

УДК 631.17:631.331:631.816.1

UDC 631.17:631.331:631.816.1

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО
ВИБРОВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ
СЕМЯН И УДОБРЕНИЙ**

**METHODOLOGY OF THE COMMON VI-
BROSOWING MACHINE FOR SEEDS AND
FERTILIZER**

Беспамятнова Наталья Михайловна
д-р техн. наук, профессор,
SPIN-код: 6075-5920

Bespamyatnova Natalya Mikhailovna
Dr.Sci.Tech., professor,
RSCI SPIN-code: 6075-5920

Беспамятнов Юрий Алексеевич
SPIN-код: 3197-7431

Bespamyatnov Yuri Alekseevich
RSCI SPIN-code: 3197-7431

Реутин Виталий Валентинович
канд. техн. наук,
SPIN-код: 6701-6938
*Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Северо-Кавказский научно-
исследовательский институт механизации и
электрификации сельского хозяйства»
(ФГБНУ СКНИИМЭСХ),
347740, г. Зерноград Ростовская область, Россия,
ул. им. Ленина, д. 14., e-mail: vnptim@gmail.com*

Reutin Vitali Valentinovich
Cand.Tech.Sci.,
RSCI SPIN-code: 6701-6938
*Federal State Budgetary Scientific Institution
Northern-Caucasian Scientific Research Institute of
Mechanization and Electrification of Agriculture
(FSBSI NCSRIMEA)
347740, Zernograd Rostov region, Russia,
Lenina st. 14., e-mail: vnptim@gmail.com*

В статье рассматривается применение теории ви-
брации при проектировании и создании устройств
высева. Предлагаются пути решения задачи созда-
ния единого универсального аппарата для семян и
удобрений с использованием вибрационных про-
цессов, воздействующих на изменение скоростей
истечения при высева семян из бункера. Возмож-
ность перевода объемных весов сельскохозяй-
ственных культур и удобрений при истечении их
из бункера с целью приведения различных скоро-
стей истечения к идентичным значительно упро-
щает процессы управления неконтактным высевом
материалов, различных по физико-механическим
свойствам

The article discusses the application of the theory of
vibration in the design and creation of devices
seeding. The ways of solving the problem of creating a single
universal device for seed and fertilizer using vibration
processes influencing the change flow rates when sow-
ing seed from the hopper. The ability to transfer the
balance of volume of crops and fertilizers at the expiry
of their bunker in order to bring the different flow rates
for identical simplifies management processes noncon-
tact sowing materials of different physical and me-
chanical properties

Ключевые слова: ВЫСЕВ СЕМЯН И УДОБРЕ-
НИЙ, ВИБРАЦИОННОЕ ПОЛЕ, ИДЕНТИФИКА-
ЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЕСА МАТЕРИАЛОВ,
РАВНОМЕРНОСТЬ ВЫСЕВА, ВИБРАЦИОН-
НЫЙ АППАРАТ ДИСКРЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Keywords: SEED AND FERTILIZER, VIBRATORY
FIELD, IDENTIFICATION OF DYNAMIC WEIGHT
MATERIALS, UNIFORM SOWING, VIBRATION
UNIT DISCRETE ACTION

Для высева семян и удобрений применяются различные высеваю-
щие аппараты, конструкции которых проектируются для высева семян раз-
личных механических свойств: по длине, ширине и толщине. В связи с
этим для высева злаковых культур применяют катушечные аппараты, для
пропашных – пневматические, для удобрений – штифтовые.

Попытки выполнить универсальный высевающий аппарат для всех видов высеваемых материалов привели к использованию вибрационных аппаратов, пока не нашедших широкого применения.

В СКНИИМЭСХ проведена работа по созданию вибрационного аппарата дискретного действия для высева всех видов сельскохозяйственных культур и удобрений. В основе создания вибрационного аппарата принято положение о том, что сыпучее тело при истечении из бункера находится под воздействием дополнительных вибрационных внешних сил, изменяющих как граничные, так и объемные силы этого тела. В частности, объемный вес высеваемого материала изменяется по величине и направленности [1, 2, 3].

Поэтому была принята рабочая гипотеза о том, что равномерность одновременного высева семян и удобрений с различными нормами высева может быть достигнута путем приведения динамического веса материалов к идентичному виду в вибрационном поле, обеспечивающего устойчивое протекание скорости истечения материала и равномерности его массового расхода.

При воздействии на истекающий поток материала из бункера дополнительными ускорениями j_{∂} тело приводится в некоторое новое поле тяготения, как бы отличное от поля тяготения земли. Объемный вес γ сыпучего тела в этом новом поле тяготения будет меньше, чем обычный, принято называть его динамическим объемным весом γ_{∂} [3].

Условно принимают, что динамический объемный вес может изменяться не только по величине, но и по направленности в зависимости от направленности сил внешних воздействий. Принимают также, что скорость распространения упругих волн в сыпучей среде бесконечно велика, а ускорения мгновенно распространяются по всему объему бункера [3].

Динамический объемный вес определяется по зависимости:

$$\gamma_{\partial} = \gamma \sqrt{\left(1 - \frac{j}{g}\right)^2}, \quad (1)$$

где γ – объемный вес, т/м³;

j – внешнее ускорение, придаваемое сыпучему телу, м/с²;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Практически изменять динамический вес можно, изменяя силу и направленность внешнего ускорения вибратором аппарата вибродискретного действия [1, 2].

Приводя объемные веса различных тел к однозначным динамическим можно решить задачу создания единого универсального высевающего аппарата для любых сельскохозяйственных культур и удобрений.

Ранее было установлено, что расширение технологических возможностей высевающей системы достигается в результате динамического равновесия между давлением семян, накопленных на дозаторе, и упругими силами затвора. Частота колебаний затвора зависит от частоты датчика скорости движения сеялки, длительность постоянного импульса определяет амплитуду отключения затвора [1].

Для равномерного заданного количества истечения семян из высевающего аппарата необходимо обеспечивать границы неустойчивости в системе и выбирать режим работы на ее границе, который описывается следующим соотношением частоты колебаний пластины ω_λ и собственной частоты колебаний слоя семян ω_0 [2]:

$$\frac{\frac{4\omega_\lambda}{k}}{\frac{\omega_\lambda^2}{k} - 4 - \frac{\omega_\lambda^2}{\omega_\lambda^2}} > \frac{2\omega_\lambda^2}{\omega_0^2}. \quad (2)$$

Нами определены границы устойчивого режима истечения семян различных культур, обеспечивающих заданную норму высева семян при регулировании соответствующего соотношения частот колебаний пластины-вибратора и собственных частот колебаний каждого вида семян (рис. 1).

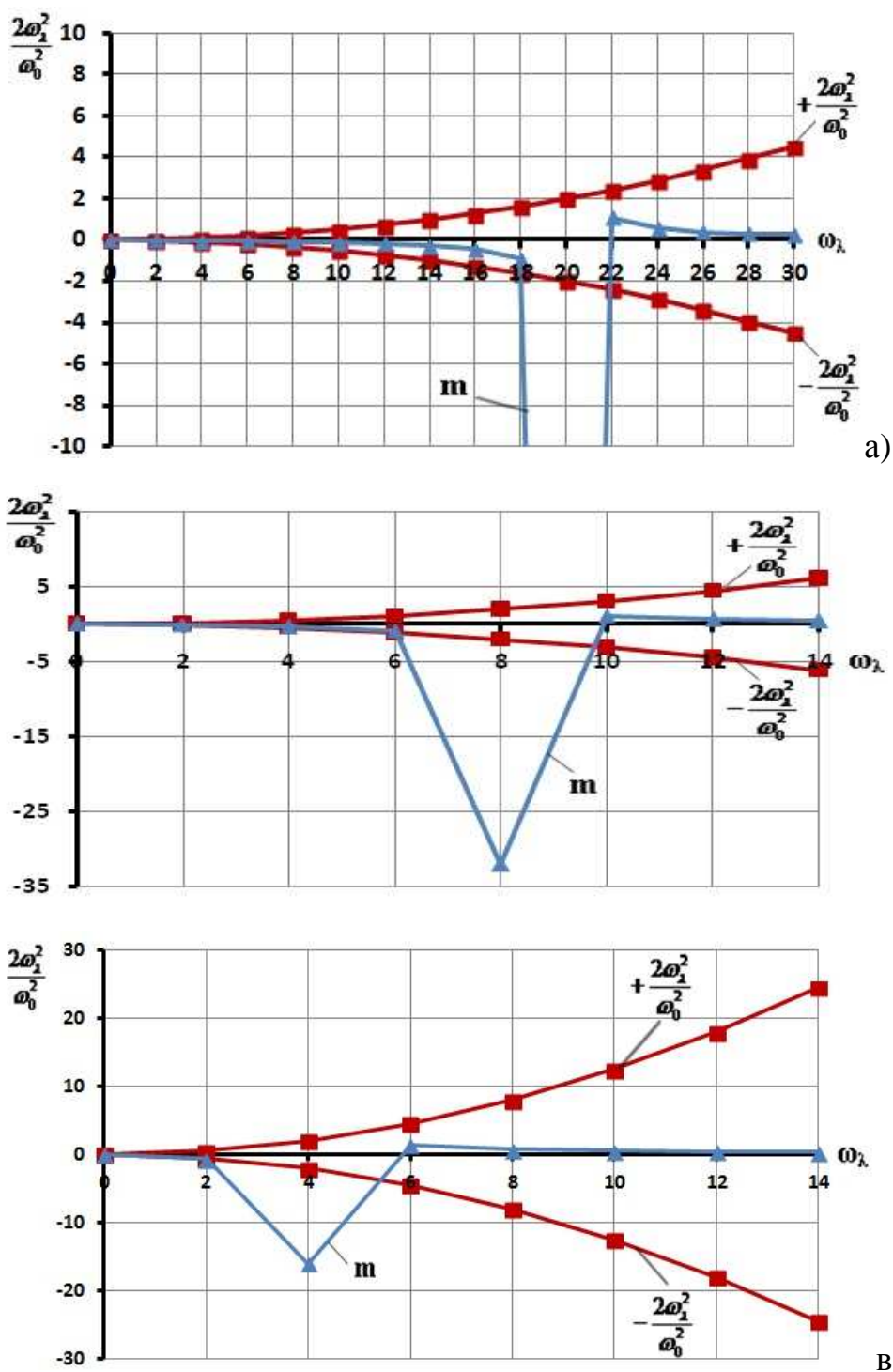


Рисунок 1 – Графики нахождения границ устойчивости высева семян различных культур и удобрений: а) пшеница; б) лен; в) аммофоска

Далее необходимо обеспечить равномерный высев заданной нормы высева семян в соответствии с агротехническими требованиями (АТТ). Мы полагаем, что равномерность высева заключается в постоянстве массового расхода высеваемого материала в единицу времени. Тогда задача равно-

мерности высева семян заключается в обеспечении устойчивого процесса массового расхода семян (удобрений).

Массовый расход материала заключается в истечении заданного количества семян из бункера в выпускные отверстия в соответствии со скоростью движения сеялки.

Поскольку размеры выпускных отверстий малы по сравнению с объемом бункера, давление слоя семян над отверстием относится к категории местных напряжений, т.е. много меньше, чем гидростатическое давление [3,4].

Среднее давление семян или удобрений на пластинку-вибратор можно определить по зависимости:

$$\sigma_{cp} = \frac{P}{S} = H\gamma \left(1 - \frac{hmf}{2R} \right), \quad (3)$$

где P – сила удержания материала на пластине затвора кг/м²;

S – площадь основания выгрузного отверстия, м²; [4]

H – глубина погружения, м;

γ – объемный вес, г/м³;

f – коэффициент внутреннего трения;

$R = \frac{\omega}{L}$ – гидравлический радиус отверстия, равный в исследуемом

случае единице;

m – масса выделенного элемента (норма высева в единицу времени, массовый расход), кг/с:

$$m = \frac{S\Delta h\gamma}{g}, \quad (4)$$

Δh – высота элементарного объема высеваемого материала, м.

В исследуемом случае глубина погружения H ограничивается требованиями АТТ не проводить высев семян из бункера, если в нем не остается менее 15% от общего объема бункера.

Среднее значение напряжения на пластину вибратора можно определить [3]:

$$\sigma_{cp} = R\chi, \tag{5}$$

где χ – коэффициент, равный:

$$\chi = \frac{1}{f} + 2f - \sqrt{1 - f^2}. \tag{6}$$

На рисунке 2 представлено среднее значение теоретического давления на пластину-вибратор для семян пшеницы, льна и удобрений (селитры).

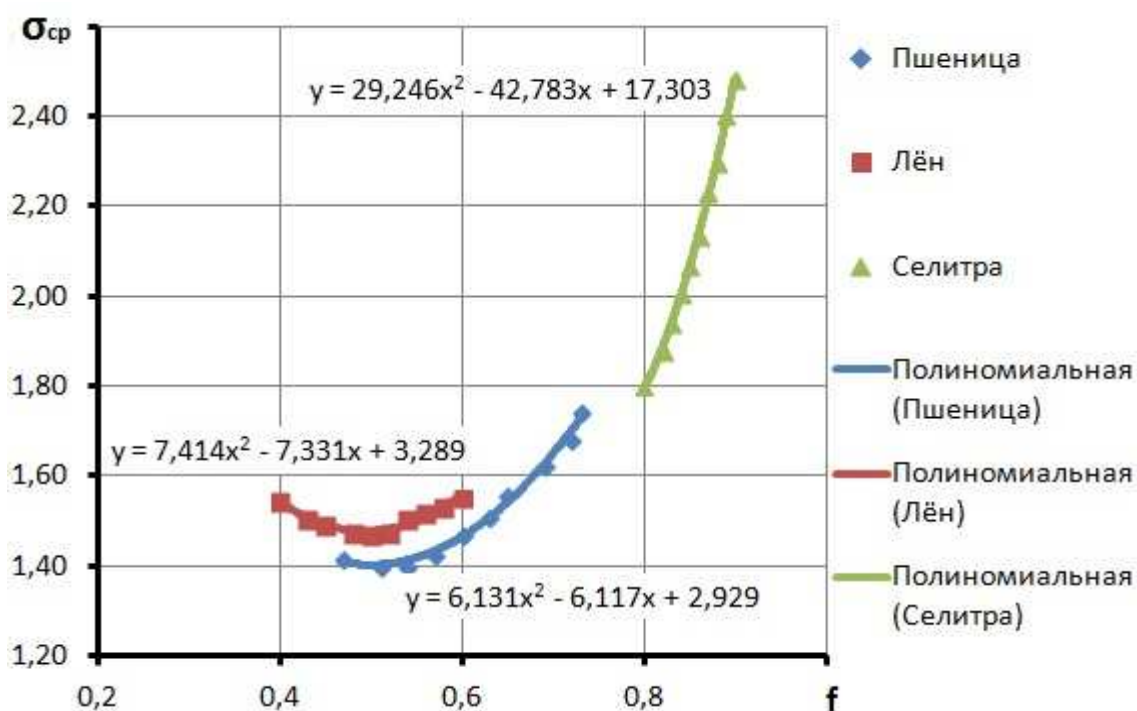


Рисунок 2 – Среднее теоретическое давление на пластину-вибратор для семян пшеницы, льна и удобрений (селитра)

Из графика (рис. 2) видно, что среднее теоретическое давление на пластину выпускного отверстия для семян пшеницы с высотой слоя растет

незначительно, а для удобрений давление возрастает почти в 2 раза. Это обстоятельство объясняется тем, что коэффициент трения f селитры составляет 0,85 ... 1,0, а для пшеницы – 0,47 ... 0,73, объемный вес селитры составляет 0,8 ... 1,0 т/м³; а пшеницы – 0,65 ... 0,81 т/м³.

При этом вес вышележащих слоев семян и удобрений полностью воспринимается силами трения по поверхности объема. Тогда касательные напряжения по периметру вызываются лишь собственным весом этого слоя $\tau = \frac{S\gamma}{L} = R\gamma$, а вертикальные давления в слоях не будут изменяться по высоте. Иными словами, касательные напряжения по периметру для высеваемых удобрений при равном сечении выпускного отверстия будут значительно выше, чем у пшеницы с таким же слоем семян над выпускным отверстием. Коэффициент подвижности материала определяется по соотношению $m_n = \frac{R\gamma}{f}$, или $\frac{\tau}{f}$, следовательно, при большом коэффициенте трения подвижность материала и скорость его истечения снижается. Поэтому образование сводов в слое высеваемых частиц удобрений происходит быстрее.

Указанное явление хорошо демонстрируется процессом истечения семян льна, у которого при достаточно большом коэффициенте сдвига коэффициент внутреннего трения очень мал – 0,34 ... 0,47, поэтому коэффициент подвижности достаточно высок, что и приводит к появлению сыпучести семян льна из бункеров.

Скорость истечения материалов может быть получена по зависимости [3]:

$$V_0 = \lambda \sqrt{2g\gamma R} = \sqrt{2g \frac{P}{S\gamma}}, \quad (7)$$

где λ – коэффициент истечения, для пшеницы 0,67, для суперфосфата – 0,44.

Нами аналитически и практически установлено, что все виды сельскохозяйственных культур в вибрационном поле приобретают собственные скорости истечения из бункеров, зависящие не от механических размеров, а скорее – физических свойств: динамического объемного веса γ_0 , коэффициента трения f , начального сопротивления сдвигу τ_0 [1, 2].

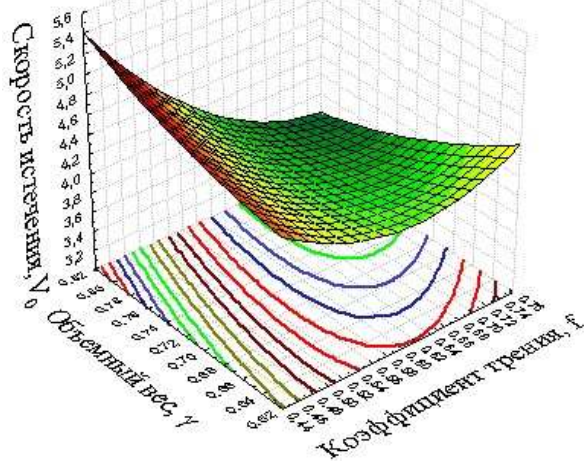
Исходя из полученных результатов исследований, было установлено, что физические свойства семян и удобрений следует разделять по принципу их скоростей истечения из бункеров. Полученные по представленным зависимостям данные для бункера сеялки показали, что скорости истечения зерновых культур находятся в пределах 3,15 ... 3,66 м/с; ячменя 4,37 ... 5,16; гречихи и льна – 5,16; проса – 5,3; риса – 4,7 м/с. Для высева удобрений эти значения следующие: для суперфосфата 3,5 м/с; селитры – 4,19 м/с.

Семена льна и частицы удобрений обладают большим коэффициентом сдвига (6 ... 15 кг/м²), но у семян льна коэффициент внутреннего трения очень мал (0,34 ... 0,47), а у селитры – значительно выше (0,85 ... 1,0). При этом объемный вес льна составляет 0,65 ... 0,75 т/м³, а для селитры и суперфосфата до 1,4 т/м³. Скорость истечения для льна составляет 5,16 м/с, для селитры и суперфосфата – 3,5 ... 4,19 м/с.

По результатам факторного эксперимента в соответствии с матрицами ортогонального плана второго порядка были получены адекватные математические модели в виде уравнений регрессии параметров оптимизации для скорости истечения V_0 , объемного веса γ и коэффициента трения f .

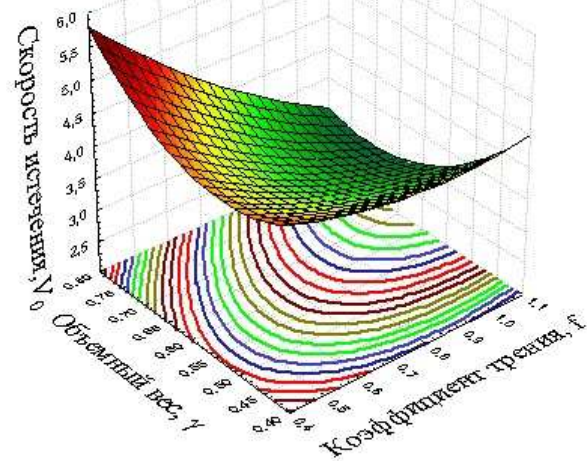
Зависимости исследуемых параметров оптимизации представлены уравнениями, а также графиками поверхностей отклика и изолиний (рис.3).

$$V_0 = 7,2992 - 3,7892 * f - 2,7232 * \gamma + 15,6082 * f * f - 25,1197 * f * \gamma + 11,9688 * \gamma * \gamma$$



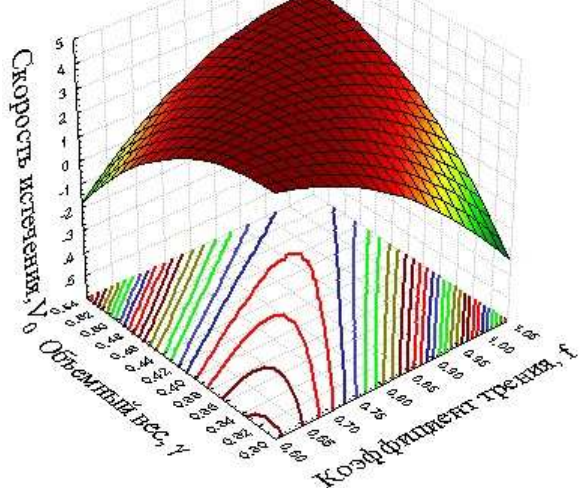
а)

$$V_0 = 9,104 + 0,0988 * f - 15,0914 * \gamma + 1,9434 * f * f - 8,7237 * f * \gamma + 17,5157 * \gamma * \gamma$$



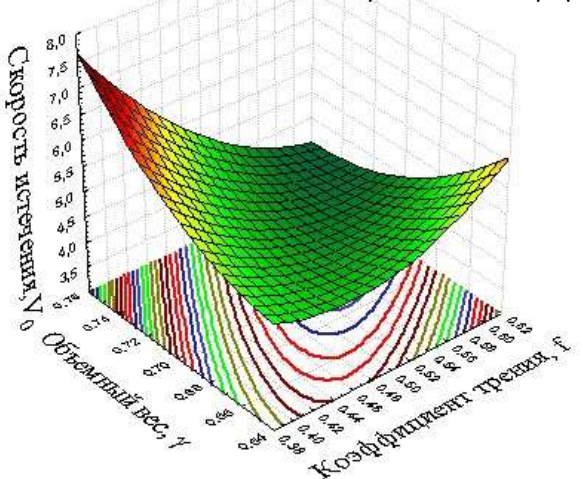
б)

$$V_0 = 6,9666 - 6,9551 * f + 1,2107 * \gamma - 26,5415 * f * f + 114,0648 * f * \gamma - 111,9591 * \gamma * \gamma$$



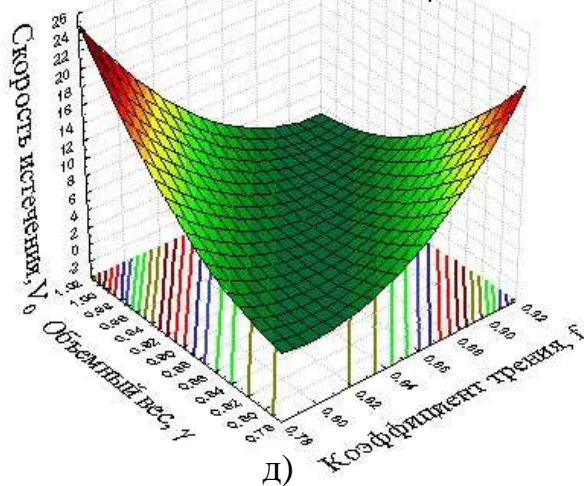
в)

$$V_0 = 36,9782 + 59,5545 * f - 133,5142 * \gamma + 49,0479 * f * f - 163,0152 * f * \gamma + 154,9588 * \gamma * \gamma$$



г)

$$V_0 = 182,536 - 906,3217 * f + 466,9792 * \gamma + 1127,2446 * f * f - 1141,6733 * f * \gamma + 283,8956 * \gamma * \gamma$$



д)

Рисунок 3 – Графики поверхностей отклика и изолинии, характеризующие изменение скоростей истечения V_0 (м/с) семян и удобрений в зависимости от объемного веса γ (т/м³) и коэффициента внутреннего трения f : а) пшеница; б) ячмень; в) подсолнечник; г) лен; д) селитра

Анализ представленных зависимостей показал, что выбранные параметры оптимизации значимы для всех изучаемых семян и видов удобрений, но центры поверхностей отклика на изолиниях для различных культур сдвигаются по направлениям к тому или иному фактору.

Для высева семян пшеницы в выбранных параметрах центр (ядро) изолиний отличается при скоростях 3,2 ... 3,5 м/с, а градиент скорости неравномерен и сильно сужается по краям, что свидетельствует о неравномерности высева семян за границами центра (рис. 3а).

Для высева семян ячменя центр поверхности отклика уходит заметно ближе к влиянию коэффициента трения, скорость истечения составляет до 5 м/с, что, в общем-то, соответствует отмеченному в практике «плохому» высеву семян ячменя при использовании катушечных аппаратов. Градиент изолинии значительно увеличивается к осям обоих факторов (рис. 3б).

При высева семян пропашных (подсолнечник) изолинии поверхности отклика приобретают вид ложбины, что соответствует достаточно устойчивому выполнению изучаемого процесса (рис. 3в).

Для высева семян сверхсыпучих материалов (льна) процесс истечения из бункера протекает иначе: поверхность отклика в выбранной системе параметров сильно изогнута, градиенты скоростей на изолиниях сужены, что свидетельствует о достаточно ограниченной границе оптимальной скорости истечения семян льна – около 5 м/с (рис. 3г). Такие материалы при истечении по стали приобретают явление сверхсыпучести.

График поверхности отклика при высева удобрений (селитра) также представлены в виде ложбины при оптимальной скорости истечения около 3,5 ... 4,2 м/с (рис. 3д). При изменении скорости истечения градиент скоростей на изолиниях значительно снижается, что вероятно и приводит к уплотнению частиц в бункере и быстрому возникновению сводов в слое.

Полагая, что в центре поверхности отклика процесса высева семян и удобрений, характеризуемый скоростью истечения изучаемых материа-

лов наиболее устойчив, следует предположить, что равномерность высева материалов (массового расхода) также более устойчива. При больших градиентах скоростей истечения мало меняется (их ускорение в ту или иную сторону) поэтому равномерность высева также устойчива. Процесс объясняется тем, что массовый расход семян в виброполе зависит от вектор-функции σ^T , составленной из производных функций первого и второго порядка перемещающих частицы [1, 2]. При увеличении расстояний между изолиниями градиенты снижаются, изменения перемещений частиц также мало, процесс высева более устойчив.

На основании анализа полученных результатов, возникает необходимость обеспечения равномерности скорости истечения материала для получения равномерного коэффициента истечения материалов при различных физических величинах.

Поскольку изменить физические свойства материалов невозможно, то технически вполне допустимо реальное изменение динамического объемного веса при обеспечении соотношения j/g в заданном направлении. Согласно нашим исследованиям для сельскохозяйственных культур соотношение j/g не превышает 1,3 ... 2,0 [2]. В конкретном случае это соотношение достигалось при частоте вибратора 6 Гц.

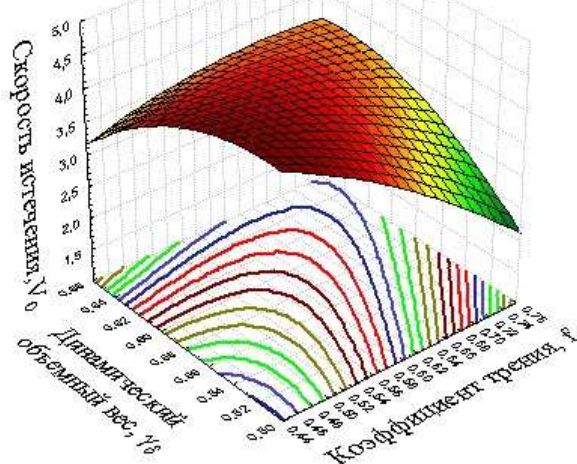
На рисунках представлены графики поверхностей отклика и изолинии в исследуемых параметрах оптимизации при подаче внешней частоты колебаний вибратором в процессе истечения семян из бункера с учетом изменения динамического веса высеваемых материалов в вибрационном поле (рис. 4).

Сравнивая рисунки 3а и 4а, характеризующие изменение скорости истечения пшеницы можно констатировать, что вид поверхности отклика приобретает выпуклую форму, центр изолиний снижается и градиенты скоростей снижены, что означает увеличение устойчивости исследуемого процесса истечения, а, следовательно, и равномерности высева семян. Вид

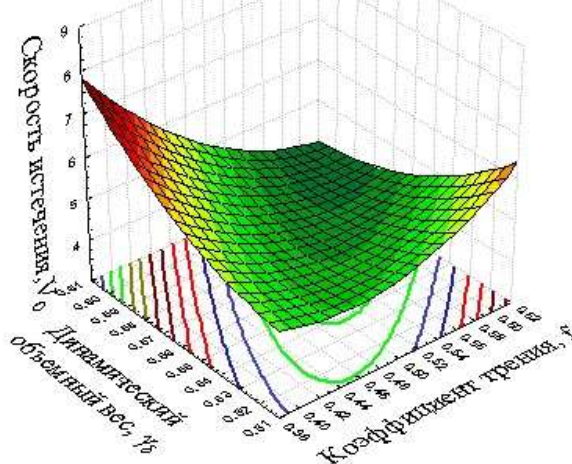
уравнений регрессии показывает, что при использовании вибрации, резко снижается влияние дополнительных факторов на скорость истечения материала, что также свидетельствует об устойчивости процесса высева. В лабораторных и полевых условиях неравномерность высева семян пшеницы в исследуемом поле составила не более 1,8% [1, 2].

$$V_0 = 0,2907 - 27,9016 * f + 45,6183 * \gamma - 8,2133 * f * f + 59,2677 * f * \gamma - 70,2364 * \gamma * \gamma$$

$$V_0 = 31,4199 + 58,4145 * f - 145,7315 * \gamma + 56,5262 * f * f - 214,7329 * f * \gamma + 227,6813 * \gamma * \gamma$$

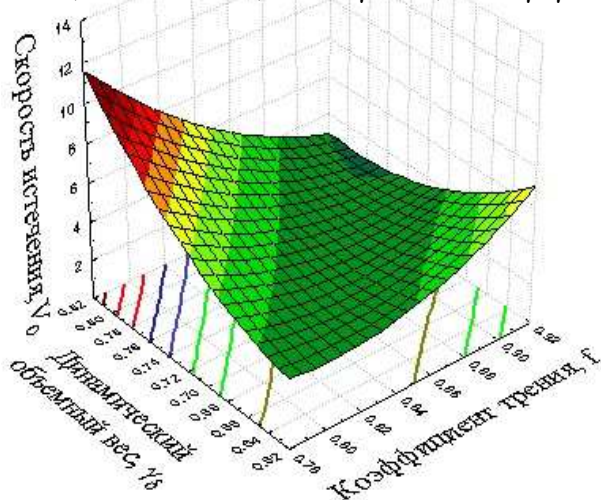


а)



б)

$$V_0 = 15,7757 - 163,5897 * f + 170,9764 * \gamma + 268,1802 * f * f - 431,816 * f * \gamma + 143,1811 * \gamma * \gamma$$



в)

Рисунок 4 – Графики поверхностей отклика и изолинии, характеризующие изменение скоростей истечения V_0 семян и удобрений в виброполе при частоте вибратора 6 Гц:
а) пшеница; б) лен; в) селитра

На графиках 3г и 4б – (высев семян льна) также наглядно видно изменение поверхности отклика: центр (ядро) более четко выражен, а гради-

енты скоростей значительно меньше, чем без вибрации. В полевых и лабораторных исследованиях неравномерность высева семян льна сократилась от 20 до 3% [1, 2].

Особенно заметно изменение изолиний поверхности отклика для высева в виброполе селитры (рис. 3д и 4в). При введении в виброполе частоты 6 Гц градиенты скоростей более стабильны, поэтому изменение перемещений частиц в потоке также следует ожидать более равномерного. В лабораторных и полевых условиях неравномерность высева селитры не превысила 3%, что значительно ниже допустимых по АТТ 10% [2].

Таким образом, вибрационные высевающие аппараты позволяют выполнять посев любых сельскохозяйственных культур и удобрений путем изменения динамического объемного веса в вибрационном поле, обеспечивающего устойчивое протекание скорости истечения материала и равномерности его массового расхода.

Библиографический список

1. Беспамятнова, Н.М. Колебания и вибрации в технологических процессах почвообрабатывающих и посевных машин и агрегатов / Н.М. Беспамятнова. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2008. – 224 с.
2. Беспамятнова, Н.М. Вибровысев сельскохозяйственных культур и удобрений / Н.М. Беспамятнова, Ю.А. Беспамятнов, В.В. Реутин, Ю.А. Семенихина. – зерноград: СКНИИМЭСХ, 2015. – 234 с.
3. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – Москва: Машиностроение, 1952. – 216 с.
4. Семенихина, Ю.А. Оптимизация высоты высевных окон вибрационного дозатора семян / Ю.А. Семенихина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8. – с. 32.

References

1. Bespamjatnova, N.M. Kolebanija i vibracii v tehnologicheskikh processah pochvoobrabatyvajushhih i posevnyh mashin i agregatov / N.M. Bespamjatnova. – Zernograd: VNIPTIMJeSH, 2008. – 224 s.
2. Bespamjatnova, N.M. Vibrovysev sel'skohozjajstvennyh kul'tur i udobrenij / N.M. Bespamjatnova, Ju.A. Bespamjatnov, V.V. Reutin, Ju.A. Semenihina. – Zernograd: SKNIIMJeSH, 2015. – 234 s.
3. Zenkov, R.L. Mehanika nasypnyh грузов / R.L. Zenkov. – Moskva: Mashinostroenie, 1952. – 216 s.

4. Semnihina, Ju.A. Optimizacija vysoty vysevnyh okon vibracionnogo do-zatora semjan / Ju.A. Semnihina // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajst-va. – 2011. – №8. – s. 32.