

Научная статья

УДК 621-92.517

DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-2-41-50](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-2-41-50)

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ НАСТРОЙКИ ДОЗАТОРА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СМЕСИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Вячеслав Петрович Терюшков¹, Илья Андреевич Щербakov², Андрей Александрович Гунин³,Владимир Викторович Коновалов⁴✉, Илья Сергеевич Миронов⁵^{1,2} Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия^{3,4,5} Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия¹ typ141@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6260-3996>² sherbakoff.ilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7406-454X>³ gunin.andrey.11@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9928-8466>⁴ konovlov-penza@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5011-5354>⁵ mironov.pnz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1554-5783>

Реферат: Целью исследований является установление численными методами влияния точности настройки секции многокомпонентного дозатора на изменение состава смеси и производительность смесительного агрегата с непрерывным характером работы. В задачи исследований входит теоретическое определение влияния погрешностей при настройке дозаторов на производительность смесительного агрегата и рецептуру смеси с учетом доли контролируемого компонента в составе смеси. Методика исследований предусматривает численно-графический анализ влияния факторов на исследуемую величину, а для численных исследований используется моделирование в математическом пакете MatchCAD. Настройка дозаторов подачи компонентов смеси на норму выдачи является важным фактором, как обеспечения качества смеси, так и производительности смесительного агрегата, влияющих на объемы и длительность работы оборудования. Доля компонента в составе смеси практически не изменяется при рецептурной доле компонента до 10 % при исследовании влияния погрешности настройки дозатора. При рецептурной доле компонента более 20 % доля компонента в смеси и погрешность рецептуры смеси стремятся к линейности. Абсолютная погрешность рецептуры смеси при доле контролируемого компонента более 25 % существенно не изменяется. При этом с увеличением доли контрольного компонента возрастает влияние величины погрешности дозатора. У относительной погрешности обратная зависимость. С ростом доли контролируемого компонента наблюдается снижение относительной погрешности содержания компонента в смеси. Учитывая, что большинство компонентов смеси составляют долю 10-25 % от состава смеси, для данного интервала доли контролируемого компонента величина относительной погрешности рецептуры смеси в числовых значениях практически соответствует проценту погрешности дозатора. При увеличении доли контролируемого компонента наблюдается незначительное плавное снижение относительной погрешности содержания компонента в смеси.

Ключевые слова: дозатор, смеситель, смесительный агрегат, погрешность дозирования, погрешность дозатора, точность дозирования

Для цитирования: Терюшков В. П., Щербakov И. А., Гунин А. А., Коновалов В. В., Миронов И. С. Численный анализ влияния погрешности настройки дозатора на производительность смесительного агрегата // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. Т. 10, № 2. С.41-50. DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-2-41-50](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-2-41-50)

Original article

NUMERICAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DISPENSER SETTING ERROR ON THE PERFORMANCE OF THE MIXING UNIT

Vyacheslav P. Teryushkov¹, Ilya A. Shcherbakov², Andrey A. Gunin³, Vladimir V. Konovalov⁴✉, Ilya S. Mironov⁵^{1,2} Penza State Agrarian University, Penza, Russia^{3,4,5} Penza State Technological University, Penza, Russia¹ typ141@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6260-3996>² sherbakoff.ilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7406-454X>³ gunin.andrey.11@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9928-8466>⁴ konovlov-penza@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5011-5354>⁵ mironov.pnz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1554-5783>

Abstract: The purpose of the study is to establish a number of methods for accurately adjusting the section of a multicomponent dispenser to change the composition of the mixture and the productivity of a mixing unit with a continuous nature of operation. The objectives of the research include a theoretical determination of the influence of errors when setting up dispensers on the performance of the mixing unit and the mixture recipe, taking into account the proportion of the controlled component in the mixture. The research

methodology provides for a numerical and graphical analysis of the influence of factors on the value under study, and for numerical studies, modeling in the MatchCAD mathematical package is used. Setting the dispensers for supplying mixture components to the dispensing rate is an important factor in both ensuring the quality of the mixture and the performance of the mixing unit, which affects the volume and duration of operation of the equipment. The share of the component in the mixture practically does not change when the recipe share of the component is up to 10% when studying the influence of the dispenser setting error. When the recipe share of a component is more than 20%, the share of the component in the mixture and the error in the mixture recipe tend to linearity. The absolute error of the mixture formulation does not change significantly when the proportion of the controlled component is more than 25%. In this case, with an increase in the proportion of the control component, the influence of the dispenser error increases. The relative error has an inverse relationship. With increasing proportion of the controlled component, a decrease in the relative error of the component content in the mixture is observed. Considering that the majority of the components of the mixture make up a share of 10-25% of the composition of the mixture, for a given range of the share of the controlled component, the value of the relative error of the mixture formulation in numerical values practically corresponds to the percentage of the dispenser error. With an increase in the proportion of the controlled component, a slight gradual decrease in the relative error of the component content in the mixture is observed.

Keywords: dispenser, mixer, mixing unit, dosing error, dispenser error, dosing accuracy

For citation: Teryushkov, V. P., Shcherbakov, I. A., Gunin, A. A., Konovalov, V. V. & Mironov, I. S. (2025). Numerical analysis of the influence of dispenser adjustment error on the performance of the mixing unit. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 10, 2, 41-50 (in Russ.). DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-2-41-50](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-2-41-50)

За последние годы финансовые показатели производства сельского хозяйства увеличиваются, причем наиболее интенсивно увеличение в крестьянско-фермерских и личных подсобных хозяйствах. Однако поголовье ряда видов животных продолжает снижаться, как и обслуживающая его материально-техническая база. Это требует обеспечения производителей средствами механизации, а также создания условий роста численности животных [1]. Здесь важным условием является себестоимость продукции, которая в животноводстве во много определяется кормами (65-70 %) [2].

В силу наличия санкций существенно обостряется потребность в технологической безопасности страны как по пищевым продуктам, кормам и средствам механизации процессов. На данный момент около 60-70 % оборудования для производства комбикормов является отечественным [3]. При этом следует разрабатывать новые аналоги машин, отличающиеся повышенными экономическими и технологическими показателями.

Основную часть питательных веществ рациона обеспечивается комбикормом, соответственно продуктивность животных зависит от качественных и количественных его показателей. Основным поставщиком комбикорма являются крупные агрохолдинги. Доля малых предприятий и цехов по производству комбикормов не превышает 12 % общего объема [4]. Однако, для мелких и средних производителей животноводческой продукции с собственным кормопроизводством подобный вариант производство наиболее выгоден при использовании собственного фуража и позволяет обеспечить их независимость [5].

Производительность подобных производств не превышает 6 т/ч и этого вполне достаточно для свиноматок до 30 тыс. голов. Основой таких цехов являются молотковые дробилки, а получаемая дерть с покупными добавками засыпается в бункера для дозированной подачи в смеситель. С учетом местных условий в состав комбикормов иногда вводят микронизированный продукт, а готовую комбикормовую смесь продают как в рассыпном, так и гранулированном виде [6]. Внутрихозяйственное комбикормовое производство с производительностью порядка 2 т/ч вполне достаточно для обеспечения кормами среднее поголовье порядка 6-8 тыс. гол. свиней [5].

Существует тенденция введения в состав комбикормов местных кормов (таких как отходы производств сахара и растительных масел, и пр.), являющихся источниками жиров, белков или углеводов (в т. ч. обменной энергии) для удешевления продукции [7-9]. В случае необходимости имеется возможность внесения в корма лекарственных средств [10, 11].

Моделирование подобного производства с использованием местных кормов и обоснованием параметров оборудования представлено в научной статье [12]. Всесторонне изучен вопрос подбора оборудования и примерный состав технологических линий. Разработан алгоритм расчета для Microsoft Excel. Экономический эффект при подборе оборудования нацелен на снижение годовых эксплуатационных и прочих прямых издержек.

В научной статье [10] представлены результаты исследований машинной технологии и рационального конструктивного исполнения модульных установок с целью их оптимизации. Приведены выражения по расчету потребной производительности установки, где учитываются суточная потребность в кормах и затраты времени на настройку, устранение неполадок и технический уход.

В работе [13] осуществлен анализ работы технических средств как транспортирующих, так и технологически обрабатывающих сырьевой материал компонентов, входящих в состав комбикормов. Также рассмотрены

условия предотвращения сводообразования и разрушения сводов в бункерах.

Для приготовления кормо-лекарственных смесей вполне применимы циркуляционные смесители, позволяющие осуществить смешивание компонентов в зоне рабочих органов и равномерное распределение в общем объеме смеси [14]. Тип смесителя во многом определяет интенсификацию процесса смешивания. Горизонтальные смесители более интенсивно смешивают компоненты, чем вертикальные. Ленточный рабочий орган периодического смесителя позволяет получать однородную смесь при степени заполнения около 60 %. [15]

Более эффективно ступенчатое смешивание компонентов смеси. Известные устройства при этом сочетают конвективный и диффузионный процессы смешивания [11, 16]. Использование смесителей непрерывного действия [17, 18] позволяет ускорить процесс смесеобразования и увеличить производительность установок. [18, 19]

Вариация состава комбикормов по доле белково-витаминных добавок, как основного компонента по наиболее ценным добавкам, существенно влияет на качество продукта. Чем больше доля меньшего компонента, тем легче получить качественный продукт. [20, 21]

Использование многокомпонентного дозатора реализует связный способ дозирования при непрерывном смешивании. И здесь, для соблюдения рецептуры, надлежит обеспечить расчетную производительность секций дозатора по каждому компоненту, т. е. настройку дозирующих устройств по точности дозирования. [22, 23]

Цель исследований: установление численными методами влияния точности настройки секции многокомпонентного дозатора на изменение состава смеси и производительности смесительного агрегата с непрерывным характером работы.

Задачи исследований: теоретическое определение влияния погрешностей при настройке дозаторов на производительность смесительного агрегата и рецептуру смеси с учетом доли контролируемого компонента в составе смеси.

Материалы и методы исследований. Методика исследований предусматривает численно-графический анализ влияния факторов на исследуемую величину. Для численных исследований используется моделирование в математическом пакете MatchCAD.

При анализе результатов численного моделирования учитываются зоотехнические требования при производстве смесей: «При объемном дозировании допускается погрешность дозирования компонента – 3 %. При использовании объемных дозаторов: для ингредиентов, составляющих в рецепте более 30% следует обеспечить – до $\pm 1,5$ %; 10...30 %, то до $\pm 1,0$ %; от 3 до 10 % – до $\pm 0,5$ %; менее 3 % – до $\pm 0,1$ % от суммарной массы всех ингредиентов рецепта. Допустимые отклонения содержания компонентов в кормосмеси (по отношению к весу компонента): комбикорма и концкорма – ± 5 %; кормовые дрожжи – $\pm 2,5$ %; жиры животные – $\pm 1,0$ %, минеральные добавки – ± 5 %. Равномерность смешивания (однородность) соответственно: для КРС не менее 80 %; для овец – 75...80 % (при вводе карбамида – 90 %); для свиней – не менее 90 %; для зверей – не менее 80 %.» [24-27]

Тем самым, зоотехническими нормами различаются требования к погрешности средней величины дозы компонента в составе смеси и к распределению частиц компонента по всему объему смеси.

В работе [28] представлено описание разработанного смесительного агрегата непрерывного действия на основе скоростных барабанных дозаторов-метателей, образующих многокомпонентный дозатор и подающие компоненты смеси непрерывными потоками, и лопастного смесителя, осуществляющего непрерывное перемешивание материала компонентов смеси, подаваемых многокомпонентным дозатором, с распределением частиц компонентов по всему объему приготавливаемой смеси. Требования к равномерности смешивания получаемой смеси соответствуют зоотехническим требованиям.

Регулировка производительности дозаторов компонентов осуществляется положением их заслонок, перекрывающих выгрузные отверстия. До запуска агрегата в работу производится настройка дозаторов на требуемую производительность с контролем величины погрешности заданной производительности. Отсутствие качественной настройки дозаторов на требуемую производительность неизбежно сказывается на показатели работы смесительного агрегата и образование погрешности рецептуры смеси.

Результаты исследований. Для оценки работы любой технологической машины требуется оценить время ее работы. Оно определяется длительностью чистого времени работы оборудования.

Если в сутки животному требуется масса корма (m , кг/сут), то при количестве обслуживаемых животных (Z , гол.) на сутки потребуются масса корма, кг/сут:

$$M = m \cdot Z. \quad (1)$$

Тогда суточное время работы смесительного агрегата (при ежедневном приготовлении свежей порции корма) составит с учетом производительности смесительного агрегата (Q_{Σ} , кг/с), ч:

$$T_c = T_p + T_d = \left(\frac{M}{3600 Q_{\Sigma}} \right) + T_d, \quad (2)$$

где T_p – основное время работы оборудования, ч; T_d – дополнительное время на обслуживание оборудования, ч.

Если технологические требования позволяют заготовить кормосмесь на несколько суток, то расчетное значение количества обслуживаемых дней составит:

$$D = \frac{(T_{cm} - T_d)}{\left(\frac{M}{3600 Q_{\Sigma}}\right)}. \quad (3)$$

Указанное значение округляется в меньшую сторону до целого числа.

При этом в составе кормоцеха надлежит оборудовать набор механизированных бункеров по количеству компонентов смеси и бункер готовой продукции. При этом объем каждого бункера должен составлять не менее используемого объема бункера транспортного средства, обеспечивающего доставку компонента, а также возможность накопления компонента (или смеси) не менее используемой суточной работы смесительного агрегата.

В процессе приготовления смеси смесительным агрегатом непрерывного действия требуется непрерывная подача всех компонентов смеси, т. е. работа многокомпонентных дозаторов в непрерывном режиме. Производительность каждого дозатора (кг/с) обозначим как Q_i , где i – номер дозатора компонента. Погрешность настройки каждого дозатора (кг/с) обозначим как ΔQ_i .

Тогда производительность многокомпонентного дозатора составит (кг/с):

$$Q_{\Sigma} = \sum_i (Q_i + \Delta Q_i). \quad (4)$$

Величина погрешности настройки конкретного дозатора в расчете на погрешность производительности смесительного агрегата составит (0,01 %):

$$\Delta p_{\Sigma i} = \frac{\Delta Q_i}{\sum_i (Q_i + \Delta Q_i)}. \quad (5)$$

Если производительность дозаторов настраивается с учетом конкретной доли компонента в смеси ($Q_i = Q_{\Sigma} \cdot d_i$; $\sum d_i = 1$), то величина погрешности настройки конкретного дозатора в расчете на погрешность производительности смесительного агрегата относительно технической характеристики составит (0,01 %):

$$\Delta p_{\Sigma i} = \frac{\Delta p_i \cdot Q_i}{\sum_i (Q_{\Sigma} \cdot d_i [1 + \Delta p_i])}. \quad (6)$$

Погрешность производительности смесительного агрегата Q_{cm} (кг/с) относительно его заданной величины выразим в виде относительных величин (Δp_i , 0,01 %), то получим выражение:

$$\Delta p_{\Sigma i} = \frac{\Delta p_i \cdot Q_i}{\sum_i (Q_i + \Delta p_i \cdot Q_i)} = \frac{\Delta p_i \cdot d_i \cdot Q_{cm}}{Q_{cm} [1 + \Delta p_i d_i]} = \frac{\Delta p_i \cdot d_i}{[1 + \Delta p_i d_i]}. \quad (7)$$

где Q_{cm} – заложенная характеристикой технической производительность смесительного агрегата, кг/с.

Тогда суммарная производительность многокомпонентного дозатора, обеспечивающего работу смесительного агрегата, должна составить (кг/с):

$$Q_{\Sigma} = Q_{cm} \cdot (1 + \Delta p_{\Sigma i}). \quad (8)$$

Изменение производительности смесителя, а соответственно и всего смесительного агрегата, относительно его технической характеристики может сказаться на качестве получаемой смеси и потребляемой мощности его приводом. Соответственно потребуются проверка работоспособности смесительного агрегата (например, сверка с результатами исследований влияния технологических параметров на работу смесителя) в указанных условиях.

Доля компонента смеси с учетом погрешности настройки дозатора и доли контролируемого компонента по рецепту найдем исходя из доли компонента в рецепте с учетом погрешности в производительности агрегата относительно изменившейся производительности агрегата ввиду ее погрешности, (0,001%):

$$dr_{\Sigma i} = \frac{d_i (1 + \Delta p_i) \cdot Q_{cm}}{Q_{cm} [1 + \Delta p_i d_i]} = \frac{d_i (1 + \Delta p_i)}{[1 + \Delta p_i d_i]}. \quad (9)$$

Погрешность доли компонента относительно рецептуры смеси, абсолютная (0,01 %):

$$\Delta r_{\Sigma i} = \frac{d_i (1 + \Delta p_i)}{[1 + \Delta p_i d_i]} - d_i. \quad (10)$$

Погрешность расчетного содержания доли контролируемого компонента в смеси относительно доли по рецептуре смеси, относительная (0,01 %):

$$\Delta r_i = \frac{\frac{d_i (1 + \Delta p_i)}{[1 + \Delta p_i d_i]} - d_i}{dr_{\Sigma i}}. \quad (11)$$

Полученными выражениями воспользуемся для проведения численного анализа в математическом пакете MatchCAD по установлению влияния настройки дозаторов на работу смесительного агрегата для:

- относительной погрешности настройки конкретного дозатора на относительную погрешность производительности смесительного агрегата;
- доли компонента в рецепте смеси при конкретных значениях относительной погрешности настройки конкретного дозатора на относительную и абсолютную погрешность рецептуры смеси.

На рисунках 1-6 представлен листинг текстовой части программы с полученным графическим материалом для анализа результатов. В программном продукте размерность погрешностей на графиках дана в процентах (%).

Для удобства анализа и интерполяции результатов приняли расчетную производительность смесительного агрегата 3 кг/с в интервале рабочей производительности предложенного смесительного агрегата 6-12 т/ч [28]. При установлении влияния погрешности настройки дозатора использовали его производительность 1 кг/с.

Анализ графика рис.1 свидетельствует об изменении производительности дозатора в зависимости от доли компонента в смеси, т. е. чем больше доля компонента в смеси, тем большей производительностью должен обладать дозатор. С учетом того, что чувствительность дозатора связана с оптимальностью его конструктивно-кинематических параметров, типоразмер устанавливаемого дозатора соответствующего компонента, должен соответствовать интервалу его отмеряемых значений. Точность настройки дозатора на заданную производительность сказывается как на показатели его работы и на производительность смесительного агрегата (рис.2), так и соответствие состава смеси заданной рецептуре. Характер влияния погрешности настройки дозатора компонента на его производительность и долю дозируемого компонента в составе смеси – линейный, однако с ростом доли контролируемого компонента интенсивность изменения производительности возрастает (рис.3а).

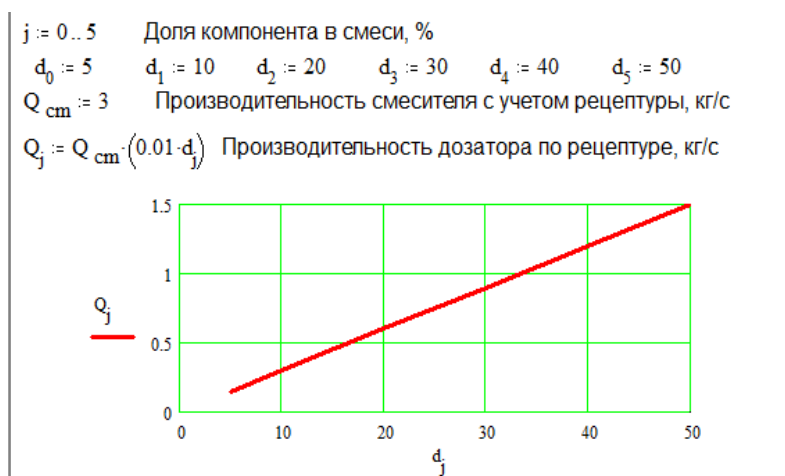


Рис. 1. Листинг текстовой части программы в математическом пакете MatchCAD по определению влияния доли контролируемого компонента d_j (%) на заданную производительность его дозатора Q_j (кг/с)

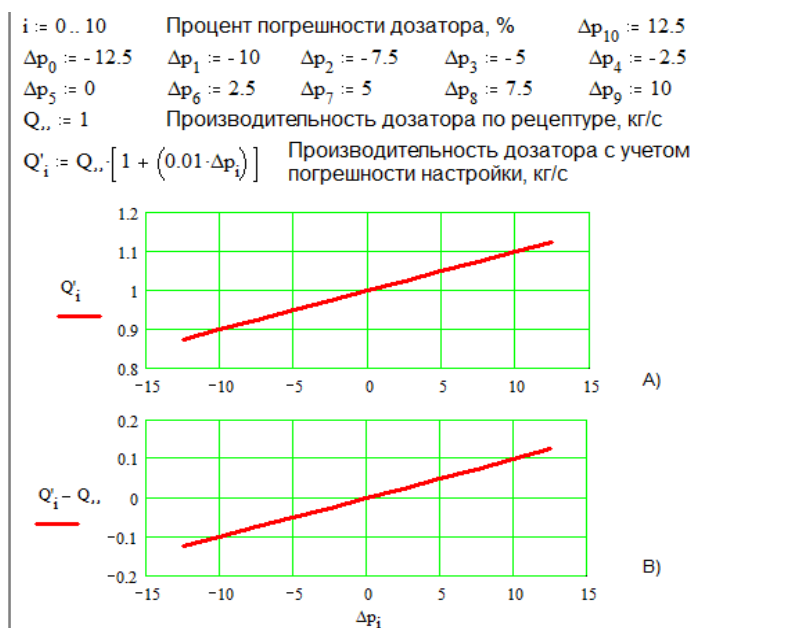


Рис. 2. Листинг текстовой части программы в математическом пакете MatchCAD по определению влияния погрешности настройки конкретного дозатора Δp_i (%) на:

А) заданную производительность его дозатора Q_i , кг/с;

В) фактическое отклонение значений производительности дозатора ($Q_i - Q$), кг/с

Характер влияния настройки дозатора и доли контролируемого компонента на погрешность производительности смесительного агрегата (рис. 3, В) и производительность смесительного агрегата (рис. 4) однотипны, так как это взаимозависимые параметры. При отсутствии погрешности дозирования наблюдается точное соответствие рецептуре и технической производительности смесительного агрегата. По мере роста доли контролируемого компонента влияние погрешности настройки резко возрастает, ухудшая качество смеси и изменяя производительность смесительного агрегата. Влияние погрешности (положительных значений погрешности настройки относительно отрицательных) не одинаково, при этом отрицательные значения погрешности настройки дозатора негативно сказываются более интенсивно, чем положительные значения.

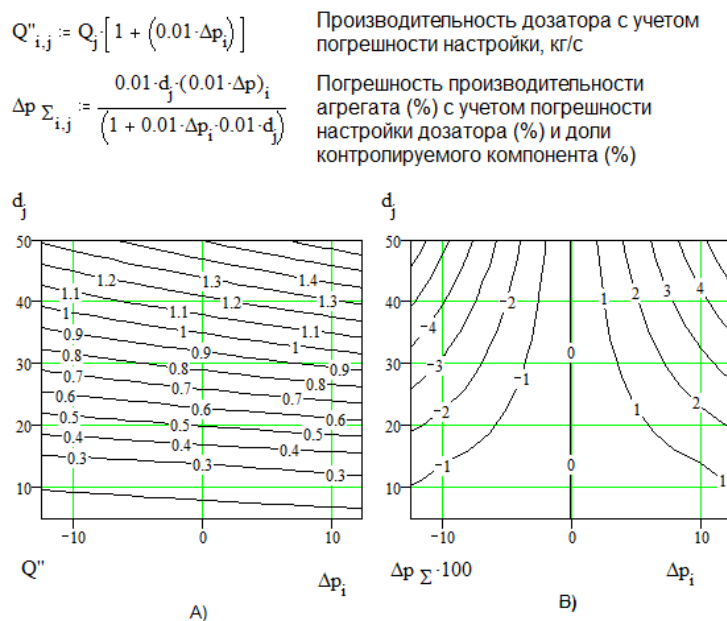


Рис. 3. Листинг текстовой части программы в математическом пакете MatchCAD по определению влияния погрешности настройки конкретного дозатора Δp_i (%) и доли контролируемого компонента смеси d_j (%) на:

- А) производительность дозатора Q_i с учетом погрешности его настройки, кг/с;
 В) погрешность производительности смесительного агрегата Δp_{Σ} (%)

Доля компонента в составе смеси (рис. 5.а) мало изменяется при рецептурной доле компонента до 10 %. При рецептурной доле компонента более 20 % доля компонента в смеси $d_{r_{\Sigma}}$ и погрешность рецептуры смеси Δr_{Σ} стремятся к линейности. В интервале 10-25 % переходный этап.

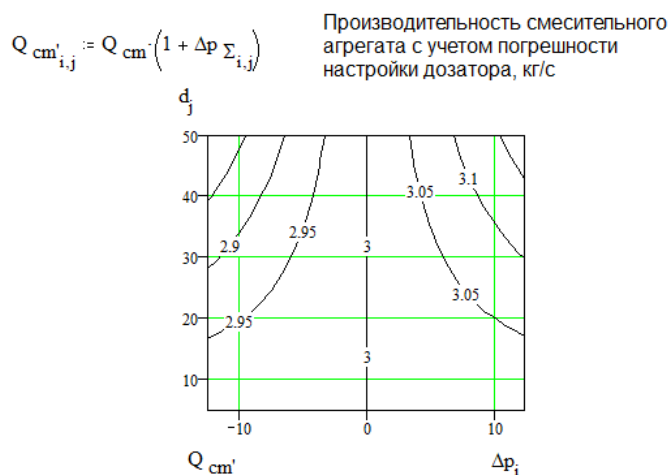


Рис. 4. Листинг текстовой части программы в математическом пакете MatchCAD по определению влияния погрешности настройки конкретного дозатора Δp_i (%) и доли контролируемого компонента смеси d_j (%) на производительность смесительного агрегата Q_{cm} (кг/с)

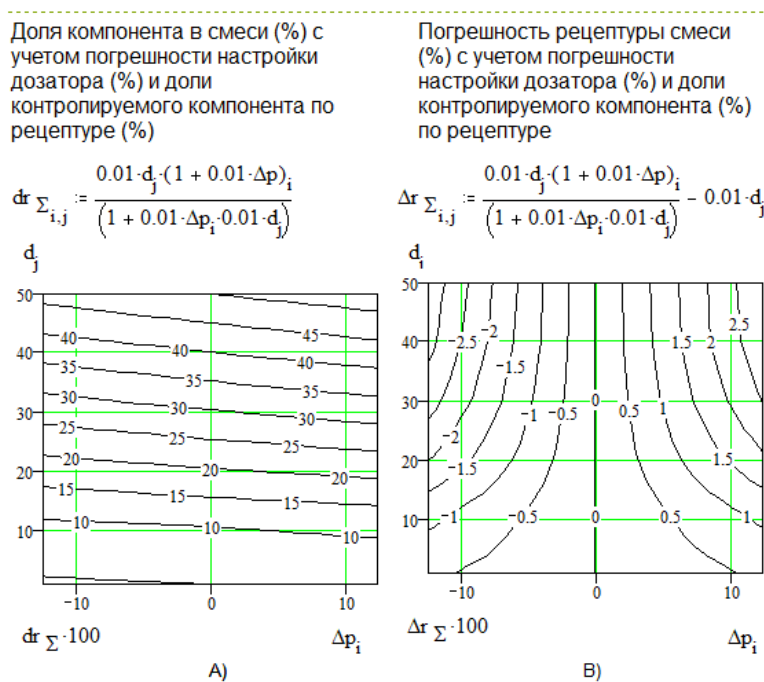


Рис. 5. Листинг текстовой части программы в математическом пакете MatchCAD по определению влияния погрешности настройки конкретного дозатора Δp_i (%) и доли контролируемого компонента смеси d_j (%) на:
 А) долю компонента в смеси dr_{Σ} (%); В) абсолютную погрешность рецептуры смеси Δr_{Σ} (%)

Абсолютная погрешность рецептуры смеси Δr_{Σ} при доле контролируемого компонента более 25 % существенно не изменяется. При этом с увеличением доли контролируемого компонента возрастает влияние величины погрешности дозатора в отрицательную сторону. У относительной погрешности (рис.6) обратная зависимость. С ростом доли контролируемого компонента наблюдается снижение относительной погрешности содержания компонента в смеси.

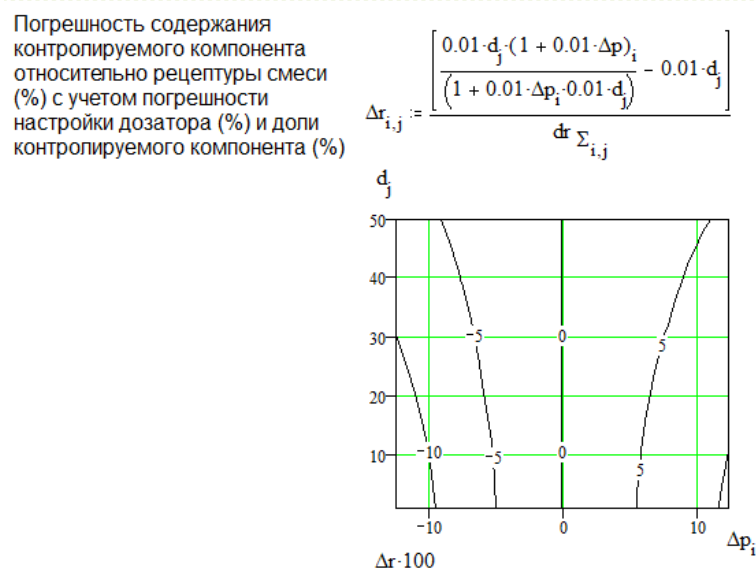


Рис. 6. Листинг текстовой части программы в математическом пакете MatchCAD по определению влияния погрешности настройки конкретного дозатора Δp_i (%) и доли контролируемого компонента смеси d_j (%) на относительную погрешность содержания контролируемого компонента относительно рецептуры смеси Δr (%)

Заключение. Тем самым, настройка дозаторов подачи контролируемых компонентов смеси на норму выдачи является важным фактором, как обеспечения качества смеси, так и производительности смесительного агрегата, влияющих на объемы и длительность работы оборудования.

Доля компонента в составе смеси практически не изменяется при рецептурной доле компонента до 10 %. При рецептурной доле компонента более 20 % доля компонента в смеси и погрешность рецептуры смеси стремятся к линейности.

Абсолютная погрешность рецептуры смеси при доле контролируемого компонента более 25 % существенно не изменяется. При этом с увеличением доли контрольного компонента возрастает влияние величины погрешности дозатора. У относительной погрешности обратная зависимость. С ростом доли контролируемого компонента наблюдается снижение относительной погрешности содержания компонента в смеси.

Учитывая, что большинство компонентов смеси составляют долю 10-25 % от состава смеси, для данного интервала доли контролируемого компонента величина относительной погрешности рецептуры смеси в числовых значениях практически соответствует проценту погрешности дозатора. При увеличении доли контролируемого компонента наблюдается незначительное плавное снижение относительной погрешности содержания компонента в смеси.

Список источников

1. Сёмин А. Н., Иовлев Г. А., Зорков В. С. Механизация производственных процессов в малых формах хозяйствования // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 11. С. 36-45. DOI: [10.32651/2111-36](https://doi.org/10.32651/2111-36) EDN: [ZEVILR](#)
2. Свободная, Е. Комбикорм «с колес» или формула эффективного комбикормового завода // Эффективное животноводство. 2022. № 7 (182). С. 100-102. EDN: [FYUVOM](#)
3. Илькин Н. Накормить сможем? // Эффективное животноводство. 2022. № 4 (179). С. 12-17. EDN: [KYOSYG](#)
4. Коняев Н. В., Трубников В. Н. Тенденции развития комбикормового производства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 9. С. 140-146. EDN: [QKXUXX](#)
5. Брагинец С. В., Бахчевников О. Н. Сравнительная технико-экономическая оценка малых внутрихозяйственных комбикормовых предприятий // Агроинженерия. 2021. № 5 (105). С. 59-65. DOI: [10.26897/2687-1149-2021-5-59-65](https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-5-59-65) EDN: [WBNFGS](#)
6. Сыроватка В. И., Жданова Н. В., Обухов А. Д. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 1 (37). С. 24-31. EDN: [NMFZHP](#)
7. Шулаев Г. М., Милушев Р. К., Доровских В. И., Жариков В. С. Технология изготовления кормовых добавок на основе льняного семени в условиях хозяйств // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 1 (45). С. 73-78. DOI: [10.51794/27132064-2022-1-73](https://doi.org/10.51794/27132064-2022-1-73) EDN: [LRZNGX](#)
8. Припоров И. Е. Оптимальный комплекс машин для приготовления комбикормов-концентратов на животноводческих предприятиях малых форм хозяйствования // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 6 (104). С. 113-118. EDN: [QRGTPU](#)
9. Припоров И. Е. Алгоритм обоснования рационального варианта участка подготовки жмыха подсолнечного с комбикормовым агрегатом // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (105). С. 90-100. EDN: [DBULCX](#)
10. Сыроватка В. И., Дидманидзе О. Н., Парлюк Е. П., Обухов А. Д., Жданова Н. В. Модульная установка для производства лечебных комбикормов и премиксов в хозяйствах // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 96-103. DOI: [10.12737/2073-0462-2021-96-103](https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-96-103) EDN: [WXZEZN](#)
11. Обухов А. Д., Жданова Н. В., Сыроватка В. И. Исследование способов и устройств производства однородных смесей лечебных комбикормов // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 2 (38). С. 32-40. EDN: [RCTSXV](#)
12. Припоров И. Е. Моделирование приготовления комбикормов-концентратов при изменении состава машин и комбикормовых агрегатов // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34. № 2. С. 191-212. DOI: [10.15507/2658-4123.034.202402.191-212](https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202402.191-212) EDN: [GBDURI](#)
13. Андрианова, И. Р. Анализ транспортно-технологических средств и способов доставки и хранения сырья на комбикормовые предприятия // Вестник транспорта Поволжья. 2023. № 4 (100). С. 47-52. EDN: [GBQQIP](#)
14. Завражнов А. И., Ведищев С. М., Прохоров А. В., Ложкина Е. Б., Выгузов М. Е. Малогабаритный шнековый смеситель с каналом обратного хода // Сельский механизатор. 2022. № 11. С. 18-20. DOI: [10.47336/0131-7393-2022-11-18-19-20](https://doi.org/10.47336/0131-7393-2022-11-18-19-20) EDN: [ANSWGU](#)
15. Савиных П. А., Турубанов Н. В., Исупов А. Ю. Определение оптимальных технологических параметров горизонтального смесителя рассыпных комбикормов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 2. С. 293-300. DOI: [10.30766/2072-9081.2024.25.2.293-300](https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.293-300) EDN: [TBETWK](#)
16. Коновалов В. В., Фомина М. В., Чупшев А. В., Терюшков В. П. Моделирование влияния конструктивных и технологических параметров на длительность смешения компонентов лопастным смесителем // Наука в центральной России, 2018. № 5 (35). С. 18-25. EDN: [HYKWPS](#)
17. Сабиев У. К., Есмаганбетов Е. С. Смеситель-увлажнитель гравитационного действия // Вестник Омского государственного аграрного университета, 2024. № 3 (55). С. 144-150. EDN: [FPWDKZ](#)
18. Матюшев В. В., Бочкарев А. Н., Семенов А. В., Чаплыгина И. А. Исследование режимов работы центробежного смесителя сыпучих компонентов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (44). С. 206-214. DOI: [10.48136/2222-0364_2021_4_206](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_206) EDN: [VVNZXB](#)

19. Бородулин Д. М., Сухоруков Д. В., Суворова Ю. П. Определение рациональных параметров работы барабанного смесителя при получении сыпучих продуктов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12. № 2. С. 29-37. DOI: [10.14529/food240204](https://doi.org/10.14529/food240204) EDN: [CBERAD](#)
20. Багирова Н. А., Сафарова У. Э. Обоснование режимов подключения системы дозирования к смесителю // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 109-116. DOI: [10.28983/asj.y2023i1pp109-116](https://doi.org/10.28983/asj.y2023i1pp109-116) EDN: [HKISEL](#)
21. Коновалов В. В., Терюшков В. П., Чупшев А. В., Коновалов В. В. Оптимизация технологических параметров смесителя с комбинированным рабочим органом // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 3. С. 83-87. EDN: [SFOUMZ](#)
22. Николаев В. Н. Экспериментальное определение качества дозирования в вибрационно-гравитационном дозаторе сыпучих кормов // АПК России. 2023. Т. 30. № 4. С. 515-522. DOI: [10.55934/10.55934/2587-8824-2023-30-4-515-522](https://doi.org/10.55934/10.55934/2587-8824-2023-30-4-515-522) EDN: [BPKPJS](#)
23. Булатов С. Ю., Зыкин А. А., Миронов К. Е., Сергеев А. Г., Шкилев Н. П. Смеситель-дозатор сухих сыпучих материалов // Техника и оборудование для села. 2023. № 1 (307). С. 30-32. DOI: [10.33267/2072-9642-2023-1-30-32](https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-1-30-32) EDN: [ECOOWY](#)
24. РД-АПК 1.10.17.01-15. Методические рекомендации по технологическому проектированию предприятий по производству комбикормов. Введ. 30.07.2015г. Росинформаротех, 2015. 104 с.
25. НТП-АПК 1.10.16.001-02. Нормы технологического проектирования кормоцехов для животноводческих ферм и комплексов. Введ. 01.05.2005. Издательство стандартов, 2002. 62 с.
26. Al-Maidi A. A. H., Himoud M. S., Kaliganov A. C., Teryushkov V. P., Chupshev A. V., Kononov V. V., Rodionov Y. V. Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer // International Journal of Agricultural and Statistical Sciences. 2021. Т. 16. С. 1769-1774. EDN: [NIZZWM](#)

References

1. Semin, A. N. Iovlev, G. A. & Zorkov, V. S. (2021). Mechanization of production processes in small forms of management. *Russian Agricultural Economics*. 11. 36-45. (in Russ.).
2. Svobodnaya, E. (2022). Compound feed "from the wheels" or the formula for an effective feed mill. *Effective animal husbandry*. 7 (182). 100-102. (in Russ.).
3. Ilkiv, N. (2022). Can we feed you? *Effective livestock farming*. 4 (179). 2-17. (in Russ.).
4. Konyaev, N. V. & Trubnikov, V. N. (2022). Trends in the development of feed milling production. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 9. 140-146. (in Russ.).
5. Braginets, S. V. & Bakhchevnikov, O. N. (2021). Comparative technical and economic assessment of small on-farm feed mill enterprises. *Agroengineering*. 5 (105). 59-65. (in Russ.).
6. Syrovatka, V. I., Zhdanova, N. V. & Obukhov, A. D. (2020). System of machines for preparing mixed feed on farms. *Equipment and technologies in animal husbandry*. 1 (37). 24-31. (in Russ.).
7. Shulaev, G. M., Milushev, R. K., Dorovskikh, V. I. & Zharikov, V. S. (2022). Technology for the production of feed additives based on flaxseed in farm conditions. *Equipment and technologies in animal husbandry*. 1 (45). 73-78. (in Russ.).
8. Priporov, I. E. (2023). Optimal complex of machines for the preparation of concentrated feed at small-scale livestock enterprises. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 6 (104). 113-118. (in Russ.).
9. Priporov, I. E. (2024). Algorithm for substantiating a rational option for a sunflower cake preparation site with a feed mill. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 1 (105). 90-100. (in Russ.).
10. Syrovatka, V. I., Didmanidze, O. N., Parlyuk, E. P., Obukhov, A. D. & Zhdanova, N. V. (2021). Modular installation for the production of medicinal feed and premixes on farms. *Bulletin of the Kazan State Agrarian University*. 16. 1 (61). 96-103. (in Russ.).
11. Obukhov, A. D., Zhdanova, N. V. & Syrovatka, V. I. (2020). Study of methods and devices for the production of homogeneous mixtures of medicinal feed. *Equipment and technologies in animal husbandry*. 2 (38). 32-40. (in Russ.).
12. Priporov, I. E. (2024). Modeling the preparation of concentrated feed when changing the composition of machines and feed mills. *Engineering technologies and systems*. 34. 2. 191-212. (in Russ.).
13. Andrianova, I. R. (2023). Analysis of transport and technological means and methods of delivery and storage of raw materials to feed mills. *Bulletin of transport of the Volga region*. 4 (100). 47-52. (in Russ.).
14. Zavrazhnov, A. I., Vedishchev, S. M., Prokhorov, A. V., Lozhkina, E. B. & Vyguzov, M. E. (2022). Small-sized screw mixer with a return channel. *Rural machine operator*. 11. 18-20. (in Russ.).
15. Savinykh, P. A., Turubanov, N. V. & Isupov, A. Yu. (2024). Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose mixed feed. *Agricultural science of the Euro-North-East*. 25. 2. 293-300. (in Russ.).
16. Kononov, V. V., Fomina, M. V., Chupshev, A. V., Teryushkov, V. P. (2018). Modeling the influence of design and technological parameters on the duration of mixing components with a paddle mixer. *Science in Central Russia*. 5 (35). 18-25. (in Russ.).
17. Sabiev, U. K. & Esmaganbetov, E. S. (2024). Mixer-humidifier of gravitational action. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 3 (55). 144-150. (in Russ.).
18. Matyushev, V. V., Bochkarev, A. N., Semenov, A. V. & Chaplygina, I. A. (2021). Study of operating modes of a centrifugal mixer of bulk components. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 4 (44). 206-214. (in Russ.).
19. Borodulin, D. M., Sukhorukov, D. V. & Suvorova, Yu. P. (2024). Determination of rational parameters for the operation of a drum mixer when receiving bulk products. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*. 12. 2. 29-37. (in Russ.).

20. Bagirova, N. A. & Safarova, U. E. (2023). Justification of modes for connecting the dosing system to the mixer. *Agrarian scientific journal*. 1. 109-116. (in Russ.).
21. Konovalov, V. V., Teryushkov, V. P., Chupshev, A. V. & Konovalov, V. V. (2014). Optimization of technological parameters of a mixer with a combined working body. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 3. 83-87. (in Russ.).
22. Nikolaev, V. N. (2023). Experimental determination of the quality of dosing in a vibration-gravity dispenser for bulk feed. *Agroindustrial complex of Russia*. 30. 4. 515-522. (in Russ.).
23. Bulatov, S. Yu., Zykin, A. A., Mironov, K. E., Sergeev, A. G. & Shkilev, N. P. (2023). Mixer-dispenser for dry bulk materials. *Machinery and equipment for rural areas*. 1 (307). 30-32. (in Russ.).
24. RD-APK 1.10.17.01-15. Methodological recommendations for technological design of feed production enterprises. Entered 07/30/2015. Rosinformagrotekh, 2015. 104. (in Russ.).
25. NTP-APK 1.10.16.001-02. Standards for technological design of feed mills for livestock farms and complexes. Enter. 05/01/2005. Standards Publishing House, 2002. 62. (in Russ.).
26. Al-Maidi, A. A. H., Himoud, M. S., Kaliganov, A. C., Teryushkov, V. P., Chupshev, A. V., Konovalov, V. V., Rodionov, Y. V. (2021). Modelling the quality of the mixture in a continuous paddle mixer. *International Journal of Agricultural and Statistical Sciences*. 2021. T. 16. C. 1769-1774.

Информация об авторах:

В. П. Терюшков – кандидат технических наук, доцент;
И. А. Щербakov – аспирант;
А. А. Гунин – аспирант;
В. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор;
И. С. Миронов – аспирант.

Information about the authors:

V. P. Teryushkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
I. A. Shcherbakov – Postgraduate student;
A. A. Gunin – Postgraduate student;
V. V. Konovalov – Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. S. Mironov – Postgraduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.02.2025; одобрена после рецензирования 14.05.2025; принята к публикации 27.05.2025.
The article was submitted 11.02.2025; approved after reviewing 14.05.2025; accepted for publication 27.05.2025.