УДК 62-1/-9

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ТРАЕКТОРИИ ПРОХОДОВЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПО РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Вахнина Г.Н., Вакула Е.Ю., Сафонова Н.М., Шадрина Е.Л.

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, e-mail: galina_vahnina@mail.ru

Представлены результаты вычислительного эксперимента по расчету максимально возможных траекторий проходовых частиц, обрабатываемых по ресурсосберегающей технологии, которая реализуется запатентованными усовершенствованными классификаторами. Проходовыми частицами мы называем частицы, прошедшие сквозь отверстия решета, то есть просеявшиеся. Ресурсосберегающая технология представляет собой комплексную предпосевную обработку материала. В виду того, что предельное движение частиц обрабатываемого материала обусловлено габаритами классификаторов, очень важно представлять соотношения этих параметров. С этой целью был проведен вычислительный эксперимент, расчеты в котором проводились для значений планируемых размеров элементов классификаторов. Учитывались возможные размеры для верхнего решета в интервале от 0,3 м до 0,5 м; для среднего большего решета – от 0,18 м до 0,4 м. Расстояние между решетами принимали 0,1; 0,15 и 0,2 м. Были построены поверхности отклика в среде Excel. Полученные результаты позволяют сопоставить размеры технических устройств и проследить возможную зависимость эффективности комплексной предпосевной обработки семенного материала от конструктивно-технологических параметров классификаторов. В результате вычислительного эксперимента была выявлена не пропорциональная зависимость варьирования величин траекторий от соотношения величин решет и расстояния между ними. Меняя соотношения размеров решет от 1,2 до 1,7, можно получить изменение предельных траекторий проходовых частиц на 7,0% – 28,7%. Причем выявлена возможность изменения траекторий как при движении рабочего органа влево, так и при движении рабочего органа вправо. Числовые значения величин предельных траекторий позволяют прогнозировать качество импакции и интенсивность обработки физическими факторами.

Ключевые слова: траектория, проходовые частицы, радиус решета, расстояние между решетами, величина взлета

UNREMAINING PARTICLES' LIMITED TRAJECTORIES DURING PROCESSING RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY

Vakhnina G.N., Vakula E.Y., Safonova N.M., Shadrina E.L.

Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin», Voronezh, e-mail: galina_vahnina@mail.ru

The results of a computational experiment on the maximum possible trajectories of passage particles processed by resource-saving technology calculation, which is implemented by the patented improved classifiers, are presented. Particles that have passed through the sieve holes are called passage particles. Resource-saving technology is a complex pre-sowing treatment of materials. In view of the fact that the limiting movement of processed material particles due to dimensions of the classifiers, it is very important to represent ratios of these parameters. For this purpose, a computational experiment was carried out, calculations were made for planned size values of classifier elements. Possible sizes for the upper sieves in the range from 0,3 m to 0,5 m were taken into account; For the average larger sieve – from 0,18 m to 0,4 m. The distance between sieves was 0,1; 0,15 and 0,2 m. Response surfaces in the Excel environment were constructed. Obtained results make possible to compare sizes of technical devices and to trace the possible dependence of complex preseeding processing of seed material efficiency on constructive and technological parameters of classifiers. As a result of a computational experiment, a non-proportional dependence of the magnitude trajectories variation on the ratio of sieves values and the distance between them was revealed. By changing the ratio of sieve sizes from 1,2 to 1,7, we can obtain a change in limiting trajectories of transit particles by 7,0% – 28,7%. Moreover, the possibility of changing trajectories both during the working organ movement to the left and during the movement of the working element to the right is revealed. Numerical values of the magnitude of limiting trajectories make it possible to predict the quality of impaction and the intensity of processing by physical factors.

Keywords: trajectory, unremaining particles, sieve range, the distance between the sieves, the quantity takeoff

Комплексная предпосевная обработка семенного материала предполагает проведение ряда технологических процессов одновременно [3, 9]. Эффективность данной обработки во многом будет обусловлена направленным движением частиц обрабатываемого материала, поэтому важно представлять возможное влияние конструктивно-технологических параметров усовершенствованных классификаторов [2, 5, 6, 11] на траектории проходовых и непроходовых частиц [12, 13, 14]. Под проходовыми понимаем те частицы, которые просеиваются сквозь отверстия решет во время движения рабочего органа. Основываясь только на аналитических исследованиях, трудно количественно оценить реальные возможные соотношения изменений одних параметров от других.

Цель исследований: проведение вычислительного эксперимента с рассмотрением движения частиц по верхнему и среднему

большему решетам, в виду того, что данные решета по размерам являются наибольшими и определяют габариты классификатора в целом и движение частиц обрабатываемого материала начинается именно здесь. Важность расчетов предельных траекторий заключается также в том, что необходимо иметь четкие представления о возможном влиянии размеров рабочих органов на эффективность проводимых технологических процессов, а именно: импакции и обработки физическими факторами [7, 8, 10].

Материалы и методы исследования

Максимально возможная траектория проходовой частицы при отклонении рабочего органа классификатора влево складывается (рис.1а) из траектории в горизонтальной плоскости $h_{гор}$ по проходовому решету плюс величина падения $h_{пп}$ плюс величина перемещения крайней левой точки соответствующего решета плюс величина траектории по непроходовому решету $h_{горп}$ плюс величина взлета $h_{вп}$, определяемая по [4].

Максимально возможная траектория проходовой частицы при отклонении рабочего органа классификатора вправо складывается (рис. 1б) из траектории в горизонтальной плоскости $h_{гор}$ по проходовому решету плюс величина падения $h_{пн}$ плюс траектории в горизонтальной плоскости после просеивания $h_{горп}$ плюс величина перемещения крайней правой точки соответствующего решета плюс величина взлета $h_{вн}$.

Максимально возможные траектории проходовой частицы при обработке на конусном классификаторе [2] при отклонении влево (рис. 1а) с горизонтальным элементом в верхнем положении равны:

$$S^{пв}_{мклв} = R_{вр} + \sqrt{R^2_{сбр} + \Delta s^2} + \left(s_4 - R_{вр} \cdot \sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta s}{2R_{вр}} \right) \right) \right) \times \sin\left(\pi - \frac{h_{4лв}}{R_{вр}} - \sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta s}{2R_{вр}} \right) \right) \right) + \frac{\Delta s - t_n}{\sin\delta}, \quad (1)$$

где $R_{вр}$ – радиус верхнего решета, м; $R_{сбр}$ – диаметр среднего большего решета, м; Δs – расстояние между решетами, м; s_4 – расстояние от основания каркаса до верхнего решета, точка понижения, м; $h_{4лв}$ – положение крайней правой точки верхнего решета при отклонении влево, точка повышения, м; t_n – толщина проходовой частицы, м [1].

Максимально возможные траектории проходовой частицы при обработке на магнитном [9] или пирамидальном классификаторе [4] при отклонении влево соответственно равны половине диагонали конкретного решета $B_{рм}$ или $B_{рп}$ плюс высота падения h_{nM} или $h_{nП}$ плюс соответствующая величина перемещения крайней левой точки A_{aM} или $A_{aП}$ плюс высота взлета:

$$S^{пв}_{ммл} = 0{,}5 B_{рм} + h_{nM} + A_{aM} + \frac{\Delta s - t_n}{\sin\delta}; \quad (2)$$

$$S^{пв}_{мкпвр} = R_{вр} + \sqrt{R^2_{сбр} + \Delta s^2} + \left(h_4 - R_{вр} \cdot \sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta s}{2R_{вр}} \right) \right) \right) \times \sin\left(2\pi - \frac{2h_{4лв}}{R_{вр}} - 2\sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta s}{2R_{вр}} \right) \right) \right) + \frac{\Delta s - t_n}{\sin\delta}. \quad (3)$$

Максимально возможные траектории проходовой частицы при обработке на конусном классификаторе при отклонении вправо (рис. 1б) с горизонтальным элементом в верхнем положении равны:

$$S^{пв}_{мкпвр} = R_{вр} + \sqrt{R^2_{сбр} + \Delta s^2} + \left(h_4 - R_{вр} \cdot \sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta s}{2R_{вр}} \right) \right) \right) \times \sin\left(2\pi - \frac{2h_{4лв}}{R_{вр}} - 2\sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta s}{2R_{вр}} \right) \right) \right) + \frac{\Delta s - t_n}{\sin\delta}, \quad (4)$$

где h_4 – расстояние от основания каркаса до верхнего решета, точка повышения, м.

Максимально возможные траектории проходовой частицы при обработке на магнитном или пирамидальном классификаторе при отклонении вправо соответственно равны половине диагонали конкретного решета $B_{рМ}$ или $B_{рП}$, плюс высота падения $h_{пМ}$ или $h_{пП}$, плюс соответствующая величина перемещения крайней правой точки $B_{аМ}$ или $B_{аП}$, плюс высота взлета:

$$S^{пв}_{ммп} = 0{,}5 B_{рМ} + h_{пМ} + B_{аМ} + \frac{\Delta s - t_n}{\sin\delta}; \quad (5)$$

$$S^{пв}_{мпп} = 0{,}5 B_{рП} + h_{пП} + B_{аП} + \frac{\Delta s - t_n}{\sin\delta}. \quad (6)$$

Вычислительный эксперимент проводили по уравнениям (1, 4) с учетом [1, 12, 13]. В расчетах использовали следующие значения входящих в формулы (1), (4) параметров: $R_{вр}$ = [0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5] м; $R_{сбр}$=[0,18;0,25;0,33;0,38;0,4] м при Δs=[0,1;0,15;0,2] м; δ = 60 град. Значения параметров h_4, $h_{4лв}$, s_4 определяли с учетом величин радиусов решет по зависимостям [4].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам полученных значений были построены поверхности отклика в среде Excel (рис. 2–4).

Анализируя полученные числовые значения максимально возможных траекторий проходовой частицы, выявлена существенная взаимосвязь. Изменяя соотношения размеров решет и расстояния между ними, мы получаем не пропорциональную зависимость варьирования величин траекторий.

В некоторых случаях мы получает превышение значения траектории при движении влево, а в некоторых при движении

вправо. Это важно учитывать при дальнейшем изготовлении классификаторов, так как все эти возможные изменения будут оказывать существенное влияние на эффективность всей комплексной предпосевной обработки.

При соотношении решет 1,7 (0,3/0,18 м) и увеличении расстояния между ними с 0,1 м на 0,05 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 13,7 % (рис. 2а, 3а), а вправо – увеличивается на 13,3 % (рис. 2б, 3б); при дальнейшем увеличении расстояния между решетами еще на 0,05 м траектория влево увеличивается на 13,2 % (рис. 3а, 4а); вправо – увеличивается на 12,7 % (рис. 3б, 4б); при изменении расстояния между решетами на 0,1 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 28,7 % (рис. 2а, 4а), а вправо – увеличивается на 27,9 % (рис. 2б, 4б).

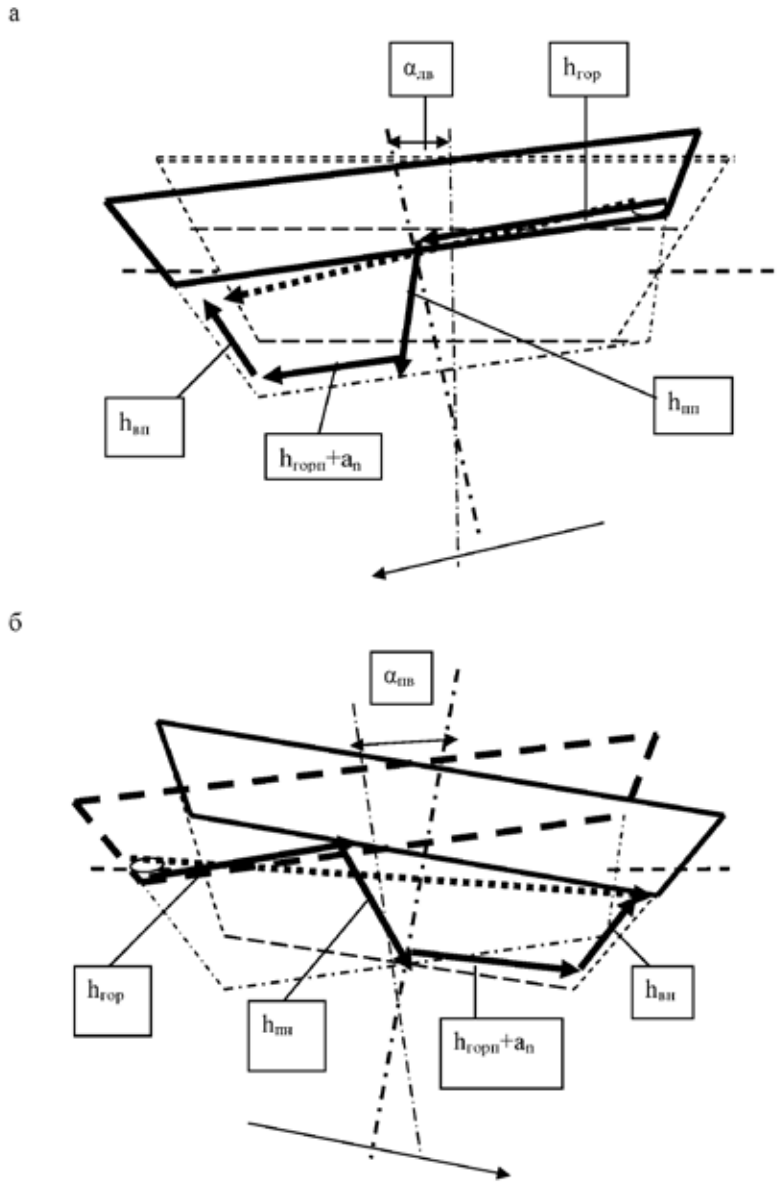
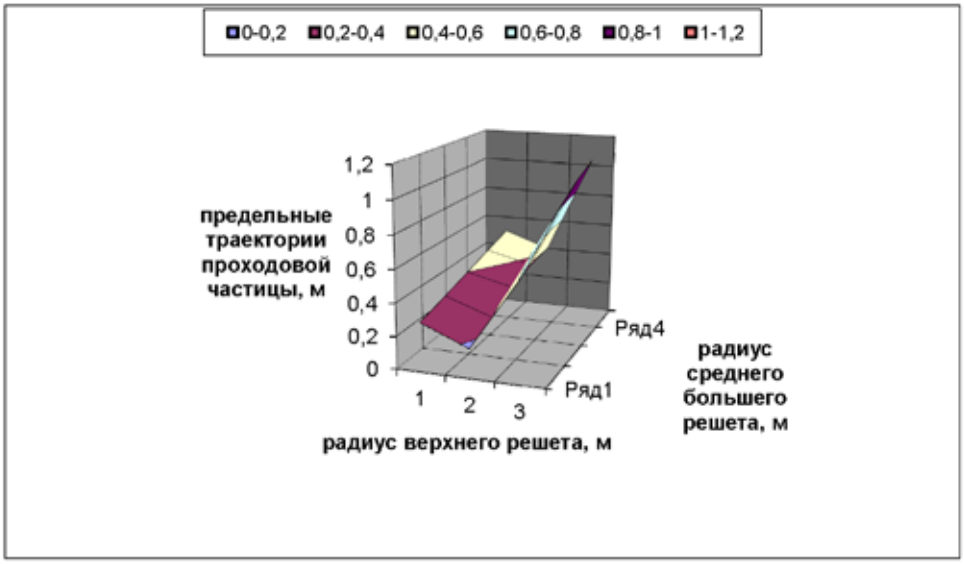


Рис. 1. Расчетная схема траекторий проходовых частиц: а – движение влево; б – движение вправо

а



б

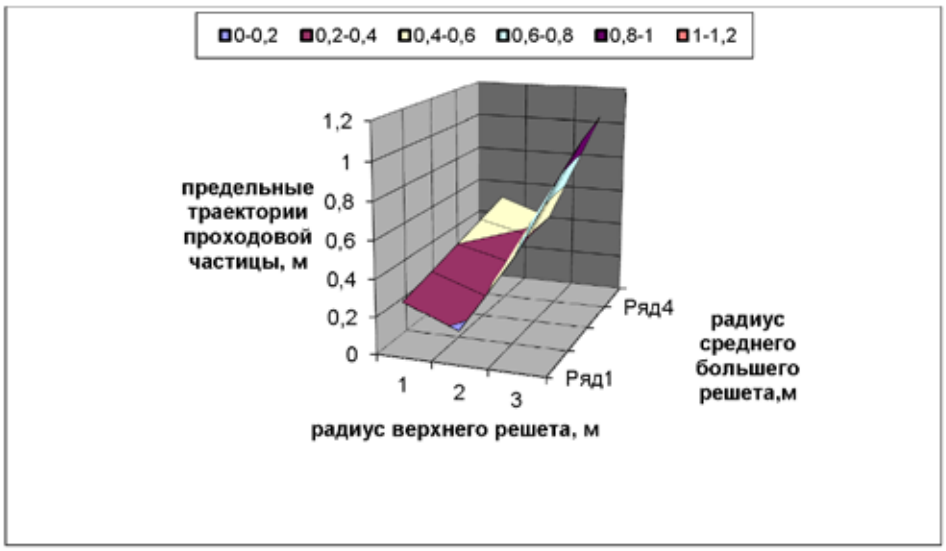
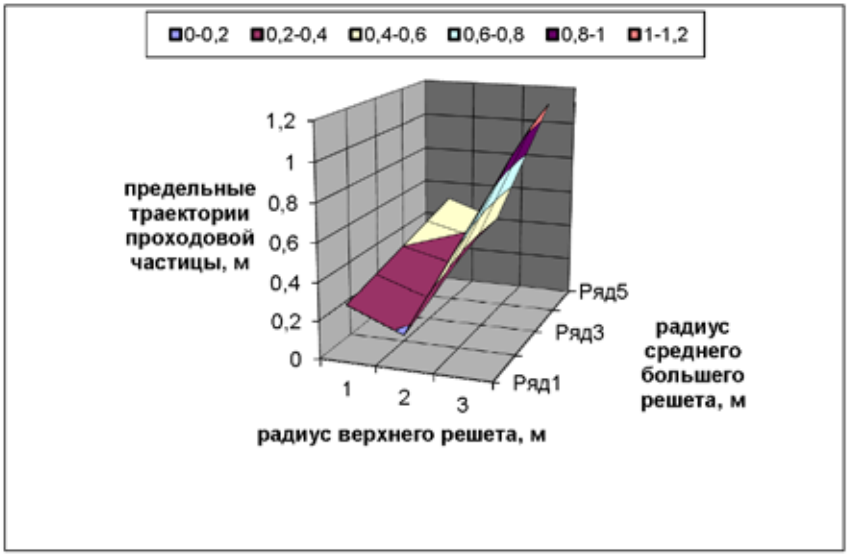


Рис. 2. Предельные траектории проходовой частицы при расстоянии между решетами 0,1 м: а – движение влево; б – движение вправо

При соотношении решет 1,4 (0,35/0,25 м) и увеличении расстояния между ними с 0,1 м на 0,05 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 10,7 % (рис. 2а, 3а), а вправо – увеличивается на 10,6 % (рис. 2б, 3б); при дальнейшем увеличении расстояния между решетами еще на 0,05 м траектория влево увеличивается на 10,8 % (рис. 3а, 4а); вправо – увеличивается на 10,5 % (рис. 3б, 4б); при изменении расстояния между ними на 0,1 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 22,7 % (рис. 2а, 4а), а вправо – увеличивается на 22,1 % (рис. 2б, 4б).

а



б

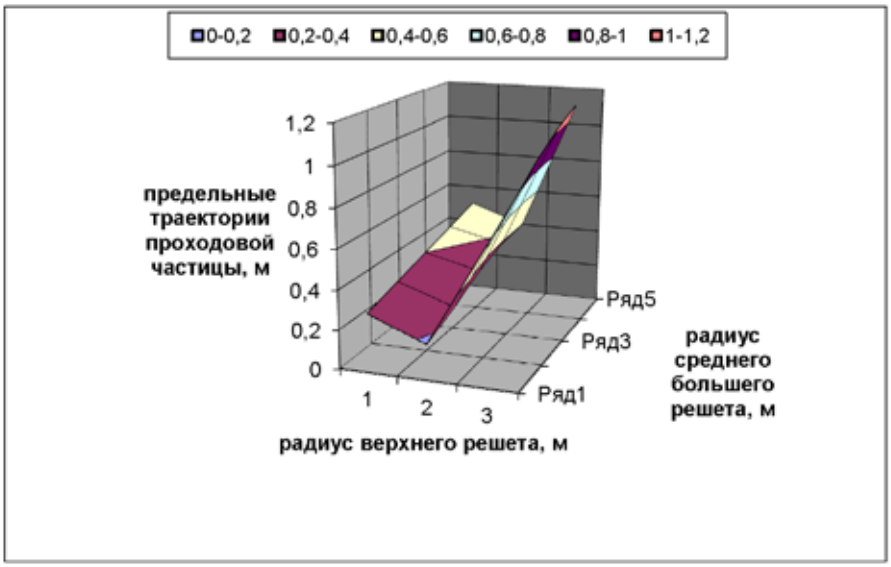
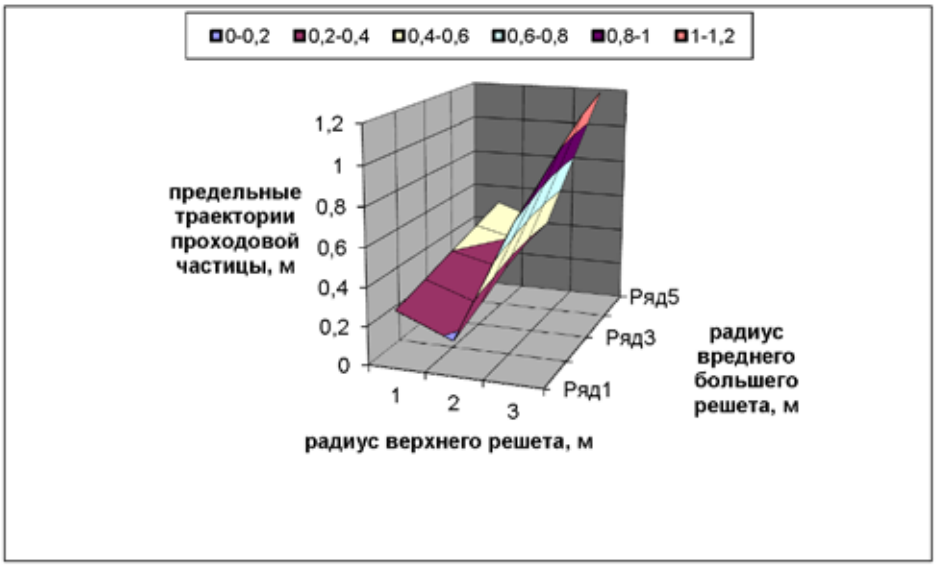


Рис. 3. Предельные траектории проходовой частицы при расстоянии между решетами 0,15 м: а – движение влево; б – движение вправо

При соотношении решет 1,2 (0,4/0,33 м) и увеличении расстояния между ними с 0,1 м на 0,05 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 8,7 % (рис. 2а, 3а), а вправо – увеличивается на 8,6 % (рис. 2б, 3б); при дальнейшем увеличении расстояния между решетами еще на 0,05 м траектория влево увеличивается на 9,1 % (рис. 3а, 4а); вправо – увеличивается на 8,4 % (рис. 3б, 4б); при изменении расстояния между ними на 0,1 м предельная траектория движения влево проходо-

а



б

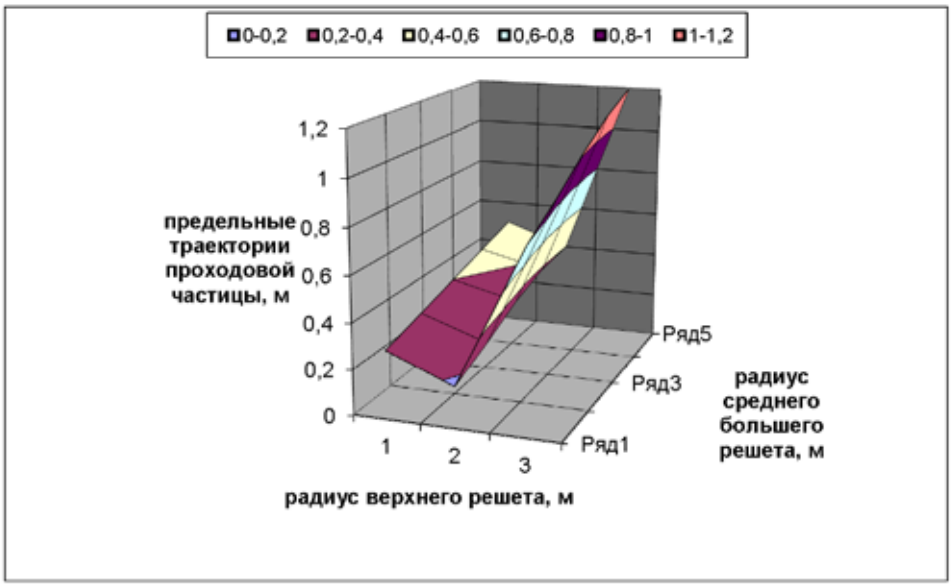


Рис. 4. Предельные траектории проходовой частицы при расстоянии между решетами 0,2 м: а – движение влево; б – движение вправо

вой частицы увеличивается на 18,6% (рис. 2а, 4а), а вправо – увеличивается на 17,7% (рис. 2б, 4б).

При соотношении решет 1,18 (0,45/0,38 м) и увеличении расстояния между ними с 0,1 м на 0,05 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 7,7% (рис. 2а, 3а), а вправо – увеличивается на 8,5% (рис. 2б, 3б); при дальнейшем увеличении расстояния между решетами еще на 0,05 м траектория влево увеличивается на 8,5% (рис. 3а, 4а); вправо – увеличивается на 7,7% (рис. 3б, 4б); при изменении расстояния между ними на 0,1 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 16,9% (рис. 2а, 4а), а вправо – увеличивается на 15,8% (рис. 2б, 4б).

При соотношении решет 1,25 (0,5/0,4 м) и увеличении расстояния между ними с 0,1 м на 0,05 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 7,3% (рис. 2а, 3а), а вправо – увеличивается на 7,0% (рис. 2б, 3б);

при дальнейшем увеличении расстояния между решетами еще на 0,05 м траектория влево увеличивается на 8,5% (рис. 3а, 4а); вправо – увеличивается на 7,4% (рис. 3б, 4б); при изменении расстояния между ними на 0,1 м предельная траектория движения влево проходовой частицы увеличивается на 16,5% (рис. 2а, 4а), а вправо – увеличивается на 14,9% (рис. 2б, 4б).

При варьировании соотношения радиусов решет по ряду 1,7; 1,4; 1,2; 1,18; 1,25 разница изменений предельных траекторий составляет, соответственно, при увеличении расстояния между решетами на 0,05 м (с 0,1 м до 0,15 м): 0,4%; 0,1%; 0,1%; –0,8%; 0,3%; при увеличении расстояния между решетами еще на 0,05 м (с 0,15 м до 0,2 м) на: 0,5%; 0,3%; 0,6%; 0,8%; 1,1%; при увеличении расстояния между решетами сразу на 0,1 м (с 0,1 м до 0,2 м): 0,8%; 0,6%; 0,9%; 1,1%; 1,6%. Знак «-» означает более интенсивное изменение при движении вправо.

Все это объясняется видом траектории движения частиц – в виде знака бесконечности [4, 5], а также взаимодействием частиц между собой – пространственной переориентацией [3]. Общие результаты вычислительного эксперимента полностью подтверждают правильность и адекватность всех наших теоретических исследований.

Выводы

1. Полученные числовые величины и соотношения свидетельствуют о возможности влияния на процесс комплексной предпосевной обработки семенного материала за счет изменения конструктивно-технологических параметров классификаторов, прогнозируя тем самым эффективность реализации этой обработки.

2. В результате вычислительного эксперимента была выявлена не пропорциональная зависимость варьирования величин траекторий от соотношения величин решет и расстояния между ними.

3. Меняя соотношения размеров решет от 1,2 до 1,7, можно получить изменение предельных траекторий проходовых частиц на 7,0% – 28,7%.

4. Результаты вычислительного эксперимента полностью подтверждают правильность и адекватность проведенных теоретических исследований в области создания новой технологии предпосевной обработки семенного материала и технических средств, ее реализующих.

5. Полученные числовые соотношения будут использованы при изготовлении классификаторов.

Список литературы

1. Богомягких В.А. О форме и условном диаметре реальных частиц зернового материала / В.А. Богомягких, А.Ю. Несмиян, А.С. Климович, А.Л. Ляшенко, А.А. Скудина // Вестник аграрной науки дона. – 2014. – Т. 2. – № 26. – С. 30–34.

2. Вахнина Г.Н. Аналитическая модель скоростного режима работы конусного классификатора / Г.Н. Вахнина, А.В. Князев, С.С. Лосев // Современные проблемы науки и образования, 2013. – № 2; URL: http://www.science-education.ru/108–9070 (дата обращения: 09.12.16).

3. Вахнина Г.Н. Математическая модель средних линейных ускорений проходовых частиц (с верхним положением горизонтального элемента каркаса) / Г.Н. Вахнина // Современные проблемы науки и образования, 2013. – № 6; URL: http://www.science-education.ru/113–11306 (дата обращения: 09.12.16).

4. Вахнина Г.Н. Усовершенствованные классификаторы: конструктивно-установочные параметры, перемещение решет рабочего органа / Г.Н. Вахнина; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2010. – 43 с. – 16 ил. Библиогр. 33 назв. Рус. Деп. в ВИНИТИ. 24.04.2014. № 115–В2014.

5. Кубеев Е.И. Характер движения семян во вращающемся барабан-дражираторе // Известия Санкт-Петербургского аграрного университета. – 2011. – № 23. – С. 450–455.

6. Мартынов В.М. Математическое моделирование движения компонентов вороха корнеплодов в приемно-выкапывающем устройстве / В.М. Мартынов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 1. – С. 12–13.

7. Московский М.Н. Оценка влияния шнековых рабочих органов транспортирующих устройств на показатели качества семенных материалов / М.Н. Московский, Г.А. Адамян, К.М. Тихонов // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]: электрон. науч.-инновац. журн. – 2015. – № 4. URL: http://www.ivdon.ru/vagazine/archive/n4y2015/3353 (дата обращения: 09.12.16).

8. Острошенко В.В. Влияние предпосевной обработки семян стимуляторами роста на их посевные качества / В.В. Острошенко, Л.Ю. Острошенко // Вестник КрасГАУ, 2011. – №5. – С. 12–15.

9. Пат. 2535402 Российская Федерация, МПК A01C 1/00, B03C 1/00. Способ комплексной предпосевной обработки семян и магнитный классификатор для его осуществления / Г.Н. Вахнина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – № 2013127561/13; заявл. 17.06.2013; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34. – 6 с.: ил.

10. Сельвинский В.В. Устойчивость движения материальной частицы в окрестности оси угловых колебаний шероховатой поверхности / В.В. Сельвинский // Вестник АмГУ, 2009. – Вып. 45. – С. 3–7.

11. Сергеев, Н.С. Движение зерна в канале рабочего органа центробежно-роторного измельчителя ИЛС / Н.С. Сергеев // Механизация и электрификация сел-го хоз-ва, 2007. – № 3. – С. 19–20.

12. Смелик В.А., Кубеев Е.И. Теоретическое обоснование и экспериментальные исследования характера движения семян во вращающемся барабан-дражираторе // Актуальные вопросы совершенствования технологии и переработки продукции сельского хозяйства: Матер. межд. науч-пр. конф. – Вып. XII. – Йошкар-Ола, 2010. – С. 219–222.

13. Фоминых А.В. Методика расчета процесса просеивания проходовых частиц в круглые отверстия решет / А.В. Фоминых, В.Г. Чумаков, И.В. Шевцов, А.М. Косовских // Аграрный вестник Урала. – 2010. – Т. 73; № 7. – С. 80–81.

14. Шевченко А.П. Движение семян по спиралевидной поверхности пневматического скарификатора / А.П. Шевченко, А.Н. Лукин // Омский научный вестник. – 2013. – № 1(117). – С. 106–109.