

УДК 631.331.922

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СЕМЯН В ГЛАДКОМ ВРАЩАЮЩЕМСЯ БАРАБАНЕ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код: 2352-0690
kostenko.mihail2016@yandex.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Салапин Илья Михайлович
Аспирант
1234-99-99@mail.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Моделирование процессов смешивания семян является важной задачей в агрономии и промышленности. В условиях современного производства, эффективность смешивания во многом определяет качество конечного продукта и его однородность. Результаты проведённых экспериментов с использованием гладкого вращающегося барабана показывают возможность свести к минимуму травмирование семян и создать оптимальные условия для достижения равномерного распределения протравителя по их поверхности. Теория цепей Маркова, благодаря своей способности описывать стохастические процессы и предсказывать вероятностные переходы между состояниями, находит широкое применение в данной области. Созданная математическая модель на языке Python позволяет анализировать процесс нанесения протравителя на семена и выявлять наилучшие параметры для смешивания компонентов

Ключевые слова: ЦЕПИ МАРКОВА, ГЛАДКИЙ ВРАЩАЮЩИЙСЯ СМЕСИТЕЛЬ, МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕШИВАНИЯ СЕМЯН, ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-210-037>

UDC 631.331.922

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

SIMULATION OF THE PROCESS OF MIXING SEEDS IN A SMOOTH ROTATING DRUM BASED ON THE THEORY OF MARKOV'S CHAINS

Kostenko Mikhail Yuryevich
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code: 2352-0690
kostenko.mihail2016@yandex.ru
FGBOU VO RGATU
390044, Russia, Ryazan, ul.Kostycheva, 1

Salapin Ilya Mikhailovich
Post graduate student
234-99-99@mail.ru
FGBOU VO RGATU
390044, Russia, Ryazan, ul.Kostycheva, 1

Modeling of seed mixing processes is an important task in agronomy and industry. In modern production conditions, the mixing efficiency largely determines the quality of the final product and its uniformity. The results of the experiments conducted using a smooth rotating drum show the possibility of minimizing injury to seeds and creating optimal conditions for achieving uniform distribution of the mordant over their surface. Markov chain theory, due to its ability to describe stochastic processes and predict probabilistic transitions between states, is widely used in this field. The created mathematical model in Python allows you to analyze the process of applying a mordant to seeds and identify the best parameters for mixing the components

Keywords: MARKOV CHAINS, SMOOTH ROTATING MIXER, SEED MIXING SIMULATION, SEED INJURY

Введение. Выбор машины для протравливания семян – задача, требующая взвешенного подхода, учитывающего множество факторов, выходящих далеко за рамки простого показателя производительности. Критическим моментом является минимизация повреждений семян в процессе обработки. Ведь даже незначительные повреждения могут существенно повлиять на всхожесть, рост и, в конечном итоге, на урожайность сельскохозяйственных культур. Поврежденные семена – это потенциальные очаги инфекций, снижающие общую устойчивость посевов к болезням и стрессовым факторам окружающей среды. Поэтому, эффективность протравливания должна оцениваться не только по скорости обработки, но и по степени сохранности посевного материала.

Современные технологии обработки семян предлагают широкий спектр автоматизированных решений, призванных оптимизировать весь процесс и минимизировать риски, связанные с человеческим фактором. Автоматизация позволяет контролировать параметры протравливания с высокой точностью, обеспечивая равномерное распределение протравителя по поверхности семян и исключая вероятность передозировки или неравномерной обработки. Несмотря на прогресс в области автоматизации, ключевым аспектом остается выбор оптимального типа смесительного устройства. Современные протравители, как правило, оснащаются одним из трех основных типов смесителей: шнековыми, камерными и ротационными. Каждый из них имеет свои особенности конструкции и, соответственно, свои преимущества и недостатки. Шнековые смесители, обеспечивающие интенсивное перемешивание благодаря вращающемуся шнеку, часто приводят к повреждению семян из-за высокой скорости вращения и интенсивного механического воздействия на зерновки. Аналогичная ситуация наблюдается и с ротационными смесителями, где семена подвергаются воздействию центробежных сил и многократным столкновениям. Камерные смесители, хотя и менее

интенсивны в перемешивании, также могут вызывать повреждения, особенно при некорректной настройке параметров работы. Неравномерное распределение протравителя внутри камеры может привести к тому, что часть семян останется необработанной, а другая часть – подвергнется избыточному воздействию. В результате, получаем неоднородность обработки и снижение эффективности. Повреждения семян могут проявляться в виде микротрещин, сколов, нарушений целостности оболочки, что приводит к снижению всхожести и ослаблению иммунитета растений. Поврежденные семена становятся более уязвимыми для различных патогенов, что может привести к развитию заболеваний еще на начальных этапах вегетации.

Проблема повреждения семян в процессе протравливания требует комплексного подхода. Необходимо не только совершенствовать конструкцию существующих смесительных устройств, но и разрабатывать новые, более щадящие технологии. Один из многообещающих подходов – использование вращающегося барабана с гладкой внутренней поверхностью. Такой барабан обеспечивает равномерное перемешивание семян с протравителем, минимизирует механические повреждения, которые могут снизить всхожесть и урожайность. В целом, решение проблемы заключается в создании более щадящих методов обработки, сочетающих в себе улучшенную конструкцию оборудования и разработку новых, более эффективных технологий. Это позволит обеспечить качественную обработку семян без ущерба для их целостности и потенциальной всхожести [2,4,6].

Проблема и цель.

Механические повреждения семян, возникающие в процессе протравливания, могут проявляться в виде микротрещин, сколов оболочки и даже полного разрушения зародыша. Эти повреждения ослабляют семена, делая их более восприимчивыми к патогенным микроорганизмам,

обитающим в почве. В результате, снижается полевая всхожесть, энергия прорастания и, как следствие, густота стояния растений.

Неправильная настройка протравочного оборудования, использование устаревших или изношенных машин, а также несоблюдение рекомендованной скорости обработки – все это факторы, способствующие травмированию и неравномерному покрытию семян протравителем. Чрезмерное механическое воздействие, особенно при использовании шнековых или роторных протравливателей, может привести к серьезным повреждениям.

Цель данного исследования заключалась в моделировании процесса смешивания семян в гладком вращающемся барабане на основе теории цепей Маркова.

Материалы и методы исследования.

В поисках оптимального решения для равномерного смешивания семян с протравителем, было принято решение использовать гладкий барабанный смеситель с внутренним покрытием из эластомера. Для обеспечения эффективного и предсказуемого процесса смешивания, были применены современные методы математического моделирования, основанные на теории Марковских цепей. Эти модели позволяют с высокой степенью точности предсказывать поведение сыпучих материалов внутри вращающегося барабана. В основе этих моделей лежит вероятностный подход, описывающий перемещение каждой отдельной частицы (семени) как последовательность дискретных состояний. Каждое такое состояние характеризуется конкретным положением частицы внутри барабана: она может находиться вблизи стенки, в центральной части барабана, вблизи разгрузочного отверстия или в любой другой точке. Модель также учитывает взаимодействие данной частицы с другими частицами. Переход частицы из одного состояния в другое описывается матрицей вероятностей перехода [1,3].

Для проведения экспериментов по травмированию семян в барабанном смесителе был собран опытный образец с возможностью изменения скорости вращения и угла наклона.



Рисунок 1 – Опытный образец гладкого барабанного смесителя семян

В рамках проведенных исследований были выбраны семена чечевицы, известные своей чувствительностью к механическим повреждениям. Целью эксперимента было изучение влияния скорости вращения смесителя на целостность этих семян. Для достижения достоверных результатов, семена были предварительно откалиброваны по размеру и массе, что позволило свести к минимуму влияние этих параметров на конечные результаты эксперимента.

Семена чечевицы были подготовлены и разделены на несколько групп в зависимости от уровня влажности. Влажность семян была тщательно измерена с использованием специального прибора wile-55. Таким образом, были выделены три основные группы: первая группа имела низкую влажность, составляющую примерно 11%; вторая группа имела среднюю влажность, равную около 14%; и, наконец, третья группа с высокой влажностью, которая достигала примерно 17%. Каждая из этих

групп была далее разделена на подгруппы, чтобы более детально исследовать влияние различных условий на семена.

Каждая подгруппа семян подвергалась смешиванию в опытном барабанном смесителе с различными частотами вращения, которые составляли 15, 30, 45, 60, 75 и 90 оборотов в минуту. Время смешивания для всех групп семян было установлено равным 30 секундам. Данная продолжительность была выбрана для обеспечения однородности условий эксперимента и для того, чтобы получить максимально сопоставимые результаты.

По окончании процесса смешивания каждое семя из подгрупп было подвергнуто тщательному осмотру с использованием микроскопа Mustool G1200, который обладал функцией увеличения от 1 до 1200 раз. Это позволяло детально исследовать каждое семя на предмет наличия повреждений. К повреждениям относились такие дефекты, как трещины в оболочке, разрывы и различные деформации, которые могли возникнуть в результате механического воздействия.

По окончании всех экспериментов и анализов, результаты показали, что уровень повреждения семян чечевицы оставался на прежнем уровне и не изменился по сравнению с состоянием до начала эксперимента. Установлено, что влажность семян чечевицы при использовании гладкого барабанного смесителя с эластичным покрытием не оказывает существенного влияния на повреждение семян. Повреждения при различной влажности не превышали 0,5%. Так же установлено, что частота вращения незначительно влияет на повреждение семян изменения повреждений семян при различных частотах не превышало 0,5%. Таким образом, проведенные исследования предоставили важные данные о механических свойствах семян чечевицы и их устойчивости к травмированию, что может быть полезно для дальнейших исследований в данной области.

В гладком вращающемся барабанном смесителе процесс смешивания сыпучих материалов, таких как семена, является довольно сложным и многогранным. Он зависит от множества различных факторов, среди которых можно выделить скорость вращения барабана, угол его наклона, а также геометрические параметры, включая диаметр и длину барабана. Не менее важными являются физические свойства самих семян, такие как их размер, форма, плотность и уровень влажности.

Процесс смешивания в этом устройстве в основном происходит в плоскости поперечного сечения барабана, что приводит к образованию различных сегментов, в которых материал ведет себя по-разному. Так семена, находящиеся на поверхности сыпучего материала, начинают скатываться вниз по наклонной плоскости, образованной вращением барабана. Стоит отметить, что скорость скатывания отдельных семян может варьироваться. Это зависит от их положения на скате, а также от их размеров и силы трения, действующей между семенами и стенками барабана [5].

Каждое семя проходит свой путь, прежде чем погрузиться вглубь слоя сыпучего материала, и этот путь влияет на его дальнейшее перемещение в объеме. Когда семена погружаются внутрь, они попадают в область, где движение становится преимущественно циркуляционным. В этой зоне семена движутся почти параллельно стенкам барабана, следуя по круговым орбитам. Здесь происходит меньшее перераспределение семян относительно друг друга, что означает, что интенсивность перемешивания в этой области значительно ниже, чем на поверхности ската. Этот контраст между активным перемешиванием на поверхности и более пассивным перемешиванием внутри слоя является ключевым фактором, определяющим эффективность работы смесителя. Для достижения однородности смеси важно, чтобы семена достаточно часто переходили из

области активного перемешивания на скате в область пассивного перемешивания, находящуюся глубже, и наоборот.

Таким образом, процесс смешивания в гладком вращающемся барабанном смесителе - это не просто механическое перемещение материалов, а сложное взаимодействие множества факторов, которые влияют на конечный результат. Каждый элемент, начиная от конструкции смесителя и заканчивая характеристиками самих семян, играет свою роль в формировании качественной и однородной смеси.

В ходе проведенного эксперимента, связанного с процессом смешивания пластиковых шариков, количество которых составило 3000 штук и которые имели различные цвета, было установлено, что для достижения достаточно равномерного смешивания этих шариков в опытном барабанном смесителе с эластичным покрытием при частоте вращения 60 об/мин требуется около 7 полных оборотов барабана. Однако стоит отметить, что это значение является лишь приблизительным и может значительно варьироваться в зависимости от множества факторов, которые были упомянуты ранее.

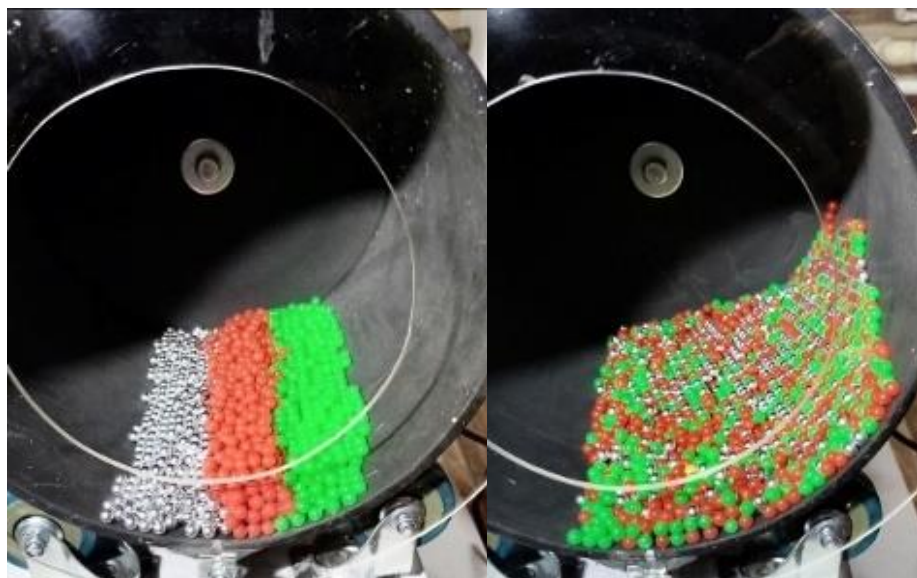


Рисунок 2 – Смешивание пластмассовых шариков в смесителе

К примеру, если увеличить угол наклона барабана, это может привести к тому, что шарики будут быстрее скатываться вниз, что, в свою очередь, позволит достичь более равномерного распределения за меньшее количество времени. Однако такой подход может иметь и свои недостатки: увеличенный наклон может привести к более быстрому износу как самого барабана, так и самих шариков, что может негативно сказаться на долговечности оборудования и качестве конечного продукта.

Кроме того, скорость вращения барабана также играет ключевую роль в процессе смешивания. Увеличение скорости может повысить интенсивность перемешивания, что потенциально сократит время, необходимое для достижения однородности смеси. В то же время, стоит учитывать, что разные типы шариков могут вести себя по-разному в процессе смешивания. Например, более крупные и плотные шарики будут перемешиваться медленнее по сравнению с мелкими и легкими, что также влияет на общую эффективность процесса.

Таким образом, время смешивания, соответствующее 7 оборотам барабана при частоте вращения 60 об/мин, можно рассматривать как ориентировочное значение, которое актуально для определенных условий работы смесителя. Чтобы оптимизировать процесс смешивания и достичь заданной однородности смеси, необходимо проводить дополнительные исследования и моделирование, учитывая все параметры.

Современные методы компьютерного моделирования, например, такие как язык программирования *PYTHON* с реализацией матрицы перехода, позволяют детально изучить движение отдельных частиц в смесителе. Для моделирования смешивания семян в гладком вращающемся смесителе была поставлена задача с последующим решением её на языке программирования Python.

Для моделирования смешивания семян создадим линейную модель цепи Маркова, описывающей процесс покрытия семян чечевицы

протравителем в смесителе. Семена засыпаются в круглый, вращающийся вокруг своей оси, гладкий смеситель семян. Эти семена не полностью покрыты протравителем, но вращаясь и перемешиваясь в смесителе они, взаимодействуя друг с другом постепенно покрываются протравителем на 100% [3].

1. Начальное состояние семян, как процент покрытия могут находится в следующем состоянии: 0%, 10%, 20%, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100% ;
2. Количество семян: 1000 штук;
3. Требования к уровню покрытия: минимальный уровень покрытия 100%;
4. Первоначальное состояние 70%;
5. Вероятность, с которой семена покрываются друг от друга 30%.

Модель цепи Маркова

1. Состояния

Рассмотрим 11 состояний семян, где каждое состояние представляет уровень покрытия протравителем:

$S_0 = 0\%$ (полностью не покрытые семена)

$S_1 = 10\%$

$S_2 = 20\%$

$S_3 = 30\%$

$S_4 = 40\%$

$S_5 = 50\%$

$S_6 = 60\%$

$S_7 = 70\%$

$S_8 = 80\%$

$S_9 = 90\%$

$S_{10} = 100\%$ (полностью покрытые семена)

2. Определение вероятностей переходов

При вводных данных можно предположить, что:

На каждом шаге состояние может изменяться, увеличиваясь на 10% с вероятностью 30%.

Вероятность остаётся на том же уровне — 70%.

Матрица переходов P будет выглядеть так:

$$P = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} & p_{04} & p_{05} & p_{06} & p_{07} & p_{08} & p_{09} & p_{10} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} & p_{16} & p_{17} & p_{18} & p_{19} & p_{1,10} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} & p_{26} & p_{27} & p_{28} & p_{29} & p_{2,10} \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} & p_{36} & p_{37} & p_{38} & p_{39} & p_{3,10} \\ p_{40} & p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & p_{45} & p_{46} & p_{47} & p_{48} & p_{49} & p_{4,10} \\ p_{50} & p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & p_{55} & p_{56} & p_{57} & p_{58} & p_{59} & p_{5,10} \\ p_{60} & p_{61} & p_{62} & p_{63} & p_{64} & p_{65} & p_{66} & p_{67} & p_{68} & p_{69} & p_{6,10} \\ p_{70} & p_{71} & p_{72} & p_{73} & p_{74} & p_{75} & p_{76} & p_{77} & p_{78} & p_{79} & p_{7,10} \\ p_{80} & p_{81} & p_{82} & p_{83} & p_{84} & p_{85} & p_{86} & p_{87} & p_{88} & p_{89} & p_{8,10} \\ p_{90} & p_{91} & p_{92} & p_{93} & p_{94} & p_{95} & p_{96} & p_{97} & p_{98} & p_{99} & p_{9,10} \\ p_{10,0} & p_{10,1} & p_{10,2} & p_{10,3} & p_{10,4} & p_{10,5} & p_{10,6} & p_{10,7} & p_{10,8} & p_{10,9} & p_{10,10} \end{pmatrix}$$

3. Описание матрицы

Строки i (от 0 до 10) представляют текущее состояние S_i (уровень покрытия семени).

- Столбцы j (от 0 до 10) показывают состояние, куда происходит переход.
- Значения матрицы:
 - 0.7 — вероятность остаться в текущем состоянии.
 - 0.3 — вероятность перейти на следующую ступень (например, S_i в S_{i+1}), за исключением состояния S_{10} , которое считается конечным состоянием (100% покрытия).

Эта полная матрица переходов позволит нам использовать метод цепей Маркова для анализа вероятностей достижения полного покрытия семян с помощью протравителя.

4. Заполнение матрицы вероятностями

Определим вероятности:

1. Из состояния S0 (0%):
 - $p_{00}=0.7$ (остаётся 0%)
 - $p_{01}=0.3$ (переходит на 10%)
 - Остальные $p_{02}=p_{03}=...=p_{10}=0$
 2. Из состояния S1 (10%):
 - $p_{10}=0.7$ (остаётся 10%)
 - $p_{11}=0$ (не может вернуться в 0%)
 - $p_{12}=0.3$ (переходит на 20%)
 - Остальные $p_{13}=p_{14}=...=p_{10}=0$
- Остальные состояния рассчитываются аналогично.

5. Матрица переходов:

Матрица переходов P имеет следующий вид:

$$P = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Эта модель цепи Маркова позволяет оценить динамику процесса покрытия семян протравителем в смесителе. Подобный подход дает возможность формализовать необходимые параметры и вероятности взаимодействия, предоставляя пользователю понимание эффективных характеристик обработки семян, что может служить основой для оптимизации процесса.

Чтобы решить задачу с матрицей переходов и оценить, сколько шагов потребуется для достижения 100% покрытия семян (состояние S10),

мы можем использовать методы линейной алгебры. В частности, будем анализировать, как вероятность семян оказаться в различных состояниях изменяется со временем путем итерационного умножения матрицы переходов на вектор начальных состояний.

Начальная информация

Матрица переходов P:

$$P = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Здесь вероятности первоначальных состояний 70% (0.7) остаться в том же состоянии и 30% (0.3) переходить в следующее состояние.

Начальный вектор состояния $\pi(0)$: $\pi(0)=[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]$

Итерационный процесс

Чтобы выполнить итерации, будем умножать вектор состояний на матрицу переходов несколько раз, наблюдая, когда вероятность достижения состояния S_{10} (100% покрытия) превысит определенный порог.

Шаги умножения

Мы начинаем с $\pi(0)$ и будем вычислять $\pi(n)=\pi(n-1) \times P$, где n — номер итерации.

1. Первая итерация (n=1)

$$\pi \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \pi \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \times P = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0.0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Вторая итерация (n=2)

Повторяем процесс: $\pi(2)=\pi(1) \times P$

3. Продолжаем процесс

Следующим шагом будут итерации 3, 4 и так далее. Эта последовательность может быть продолжена, пока значения вероятностей в $\pi(n)$ не достигнут значительного значения в состоянии S_{10} .

Для визуализации графа с использованием пакета утилит Graphviz, который предназначен для автоматической визуализации графов, мы будем применять язык описания графов DOT, основанный на матрице. Этот код описывает узлы и ребра, соответствующие весам в матрице. Узлы в Graphviz будут обозначены цифрами от 0 до 10.

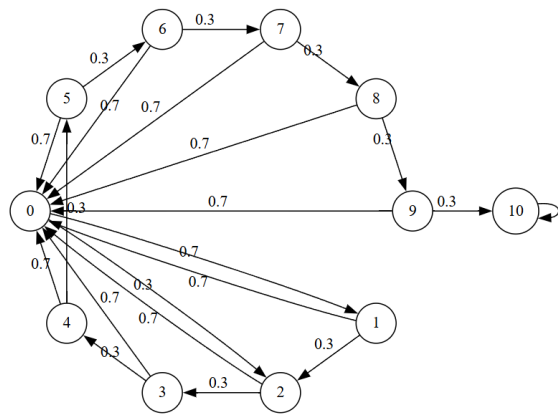


Рисунок 3 - Модель марковского процесса в виде графа

4. Когда остановиться?

Мы продолжаем итерации до достижения $\pi(n)_{10} > 0$ или когда вероятность достижения S_{10} начинает стабилизироваться.

Для данного процесса требуется автоматизация расчётов. Автоматизация расчёта среднего количества шагов, необходимых для полного покрытия семян протравителем, эффективно реализуется с помощью языка программирования Python. Выбор Python обусловлен его высокой производительностью, интуитивной синтаксической структурой и широкими возможностями применения. Он является одним из наиболее востребованных языков для решения задач в областях обработки больших данных, научных вычислений и, что особенно актуально в данном контексте. Возможность использования библиотек NumPy и SciPy делает Python идеальным инструментом для работы с многомерными массивами (матрицами) и выполнения сложных математических операций, необходимых для моделирования процесса обработки семян.

Для моделирования процесса покрытия семян чечевицы протравителем в смесителе с помощью цепи Маркова был написан код на языке Python, использующий матрицу переходов и симуляции для расчета среднего числа шагов, необходимых для полного покрытия семян протравителем.

Код на языке Python:

```
import numpy as np
# Матрица переходов с 11 состояниями
P = np.array([
    [0.7, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S0
    [0.7, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S1
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S2
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S3
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S4
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S5
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0], # S6
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0], # S7
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0], # S8
    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3], # S9
    [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0] # S10 (- absorbing state)
])
# Начальный вектор состояния
state_vector = np.array([1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0])
# Итерации
num_steps = 0
while state_vector[10] < 0.99: # Точный порог может варьироваться
    state_vector = np.dot(state_vector, P)
    num_steps += 1
    print(f"Шаг {num_steps}: {state_vector}") # Вывод текущего состояния
print(f"Количество шагов для достижения 100% покрытия: {num_steps}")
```

Данный написанный код можно многократно запускать в Python версии 3.6, чтобы наблюдать за вариациями в количестве шагов,

необходимых для достижения 100% покрытия, так как это случайный процесс.

```

1 import numpy as np
2
3 # Матрица переходов с 11 состояниями
4 P = np.array([
5     [0.7, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S0
6     [0.8, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S1
7     [0.7, 0.0, 0.0, 0.5, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S2
8     [0.6, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S3
9     [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.6, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0], # S4
10    [0.9, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0], # S5
11    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0, 0.0], # S6
12    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.8, 0.0], # S7
13    [0.5, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.0], # S8
14    [0.7, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.3], # S9
15    [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0] # S10 (погружение завершено)
16 ])
17
18 # Начальный вектор состояния
19 state_vector = np.array([1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0])
20
21 # Итерации
22 num_steps = 0
23 while state_vector[10] < 0.99: # Точный порог может варьироваться
24     state_vector = np.dot(state_vector, P)
25     num_steps += 1
26     print(f"Шаг {num_steps}: {state_vector}") # Вывод текущего состояния
27 print(f"Количество шагов для достижения 100% покрытия: {num_steps}")
28
29
30

```

3.34344408e-01 9.71315838e-02
8.91306406e-01
Шаг 219: [7.65544053e+02
2.22400927e+02 6.46104847e+01
3.12837030e+01
9.08833989e+00 5.28057193e+00
1.53407774e+00 4.45670383e-01
3.45262104e-01 1.00303322e-01
9.20445881e-01]
Шаг 220: [7.90542159e+02
2.29663216e+02 6.67202781e+01
3.23052423e+01
9.38511091e+00 5.45300393e+00
1.58417158e+00 4.60223322e-01
3.56536307e-01 1.03578631e-01
9.50536878e-01]
Шаг 221: [8.16356555e+02
2.37162648e+02 6.88989647e+01
3.33601390e+01
9.69157270e+00 5.63106655e+00
1.63590118e+00 4.75251473e-01
3.68178658e-01 1.06960892e-01
9.81610467e-01]
Шаг 222: [8.43013895e+02
2.44906967e+02 7.11487943e+01
3.44494824e+01
1.00080417e+00 5.81494362e+00
1.68931996e+00 4.90770354e-01
3.80201179e-01 1.10453597e-01
1.01369874e+00]
Количество шагов для достижения 100%
покрытия: 222

Рисунок 4 - Автоматизация расчёта с помощью языка программирования Python

Представленный код, написанный на Python, симулирует процесс смешивания семян в вращающемся смесителе. Его ключевая особенность – стохастический характер: каждый запуск приводит к различному количеству итераций (шагов), необходимых для достижения 100% равномерного распределения (полного покрытия). Это обусловлено случайным характером процесса смешивания, который моделируется в коде. За счет изменения входных параметров, можно имитировать разные начальные условия в смесителе. Анализ числа итераций для достижения 100%-ного покрытия позволяет оценить эффективность процесса смешивания при данных условиях. Важно отметить, что модель смешивания зависит от алгоритма, заложенного в коде.

Выводы.

Проведённые исследования выявили, что использование гладкого барабанного смесителя в сочетании с математическим моделированием на основе цепей Маркова представляет собой перспективный подход к оптимизации процесса протравливания семян. Экспериментально подтверждена важность щадящего воздействия на семена в процессе обработки, что позволяет сохранить их целостность и всхожесть. Математическая модель, реализованная на языке Python, предоставляет возможность оценить динамику процесса покрытия семян протравителем и определить оптимальные параметры смешивания.

Полученные результаты демонстрируют, что разработанная модель адекватно описывает процесс смешивания и может быть использована для прогнозирования эффективности различных режимов работы смесителя. Стохастический характер модели позволяет учитывать случайные факторы, влияющие на процесс смешивания, и получать более реалистичные оценки времени, необходимого для достижения полного покрытия семян.

Предложенный подход открывает новые возможности для разработки и оптимизации оборудования для протравливания семян, обеспечивая повышение качества обработки и снижение потерь урожая. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение модели с учетом других факторов, таких как форма и размер семян, характеристики протравителя и геометрия смесителя.

Практическое применение результатов исследования позволит предприятиям, занимающимся обработкой семян, выбирать оптимальные режимы работы оборудования и снижать затраты на протравливание. Использование разработанной модели в качестве инструмента для принятия решений позволит повысить эффективность производства и обеспечить стабильно высокое качество семенного материала.

Библиографический список

1. Антонов С. И. Механические процессы и аппараты химической технологии. Смешение сыпучих материалов: учебно-методическое пособие / С. И. Антонов, Е. П. Аристова, Н. Н. Лясникова, Г. А. Малков // РХТУ им. Д. И. Менделеева. - 2017. – 62 с.
2. Бурмистров А. Н. Современные протравливатели семян зерновых культур / А. Н. Бурмистров, В. А. Вялых // АРК News. - 2024.- №72. - С. 46-48
3. Дурнев А. С. Применение теории цепей Маркова к моделированию процесса смешивания в гладком вращающемся барабане / А. С. Дурнев, В. Ф. Першин / Вестник ТГТУ. - 2013. - Том 19. № 4. - С.783-791
4. Протравливатель семян ПС-10 / Руководство по эксплуатации ИЯПБ.15.00.00.000-02 РЭ. - Горки : ООО “Ремком”. - 2018. - 35 с.
5. Савельева Л. Н. Расчетно-теоретические предпосылки к обоснованию технологических параметров барабанного смесителя непрерывного действия / Л. Н. Савельева, Е. А. Евентьева // Молодой ученый. - 2008. - № 1. - С. 32-36.
6. Хамидуллова М.Т. Эффективность производства зерновых культур в российской федерации / М.Т.Хамидуллова, Н.М. Асадуллин // Вектор экономики. - 2018. - 4(22). – С. 84-90.

REFERENCES

1. Antonov S. I. Mehanicheskie processy i apparaty himicheskoy tehnologii. Smeshenie syupchih materialov: uchebno-metodicheskoe posobie / S. I. Antonov, E. P. Aristova, N. N. Ljasnikova, G. A. Malkov // RHTU im. D. I. Mendeleeva. - 2017. – 62 s.
2. Burmistrov A. N. Sovremennye protravlivateli semjan zernovyh kul'tur / A. N. Burmistrov, V. A. Vjalyh // APK News. - 2024.- №72. - S. 46-48
3. Durnev A. S. Primenenie teorii cepej Markova k modelirovaniju processa smeshivaniya v gladkom vrashhajushhemsja barabane / A. S. Durnev, V. F. Pershin / Vestnik TGTU. - 2013. - Tom 19. № 4. - S.783-791
4. Protravlivatel' semjan PS-10 / Rukovodstvo po jekspluatacii IJaPB.15.00.00.000-02 RJe. - Gorki : ООО “Remkom”. - 2018. - 35 s.
5. Savel'eva L. N. Raschetno-teoreticheskie predposylki k obosnovaniju tehnologicheskikh parametrov barabannogo smesitelja nepreryvnogo dejstvija / L. N. Savel'eva, E. A. Event'eva // Molodoj uchenyj. - 2008. - № 1. - S. 32-36.
6. Hamidullova M.T. Jeffektivnost' proizvodstva zernovyh kul'tur v rossijskoj federacii / M.T.Hamidullova, N.M. Asadullin // Vvektor jekonomiki. - 2018. - 4(22). – S. 84-90.