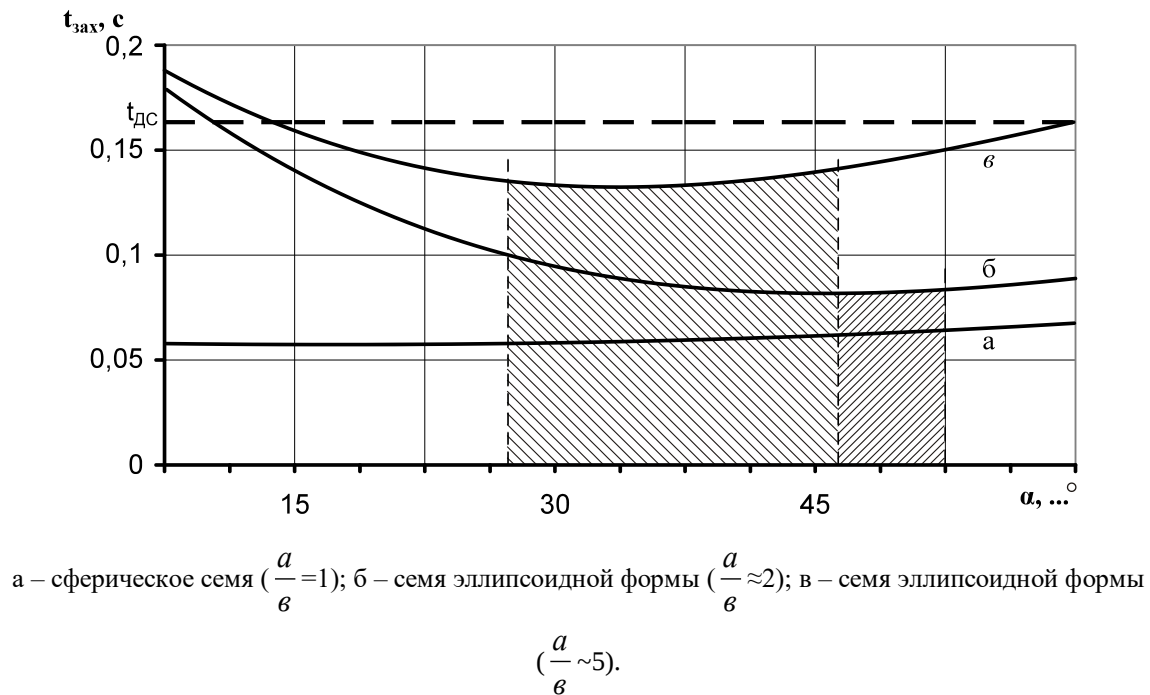


Рисунок 6 – Зависимость времени от угла конусности отверстия для семян различной формы

Увеличение эллипсности семян, когда длина большей оси примерно в два раза превышает длину малой $\frac{a}{b} \approx 2$ можно рассматривать как рассмотренный ранее типовой случай комбинированного движения семени с вращением и проскальзыванием по конической поверхности присасывающего отверстия (рис. 6, кривая б).

Дальнейшее увеличение эллипсоидности семени при $\frac{a}{b} \sim 5$ отрицательно влияет на скорость его захвата. Как видно из полученной графической зависимости (рис. 5, кривая в) время захвата приближается ко времени движения дозирующего диска в слое семян $t_{\text{зах}} \approx t_{\text{д.с.}}$. То есть захват семени находится на грани осуществимого и только, как видно из полученных данных, в области углов $50^\circ \geq \alpha \geq 25^\circ$ он становится возможным.

Это указывает на снижение вероятности захвата удлиненных семян пневмомеханическим дозирующим устройством.

Таким образом установлено, что важной характеристикой эффективности работы дозирующих устройств высевных аппаратов пневмомеханического и других типов является скорость захвата семени. Она определяет время захвата отдельного семени, которое не должно превышать время прохождения дозирующим элементом слоя массы семян в загрузочной камере устройства.

Движение семени вблизи присасывающего отверстия представляет собой сложный процесс перемещения тела (семени) округлой формы с элементами качения и проскальзывания. Соотношение составляющих движения влияет на общее время захвата (присасывания) семени и зависит как от самой формы семени, так и от конструктивных параметров присасывающего отверстия. Исследованиями при моделировании движений семян установлено, что преимущественное движение качением, более характерное для семян округлой формы, близкой к сферической, сокращает время их захвата отверстием, что повышает вероятность своевременного заполнения присасывающих отверстий.

Как показали исследования, снижение вероятности захвата наблюдается для семян удлиненной формы. Их присасывание отверстием происходит за более продолжительное время. Причем, в общем случае, чем больше эллипсность семени, тем время захвата так же больше. Связано это, по-видимому, с ухудшениями перемещения семян по поверхности дозирующего элемента вблизи присасывающего отверстия.

Таким образом, одной из самых важных операций посева является дозирование семян путем выделения их из общей массы в регулярный поток для последующей подачи их в почву. Установлено, что важнейшим моментом в этой операции является решение контактной задачи перемещения семени при его захвате.

Время захвата зависит от характера перемещения семян, определяется как параметрами семян, так и параметрами дозирующего элемента, а также зависит от масштабного фактора их соотношений.

Выводы:

1. Дозирование семян в высевальном аппарате является сложным процессом организации их регулярного потока при выделении из общей массы. Эффективность процесса зависит от характера движения семян в зоне захвата дозирующим элементом.
2. Качество дозирования определяется вероятностью выполнения процесса захвата семени, которая зависит как от конструктивной формы дозирующего элемента, так и от формы самого семени, а также от их соотношений.
3. Установлено, что минимальное время захвата (присасывания) наблюдается для семян сферической формы, для которых оно до трех раз меньше, чем время движения присасывающего отверстия в секторе загрузки.
4. Оптимальной конусностью присасывающих отверстий следует считать $50^\circ \geq \alpha \geq 35^\circ$, при которой время захвата принимает минимальные значения.
5. Одним из определяющих факторов влияющих на эффективность работы пневмомеханических высевальных аппаратов является присасывающая сила. Особо значимо ее влияние в зоне небольших перепадов давлений. Дальнейшее увеличение присасывающей силы приводит к некоторой стабилизации времени захвата семян.

Список литературы

1. Бойко А.И., Свирень Н.А. Моделирование движения семени при захвате его присасывающим отверстием диска высевального аппарата. // Кировоград, 2004; Вип. 34. С. 197-200.
2. Амосов В.В. Аналіз процесу відокремлення насіння присмоктувального отворів вакуумних висівних апаратів. // Техніка в с.-г. виробництві. Галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КНТУ, Вип. 15. – Кировоград: КНТУ, 2004. – С438-444.

Проаналізований вплив геометричних і кінематичних параметрів роботи дозуючого пристрою пневматичного висівного апарату на ефективність його роботи. Встановлені основні закономірності зміни часу захоплення насіння різної форми від параметрів дозуючого елемента. Виявлені раціональні значення цих параметрів.

Analysed influence of geometrical and kinematics parameters of work of measuring out device of pneumatic sowing vehicle on efficiency of his work. Set basic conformities to the law of change of time of fascination of seed of a different form from the parameters of measuring element out. Exposed rational values of these parameters.

Получено 1.09.05