УДК 631.171:581.1:574

УСЛОВИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОТРАВЛИВАТЕЛЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ИНКРУСТАЦИЮ СЕМЯН БЕЗ ИХ ПОВРЕЖДЕНИЯ [1]

1 – Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00250

© 2020 г. М.В. Суханова

В сельскохозяйственном производстве продукции растениеводства весьма актуальна проблема травмирования и разрушения семенного материала рабочими органами сельскохозяйственных машин. Исключение разрушения семян гороха и других бобовых культур при предпосевной обработке позволит ускорить введение системы органического земледелия в Ростовской области и других регионах России, повысить качество посевного материала, уменьшить расход препаратов-протравителей, перейти на использование биопрепаратов для обработки семян. В статье приведены результаты анализа напряженно-деформированного состояния рабочей поверхности протравливателя при ударном взаимодействии с семенным материалом. Приводится обоснование условий получения смеси, обработанной химическим или биологическим препаратом, с сохранением целостности ее частиц при многократном соударении с рабочей поверхностью смесителя-протравливателя, сокращением расхода семенного материала при посеве, экономным и рациональным использованием препаратов для обработки семян перед посевом. Описан механизм процесса «встряхивающего смешивания», обеспечивающего покрытие семян препаратом-протравителем или биопрепаратом. Доказано, что для смешивания семян и капель жидкости-протравителя без повреждения и разрушения семян необходимо и достаточно, чтобы предел упругости материала рабочей поверхности был больше или равен напряжению отскока, зависящего от массы семян и жесткости материала рабочей поверхности и не превышал предела прочности семенного материала. Выполнение граничных условий позволит выбирать материал для изготовления рабочих органов протравливателя в зависимости от массы и физико-механических свойств обрабатываемого семенного материала для получения сухой, полусухой или увлажненной смеси при условии сохранения целостности семян. Полученные знания формируют теоретические основы создания новых сельскохозяйственных машин для предпосевной обработки легкотравмируемого семенного материала. Необходимость и целесообразность внедрения в сельскохозяйственное производство машин для предпосевной обработки семенного материала с рабочими органами, не травмирующими семена, обоснована скорейшим внедрением экологического сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: предпосевная обработка, протравливание, протравливатель, инокуляция, ударное воздействие, напряженно-деформированное состояние, травмирование и разрушение семян, всхожесть, потенциальная энергия деформации, экологическое сельское хозяйство, биологизация, смешивание, семена, сельскохозяйственные машины.

BOUNDARY CONDITIONS OF THE INTENSE DEFORMED STATE FOR EFFECTIVE AREA OF TREATER ENSURING INCRUSTATION WITHOUT DAMAGE TO SEEDS [1]

1 – This work was supported by RFBR (RFFI) grant № 19-01-00250

© 2020 г. M.V. Sukhanova

In crop production the problem of injury and destruction of seed material by the effective bodies of agricultural machines is very relevant. The elimination of the destruction of pea seeds and other leguminous crops during pre-sowing treatment will accelerate the introduction of an organic farming system in the Rostov Region and other regions of Russia improve the quality of seed reduce the seed dressing consumption, and switch to the use of biological products for seed treatment. In the article is analyzed the intense deformed state for the effective area of the dresser during impact interaction with seed material. The substantiation of the conditions for obtaining the chemical or biological preparation processed mix with the preservation of the integrity of its particles upon repeated impact with the effective area of the treater-mixer is given, the consumption of seed material during sowing is significantly reduced and the preparations for seed treatment before sowing are used economically and rationally. The mechanism of the process of «shaking mixing» is described which provides the coating of seeds with a dressing agent or biological product. It has been proven that for mixing seeds and drops of the seed disinfectant without destroying the seeds, it is necessary and sufficient so that the elastic limit of the material of the effective area is greater than or equal to the rebound tension. Depending on the weight of seeds and the rigidity of the effective area material and did not exceed the strength limit of the seed material. Fulfillment of the boundary conditions will allow choose the material for the manufacture of the working bodies of the seed dresser depending on the mass and physic-mechanical properties of the processed seed material to obtain dry, semi-dry or moistened mixture while maintaining the integrity of the seeds. The acquired knowledge forms the theoretical basis for the creation of new agricultural machines for pre-sowing treatment of easily injured seed material. The necessity and expediency of introducing machines for pre-sowing treatment of seed material with working bodies that do not injure seeds into agricultural production is justified by the speedy introduction of ecological agricultural production.

***Keywords**:* presowing treatment, grain dressing, treater, inoculation, impact, intense deformed state, damage and destruction of seeds, germination, potential strain energy, ecological agriculture, biologization, mixing, seeds, agricultural machines.

Введение. Инкрустация (инокуляция) – такой вид предпосевной обработки семенного материала, при котором на поверхность семян наносится жидкий состав на основе водного раствора [1]. В растворе содержатся защитные вещества: фунгициды, бактерициды, инсектициды, различные микро- и макроудобрения, стимуляторы роста, нейтральные красители, клеящие вещества. Такой способ обработки семян обеспечивает качественное покрытие семян, получение дружных всходов и позволяет посеять даже мелкие семена [1, 2]. Конкретный тип инкрустации выбирается в зависимости от форм препаратов, их свойств, обрабатываемой культуры, вида патогенного микроорганизма или вредителя, состояния семян. В ряде случаев при инкрустации используют пленкообразующие вещества, наносимые на поверхность семян при инкрустировании, которые закрывают микротравмы на семенах, защищают семена от вредного воздействия патогенной микрофлоры почвы, сдерживают потери биологически активных веществ с поверхности семян [2, 3].

В растениеводческой отрасли не решена проблема травмирования и разрушения семенного материала рабочими органами сельскохозяйственных машин [4, 5]. Необходимость и целесообразность скорейшего внедрения в сельскохозяйственное производство машин для предпосевной обработки семенного материала, не травмирующих семена, обоснована в работах авторитетных российских и зарубежных ученых [5–11]. Наиболее остро эта проблема касается легкотравмируемых семян зернобобовых: гороха, нута, сои [9, 13]. Использование бобовых культур для компенсации азотных удобрений, снижения затрат на получение урожая и кормовой продукции, повышения плодородия почв является наиболее доступным приемом [12, 13]. Самой распространенной бобовой культурой, использующейся в севооборотах Ростовской области, является горох, обладающий, как и другие бобовые, способностью фиксировать и накапливать атмосферный азот в симбиозе с клубеньковыми бактериями [2, 13]. Решение проблемы травмирования семян гороха и других бобовых культур позволит ускорить введение системы органического земледелия в России, повысить качество посевного материала, уменьшить расход препаратов, перейти на использование биопрепаратов для обработки семян.

Методика исследования. В работе приводится обоснование условий получения инкрустированной смеси семенного материала и жидкого препарата-протравителя с сохранением целостности семян при многократном соударении о рабочую поверхность смесителя-протрав-ливателя. Граничные условия позволят разработать теоретические основы создания сельскохозяйственной техники для предпосевной обработки семян, внедрение которой поможет значительно сократить расход семенного материала при посеве, экономно и рационально использовать препараты для обработки семян перед посевом. Как вещества-протравители, так и биопрепараты предпочтительнее использовать в жидком виде, поэтому в работе не акцентируется внимание на конкретной природе препарата, т.к. механизм взаимодействия семенного материала с жидким веществом практически одинаков [1, 2, 3].

Рассмотрим ударное взаимодействие семенного материала и рабочей поверхности протравливателя-инкрустатора [14, 15]. Считаем семенной материал сыпучим телом, а семя – частицей сыпучего тела. Рассматривая взаимодействие семенного материала с рабочей поверхностью, используем теоретические основы механики сыпучего тела, разработанные учеными для сыпучих тел сельскохозяйственного назначения [16, 17].

При столкновении сыпучего тела с рабочей поверхностью возникает удар – явление, сопровождающееся переходом кинетической энергии движения в потенциальную энергию деформации [18]. Скорости частиц сыпучего тела изменяются и частицы сыпучего тела, как и точки рабочей поверхности, получают ускорения. Появление ускорений вызвано силой взаимодействия *N*, появившейся во время удара:

$$N = \int_{A_к} \sigma \cdot dA, \qquad (1)$$

где σ – напряжения в точках контакта сыпучего тела и рабочей поверхности;

dA – элементарная площадка контакта;

$A_к$ – площадь рабочей поверхности.

При ударном столкновении сыпучего тела о жесткую недеформируемую поверхность напряжения передаются всем частицам, находящимся как в зоне непосредственного контакта, так и вне этой зоны. Частицы сыпучего тела и точки рабочей поверхности инкрустатора в результате удара испытывают напряжения и деформируются. Возникающие напряжения и деформации в сыпучем теле и в точках контакта рабочей поверхности связаны известными уравнениями Ламе [19]:

– для сыпучего тела

$$\begin{gathered}\frac{\partial\sigma_{x1}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xy_1}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{xz_1}}{\partial z}=\rho_1\cdot\frac{d^2\Delta_{x1}}{dt^2}\\ \frac{\partial\tau_{yx_1}}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_{y1}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_{yz_1}}{\partial z}=\rho_1\cdot\frac{d^2\Delta_{y1}}{dt^2}\\ \frac{\partial\tau_{zx_1}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{zy1}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_{z_1}}{\partial z}=\rho_1\cdot\frac{d^2\Delta_{z1}}{dt^2};\end{gathered} \quad (2)$$

– для рабочей поверхности

$$\begin{gathered}\frac{\partial\sigma_{x2}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{xy_2}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_2}{\partial z}=\rho_2\cdot\frac{d^2\Delta_{x2}}{dt^2}\\ \frac{\partial\tau_{yx_2}}{\partial x}+\frac{\partial\sigma_{y2}}{\partial y}+\frac{\partial\tau_2}{\partial z}=\rho_2\cdot\frac{d^2\Delta_{y2}}{dt^2}\\ \frac{\partial\tau_{zx_2}}{\partial x}+\frac{\partial\tau_{zy2}}{\partial y}+\frac{\partial\sigma_2}{\partial z}=\rho_2\cdot\frac{d^2\Delta_{z2}}{dt^2},\end{gathered} \quad (3)$$

где σ и τ с соответствующими индексами – проекции нормальных и касательных напряжений в любой частице сыпучего тела и точке рабочей поверхности на соответствующие координатные оси;

$\frac{\partial\sigma}{\partial(x,y,z)}$; $\frac{\partial\tau}{\partial(x,y,z)}$ – частные производные по соответствующему направлению – отношение приращений напряжений в указанном направлении к длине площадки, на которой произошло это приращение;

$\Delta_{x,y,z}$ – деформации частиц сыпучего тела и точек рабочей поверхности при ударном столкновении в проекции на соответствующие координатные оси;

$\frac{d\Delta}{dt}$ – скорости частицы сыпучего тела и точек рабочей поверхности;

$\frac{d^2\Delta}{dt^2}$ – ускорения частицы сыпучего тела и точек рабочей поверхности;

ρ – плотность частицы сыпучего тела и рабочей поверхности.

Умножением обеих частей уравнений на элементарный объем в левой части уравнений получим силы, действующие на частицы сыпучего тела и рабочую поверхность, а в правой части – произведение массы взаимодействующих частиц сыпучего тела и точек рабочей поверхности на их ускорение.

В результате соударения появляются общие контактные площадки, по которым сыпучее тело и рабочая поверхность взаимодействуют друг с другом. При контактном взаимодействии перемещения, скорости, ускорения и напряжения частиц сыпучего тела и соприкасающихся с ними точек рабочей поверхности будут одинаковы.

Определим дополнительные граничные условия, относящиеся к контактирующим площадкам, соблюдение которых позволит получить однородную инкрустированную смесь при сохранении целостности частиц сыпучего тела.

Пользуясь законом изменения количества движения применительно к частице сыпучего тела, имеем:

$$\frac{dmv}{dt}=N, \quad (4)$$

где m – масса частицы сыпучего тела (масса семени), кг;

v – скорость частицы, м/с;

N – ударная сила, Н.

В интегральной форме получим:

$$m\cdot u-m\cdot v=N\cdot\Delta t, \quad (5)$$

где u – скорость частицы сыпучего тела после удара, м/с;

v – скорость частицы сыпучего тела до удара, м/с;

N – сила удара, Н;

Δt – длительность ударного взаимодействия с рабочей поверхностью, с.

Результаты исследований и их обсуждение. В замкнутом рабочем объеме протравливателя высота падения сыпучего тела будет неизменной. Считая скорость семени при столкновении с поверхностью $u = 0$, получим:

$$m \cdot v = N \cdot \Delta t = const. \quad (6)$$

Для всего объема частиц сыпучего тела, контактирующего с рабочей поверхностью:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot v = N \cdot \Delta t = const \quad (7)$$

или

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \cdot v = \left(\int_{A_к} \sigma \cdot dA\right) \cdot \Delta t = const. \quad (8)$$

Очевидно, что если $\Delta t \to \infty$, то $N \to 0$, т.е. для уменьшения ударной силы и напряжений, возникающих при контакте частиц сыпучего тела с рабочей поверхностью, необходимо увеличивать длительность взаимодействия частиц сыпучего тела и рабочей поверхности. Для увеличения длительности взаимодействия необходимо использовать материалы, обладающие способностью демпфировать ударные силы. К таким материалам относят вязкоупругие полимерные материалы (резины), для которых, в отличие от стали, в зависимость между напряжением и деформацией входит время [20, 21].

Чем больше кинетической энергии частиц сыпучего тела перейдет в потенциальную энергию деформации рабочей поверхности, тем «мягче», слабее будет удар. При этом сыпучее тело будет перемещаться вместе с рабочей поверхностью под действием силы тяжести сыпучего тела, деформируя рабочую поверхность. Следовательно, рабочая поверхность должна значительно растягиваться под действием внешней нагрузки, чтобы «поглощать» удар. Но для интенсификации смешивания сыпучего тела с каплями вещества-протравителя или инокулянта без разрушения частиц сыпучего тела необходимо создать псевдоожиженный слой. Следовательно, должно соблюдаться условие сохранения упругих свойств рабочей поверхности, чтобы растянувшись, под действием силы веса сыпучего тела поверхность возвратилась в исходное состояние и оттолкнула частицы. Таким требованиям отвечают полимерные материалы с высокоэластичными свойствами – эластомеры.

Эластомеры – это высокоэластичные полимерные материалы, обладающие способностью значительно растягиваться до размеров, в несколько раз превышающих их длину, а после снятия нагрузки возвращаться к исходному состоянию [21].

Представим рабочую поверхность, на которую падает сыпучее тело, в виде шарнирно закрепленной балки (рисунок 1 *а*). На рисунке 1 *б* показано напряженно-деформированное состояние рабочей высокоэластичной поверхности при падении сыпучего тела.

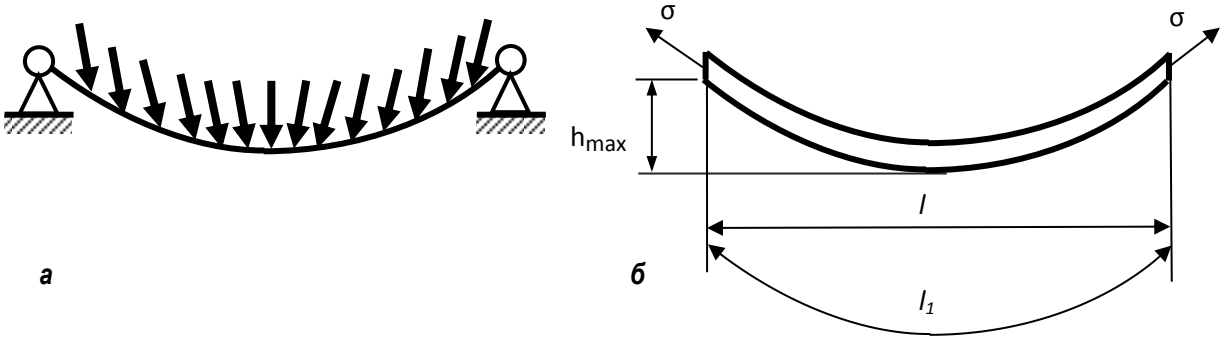
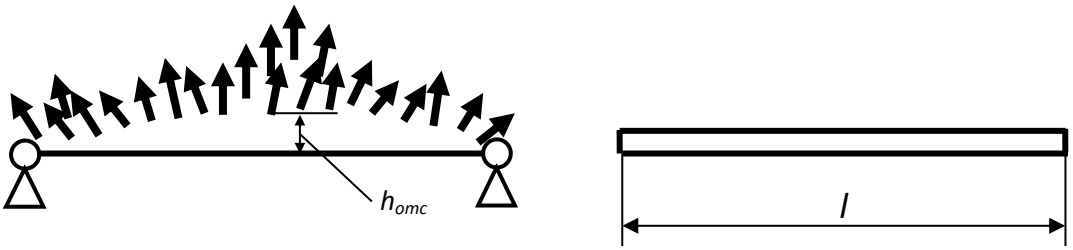


Рисунок 1 – Напряженно-деформированное состояние высокоэластичной рабочей поверхности при падении сыпучего тела

Падение частиц сыпучего тела на высокоэластичную поверхность не вызывает резкого мгновенного изменения скорости частиц по модулю и направлению. Под действием силы

веса частицы сыпучего тела падают вниз, постепенно растягивая высокоэластичную поверхность. При падении сыпучего тела на рабочую поверхность возникают контактные нормальные напряжения σ (рисунок 1 *б*), которые увеличиваются не мгновенно, а постепенно, пока все частицы сыпучего тела не покроют всю рабочую поверхность. Контактные напряжения нарастают в зависимости от нарастания силы веса сыпучего тела. Описанное взаимодействие происходит плавно, «растянуто» по времени, благодаря значительному растягиванию рабочей поверхности. Происходит накапливание и рост потенциальной энергии деформации рабочей поверхности без разрушения частиц сыпучего тела. Контактные напряжения достигают максимума, когда вся рабочая поверхность покроется слоем упавших частиц сыпучего тела. После этого волокна рабочей поверхности начнут сокращаться, возвращаясь к первоначальному ненапряженному и недеформированному состоянию под действием сил упругости эластомера.



а *б*

Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние рабочей поверхности после сокращения эластомера и отскакивания частиц сыпучего тела

При сокращении рабочей поверхности высвобождается накопленная потенциальная энергия [22]. Эта энергия передается частицам сыпучего тела, в результате чего они отскакивают от поверхности на некоторую высоту – высоту отскока ($h_{отс}$ рисунок 2 *а*). Высота отскока каждой частицы различна, в зависимости от массы каждой частицы, ее местоположения в объеме сыпучего тела и первоначальной удаленности от высокоэластичной поверхности. В процессе отскакивания частиц происходит их перераспределение в объеме сыпучего тела, приводящее к перемешиванию частиц. Капли жидкости вещества-протравителя, находящиеся в объеме сыпучего тела, будут перемещаться и перераспределяться по поверхности частиц, смачивая их. На рисунке 2 *б* показано возвращение рабочей поверхности к исходному ненапряженному и недеформированному состоянию после отскакивания частиц сыпучего тела.

После отскакивания частиц сыпучего тела от рабочей поверхности контакт между ними прекратится. Отскочив на некоторое расстояние, частицы снова начнут падать на поверхность под действием собственной силы тяжести. Рабочая поверхность снова растянется, а затем снова сократится, встряхивая частицы сыпучего тела. Процесс встряхивающего смешивания будет повторяться до затухания колебаний поверхности.

Если рабочую поверхность принудительно привести в колебательное движение внешними силовыми воздействиями со стороны механического привода, то процесс встряхивающего смешивания частиц сыпучего тела и капель жидкости будет повторяться. Кроме того, управляя внешними силовыми воздействиями, можно увеличить амплитуду колебаний и привести рабочую поверхность из вогнутого положения в выпуклое положение (рисунок 3). Это позволит интенсифицировать процесс смешивания. Достижения требуемого однородного состояния смеси можно отрегулировать, управляя амплитудой и частотой колебаний.

При осуществлении встряхивающего воздействия высокоэластичной рабочей поверхности необходимо учитывать важное ограничение – в эластомере не должно возникать остаточных деформаций в течение всего процесса взаимодействия с сыпучим телом. Для того чтобы в эластомере не возникало остаточных деформаций и

растянувшиеся волокна смогли сократиться и вернуться в исходное состояние, необходимо выполнение *первого граничного условия*: напряжения, возникающие в волокнах эластомера в результате взаимодействия с сыпучим телом, не должны превышать предела упругости эластомера:

$$\sigma_{р.п.} \leq \sigma_{упр.п.},$$

где $\sigma_{р.п.}$ – нормальное напряжение, возникающее в точках рабочей поверхности и частицах сыпучего тела при соударении;

$\sigma_{упр.п.}$ – предел упругости рабочей поверхности (справочные данные), зависящий от свойств материала поверхности (эластомера).

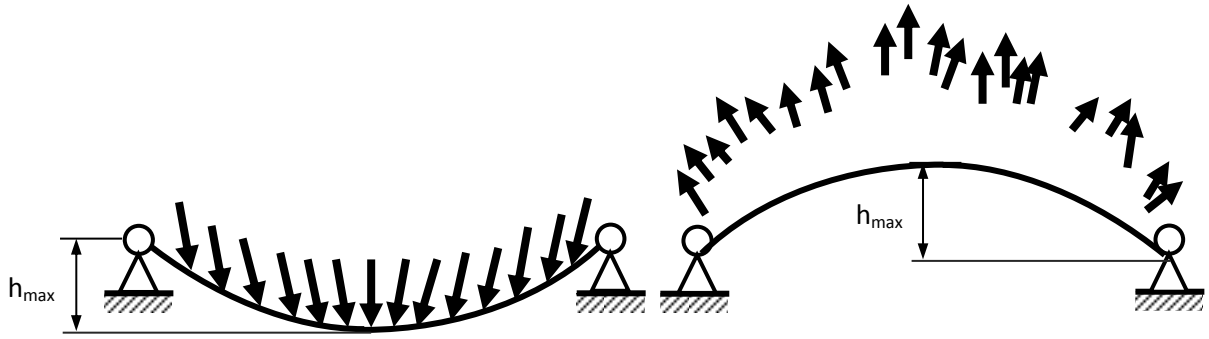


Рисунок 3 – Взаимодействие рабочей поверхности протравливателя и сыпучего тела при принудительном встряхивании рабочей поверхности

Еще одно граничное условие возникает из необходимости интенсификации перемешивания частиц сыпучего тела с каплями жидкости-протравителя с целью обволакивания протравителем поверхности семян. Для выполнения этого требования необходимо, чтобы накопленной потенциальной энергии растянутого эластомера было достаточно для отталкивания частицы и отрыва ее от рабочей поверхности.

Таким образом, *второе граничное условие заключается в следующем*: чтобы накопленная рабочей поверхностью потенциальная энергия деформации преобразовалась в кинетическую энергию движения частиц сыпучего тела, минимальное напряжение растяжения эластомера должно быть достаточным для отскока (отрыва от поверхности) как минимум одной частицы сыпучего тела при сокращении волокон эластомера, т.е.

$$\sigma_{отск\,ч.} \leq \sigma_{р.п.}, \quad (9)$$

где $\sigma_{\text{отск ч.}}$ – нормальное напряжение отскока, обеспечивающее отрыв частицы от поверхности (нормальное напряжение отскока зависит от массы обрабатываемого семенного материала и жесткости эластомера по Шору [19]);

$\sigma_{р.п.}$ – нормальное напряжение, возникающее в точках рабочей поверхности и частицах сыпучего тела при соударении.

В итоге получим допускаемое условие встряхивающего воздействия высокоэластичной поверхности:

$$\sigma_{отск.ч.} \leq \sigma_{р.п.} \leq \sigma_{упр.пов.} \quad (10)$$

Чтобы свести к минимуму травмирование частиц и исключить их полное разрушение, необходимо соблюдать *третье граничное условие*: упругое напряжение в эластомере не должно превышать предела прочности частиц сыпучего тела:

$$\sigma_{упр.пов.} < \sigma_{пч.част.}, \quad (11)$$

где $\sigma_{пч.част.}$ – предел прочности частицы.

Объединяя формулы 9–11, получим результирующее условие, обеспечивающее однородность инкрустации при сохранении целостности семян:

$$\sigma_{отск.ч.} \leq \sigma_{упр.п.} < \sigma_{пч.част.}$$

Для создания режима смешивания частиц сыпучего тела и капель жидкости, исключающего разрушение частиц, необходимо и достаточно, чтобы предел упругости материала рабочей поверхности был больше или равен напряжению отскока и не превышал предела прочности частиц сыпучего тела.

Выводы и заключение. В результате анализа напряженно-деформированного состояния высокоэластичной поверхности при падении на нее сыпучего тела сформулированы граничные условия формирования сыпучей или увлажненной смеси без разрушения частиц при многократном соударении о рабочую поверхность.

Выполнение вышеизложенных условий позволяет выбирать подходящий материал для изготовления рабочих органов протравливателя в зависимости от массы и физико-механических свойств обрабатываемого семенного материала для обеспечения инкрустации семенного материала с сохранением целостности семян. Полученные знания формируют теоретические основы создания новых сельскохозяйственных машин для предпосевной обработки легкотравмируемого семенного материала с целью интенсификации процесса обработки, исключения повреждения и разрушения семян. Необходимость и целесообразность внедрения в сельскохозяйственное производство машин для предпосевной обработки семенного материала с рабочими органами, не травмирующими семена, обоснована скорейшим внедрением экологического сельскохозяйственного производства.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00250.

Литература

1. Коць, С. Инокуляция и инкрустация семян сои: обзор технологии применения и рынка препаратов / С. Коць, П. Маменко // Пропозиция. Спецвыпуск «Современные агротехнологии по применению биопрепартов и регуляторов роста». – 2015. – С. 24–28.

2. Эффективность применения биопрепаратов на сортах озимой пшеницы в условиях Ростовской области / Д.А. Репка, Л.П. Бельтюков, Е.К. Кувшинова, Е.А. Потапов // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 1 (67). – С. 72–76.

3. Сыроватка, В.И. Ступенчатое нанесение защитно-стимулирующего препарата на семена зерновых и зернобобовых культур при предпосевной обработке / В.И. Сыроватка, М.В. Запевалов, Н.С. Сергеев // Вестник ВНИИМЖ. – 2017. – № 4 (28). – С. 75–81.

4. Хасанов, Э.Р. Анализ процесса инкрустации семян в барабанном протравливателе-инкрустаторе / Э.Р. Хасанов // Вестник Башкирского государственного аграрного универститета. – 2013. – № 1 (25) – С. 87–89.

5. Тарасенко, А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж: ВГАУ, 2003. – 331 с.

6. Zareiforoush, H. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger / H. Zareiforoush, M.H. Komarizadeh, M.R. Alizadeh // Biosystems engineering. – United Kingdom, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Urmia, 2010. – Vol. 106. – № 3. – P. 234–242.

7. Хасанов, Э.Р. Система предпосевной обработки семян в биологическом земледелии / Э.Р. Хасанов // Сберегающее (биологическое) земледелие в современном сельском хозяйстве: сб. науч. тр. / Министерство с.-х. Респ. Башкортостан, Академия наук Респ. Башкортостан. – Уфа, 2014. – С. 218–224.

8. Craessaerts, G. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester / G. Craessaerts, De Baerdemaeker J., W. Saeys, B. Missotten // Biosystems engineering. – United Kingdom, Department of Biosystems, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg, 2010. – Vol. 106. – № 2. – P. 103–111.

9. Суханова, М.В. Экспериментальное определение силы ударного воздействия поверхности различной жесткости на семена / М.В. Суханова, А.А. Прохода,
А.Н. Иванов // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 3 (47) – С. 17–21.

10. Фейденгольд, В.Б. Причины травмирования зерна и меры по их устранению / В.Б. Фейденгольд, С.Л. Белецкий // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2016. – № 6. – С. 204–217.

11. Дедов, А.В. Биологизация земледелия: современное состояние и перспективы / А.В. Дедов, Н.В. Слаук, М.А. Несмеянова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 3. – С. 57–65.

12. Липкович, Э.И. Органическая система земледелия / Э.И. Липкович, Л.П. Бельтюков, А.М. Бондаренко // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 8. – С. 2–7.

13. Влияние технологий возделывания на продуктивность сельскохозяйственных культур в полевом севообороте / Л.П. Бельтюков [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. – 2016. – № 1 (21). – С. 172–176.

14. Суханова, М.В. К обоснованию теоретического представления процесса смесеобразования в эластичном смесителе / М.В. Суханова // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 10. – С. 53–55.

15. Пат. 666364 РФ МПК A01 C 1/06. Передвижное устройство для предпосевной обработки семян / Суханова М.В.; № 2017131820, заявл. 07.09.2018. заявка от 12.09.2017. – 6 с. с ил.

16. Несмиян, А.Ю. Обоснование модели сыпучих сред / А.Ю. Несмиян // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – № 3 (23). – С. 25–35.

17. Богомягких, В.А. Функционирование бункеров максимального расхода в условиях сводообразующего истечения зерновых материалов: монография / В.А. Богомягких, А.Ю. Несмиян. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО Донской ГАУ, 2015. – 179 с.

18. Александров, Е.В. Прикладная теория и расчеты ударных систем / Е.В. Александров, В.В. Соколинский. – М.: Наука, 1969. – 210 с.

19. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400 с.

20. Большой справочник резинщика: [в 2 ч.] / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. – М.: Техинформ, 2012. – 735 с.

21. Александров, А.П. Собрание научных трудов: в 5 т. – Т. 1: Физика твердого тела. Физика полимеров / сост. П.А. Александров, Л.В. Кравченко, В.К. Попов // Российская академия наук; Федеральное агентство по атомной энергии; РНЦ «Курчатовский ин-т». – М.: Наука, 2006. – 333 с.

22. Суханова, М.В. Смеситель-инкрустатор EcoMix – устройство импульсного воздействия, исключающее травмирование семян при предпосевной обработке / М.В. Суханова, В.П. Забродин, А.В. Суханов // Научная жизнь. – 2018. – № 6. – С. 38–42.

References

1. Kots S., Mamenko P. Inokulyatsiya i inkrustatsiya semyan soi: obzor tehnologii primeneniya i rynka preparatov [Inoculation and inlay of soybean seeds: a review of the application technology and drug market], *Propozitsiya. Sovremennye agrotehnologii po primeneniyu biopreparatov i regulyatorov rosta,* 2015, pp. 24–28. (In Russian)

2. Repka D.A., Beltyukov L.P., Kuvshinova E.K., Potapov E.A. Effektivnost' primeneniya biopreparatov na sortakh ozimoy pshenitsy v usloviyakh Rostovskoy oblasti [The effectiveness of the use of biological products on varieties of winter wheat in the conditions of the Rostov region], *Zernovoe hozyaystvo Rossii*, 2020, No 1 (67), pp. 72–76. (In Russian)

3. Syrovatka V.I., Zapevalov M.V., Sergeev N.S. Stupenchatoe nanesenie zashhitno-stimuliruyushhego preparata na semena zernovykh i zernobobovykh kul'tur pri predposevnoy obrabotke [The step-by-step application of a protective-stimulating preparation on the seeds of grain and leguminous crops during pre-sowing treatment], *Vestnik VNIIMZh,* 2017, No 4 (28), pp. 75–81. (In Russian)

4. Khasanov Je.R. Analiz processa inkrustatsii semyan v barabannom protravlivatele-inkrustatore [Analysis of the process of seed inlay in a drum treater-incrustator], *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universtiteta*, 2013, No 1 (25), pp. 87–89. (In Russian)

5. Tarasenko A.P. Snizhenie travmirovaniya semyan pri uborke i posleuborochnoy obrabotke [Reducing injury to seeds during harvesting and postharvest], *Voronezh: VGAU*, 2003, 331 p. (In Russian)

6. Zareiforoush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger, *Biosystems engineering*, United Kingdom, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, University of Urmia, 2010, Vol. 106, No 3, pp. 234–242.

7. Khasanov E.R. Sistema predposevnoy obrabotki semyan v biologicheskom zemledelii [Presowing seed treatment system in biological farming], Sberegajushhee (biologicheskoe) zemledelie v sovremennom selskom khozyaystve: sb. nauch. tr., Ministerstvo s. kh. Resp. Bashkortostan, Akademiya nauk Resp. Bashkortostan, Yfa, 2014, pp. 218–224. (In Russian)

8. Craessaerts G., De Baerdemaeker J., Saeys W., Missotten B. Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester, Biosystems engineering. United Kingdom, Department of Biosystems, *Katholieke Universiteit Leuven*, Kasteelpark Arenberg, 2010, Vol. 106, No 2, pp. 103–111.

9. Sukhanova M.V., Prokhoda A.A., Ivanov A.N. Eksperimental'noe opredelenie sily udarnogo vozdeystviya po-verkhnosti razlichnoy zhestkosti na semena [Experimental determination of the impact force of a surface of different hardness on seeds], *Vestnik agrarnoy nauki* Dona, 2019, No 3 (47), pp. 17–21. (In Russian)

10. Feydengold V.B., Beleckiy S.L. Prichiny travmirovaniya zerna i mery po ikh ustraneniyu [Causes of grain injury and measures to address them], *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd*, 2016, No 6, pp. 204–217. (In Russian)

11. Dedov A.V., Slauk, N.V., Nesmeyanova M.A. Biologizatsiya zemledeliya: sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Agriculture biologization: current status and prospects], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, No 3, pp. 57–65. (In Russian)

12. Lipkovich E.I. Bel'tyukov L.P. Bondarenko A.M. Organicheskaya sistema zemledeliya [Organic farming system], *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2014, No 8, pp. 2–7. (In Russian)

13. Bel'tyukov L.P. [i dr.], Vliyanie tekhnologiy vozdelyvaniya na produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v polevom sevooborote [The influence of cultivation technologies on crop productivity in field crop rotation], *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2016, No 1 (21), pp. 172–176. (In Russian)

14. Suhanova M.V. K obosnovaniyu teoreticheskogo predstavleniya protsessa smeseobrazovaniya v elastichnom smesitele [To the substantiation of the theoretical representation of the process of mixture formation in an elastic mixer], *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2014, No 10, pp. 53–55. (In Russian)

15. Sukhanova M.V. Peredvizhnoe ustroystvo dlya predposevnoy obrabotki semyan [Mobile device for presowing seed treatment], pat. 666364 RU MPK A01C1/06, No 2017131820, 07.09.2018, zayavl. 07.09.2018. zayavka ot 12.09.2017. – 6 c. s il. (In Russian)

16. Nesmiyan A.Ju. Obosnovanie modeli sypuchih sred [Justification of the model of bulk media], *Vestnik agrarnoy nauki Dona*, 2013, No 3 (23), pp. 25–35. (In Russian)

17. Bogomyagkikh V.A., Nesmijan A.Ju. Funkcionirovanie bunkerov maksimal'nogo raskhoda v uslovijakh svodoobrazujushhego istechenija zernovykh materialov: monografiya [The functioning of the bunkers of maximum flow in the conditions of arch-forming outflow of grain materials: monograph], Zernograd: *Azovo-Chernomorskiy inzhenernyy institut FGBOU VPO Donskoy GAU*, 2015, 179 p. (In Russian)

18. Aleksandrov E.V., Sokolinskiy V.V. Prikladnaya teoriya i raschety udarnykh sistem [Applied theory and calculations of shock systems], M.: *Nauka*, 1969, 210 p. (In Russian)

19. Aleksandrov A.V., Potapov V.D. Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity], M., *Vysshaya shkola*, 1990, 400 p. (In Russian)

20. Bolshoy spravochnik rezinshhika [Great rubber guide], [v 2 ch.], pod red. S.V. Reznichenko, Ju.L. Morozova, M.: Tekhinform, 2012, 735 p. (In Russian)

21. Aleksandrov A.P., Kravchenko L.V., Popov V.K. Sobranie nauchnykh trudov: v 5 t. t. 1 Fizika tverdogo tela. Fizika polimerov [Solid State Physics. Polymer Physics], Rossiyskaya akademiya nauk; Federal'noe agentstvo po atomnoy energii; RNC «Kurchatovskiy», M.: *Nauka*, 2006, 333 p. (In Russian)

22. Sukhanova M.V., Zabrodin V.P., Sukhanov A.V. Smesitel'-inkrustator EcoMix – ustroystvo impul'snogo voz-deystviya, isklyuchayushhee travmirovanie semyan pri predposevnoy obrabotke [EcoMix mixer-incrustator is a pulse impact device that excludes injury to seeds during presowing treatment], *Nauchnaya zhizn'*, 2018, No 6, pp. 38–42. (In Russian)

Сведения об авторе

Суханова Майя Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и физика», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. Зерноград (Ростовская область, Российская Федерация).

Information about the author

Sukhanova Maya Victorovna – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Technical mechanics and physics, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University» in Zernograd (Rostov region, Russian Federation).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.