

Модель принятия решений регулирования процесса пакетирования алюминиевых карточек

В. А. Мустафаев • С. И. Курбанова • Р. А. Руфуллаева

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан

Проведено исследование процесса пакетирования и прокатки пакета в действующем производстве алюминиевых испарителей. В результате исследования определено, что процент неисправимого брака во многом зависит от нечетного позиционирования процесса пакетирования и некорректного подачи пакета на валки прокатного стана. Разработанная схема роботизации процесса пакетирования и прокатки пакета из алюминиевых карточек. Представлена нейро-нечеткая модель для регулирования процесса пакетирования в действующем производстве алюминиевых испарителей. Создана база нечетких производственных правил для образования пакета алюминиевых карточек и прокатки пакета. Определены входные и выходные лингвистические переменные и их диапазон изменения. Для фазификации входных переменных выбрана обобщенная функция Гаусса и реализована процедура агрегирования с применением метода логического произведения. С применением алгоритма логического вывода Сугено–Такаки вычислено значение функции вывода

Нейро-модель; база правил; функций принадлежности; нечеткий вывод; образования пакета; регулирования.

ВВЕДЕНИЕ

Пакетирование и прокатка пакета из алюминиевых карточек являются одним из самых ответственных и трудоемких процессов на линии изготовления испарителей, что объясняется следующими факторами: процент неисправимого брака от неточной подачи пакета в валки прокатного стана составляет 15–20% от общего объема продукции и зависит от опыта и состояния вальцовщика, недопустимы, с точки зрения экономичности, простой дорогостоящего и мощного прокатного стана, который рассчитан для работы в непрерывном режиме; вальцовщик и пакетировщик работают в трудных условиях (во время прокатки валки прокатного стана нагреваются до 200°C, а температура ламповой печи составляет около 60°C) и их работа является наиболее трудоемкой и монотонной, так как за смену они подают в валки прокатного стана 4–5 тыс. шт. пакетов (около 8–10 т металла, по 2–2,5 кг каждый пакет) через каждые 6–7 с [Mus24].

В действующем производстве пакетирование и прокатка пакета выполняется по следующей технологии. Карточки с рисунком и без него от предыдущих позиций нанесения и очистки участка подготовки заготовок по двум конвейерам поступают на участок пакетирования к соответствующим столам (конвейер электроламповой печи рассчитан на перемещение двух параллельно установленных карточек). Пакетировщик берет одну карточку с рисунком со стола, а другую без рисунка со стола, накладывает их друг на друга зачищенными сторонами внутрь (собирает пакет из двух карточек) и кладет на вращающийся стол. Вальцовщик подхватывает пакет со стола, подравнивает переднюю и одну из боковых кромок пакета и подает по направляющему устройству в валки прокатного стана.

Мустафаев В. А., Курбанова С. И., Руфуллаева Р. А. Модель принятия решений регулирования процесса пакетирования алюминиевых карточек // СИИТ. 2026. Т. 8, № 4(28). С. 37–44. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no4-p37. EDN: RQGMKY.

Mustafaev V. A., Gurbanova S. I., Ruffullaeva R. A. A decision-making model for regulating the packaging process of aluminum cards// SIIT. 2026. Vol. 8, no. 4(28), pp. 37–44. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no4-p37. EDN: RQGMKY. (In Russian).

Рабочее место вальцовщика (на расстоянии 0,5–1,0 м от прокатного стана) отличается агрессивностью, так как согласно технологии валки прокатного стана непрерывно смазываются и при прокатке нагреваются до 200°C.

Согласно технологии, не допускается трогать очищенные стороны карточек. Следовательно, работники участка должны работать внимательно, соблюдая эти требования. Таким образом, конечный результат работы участка зависит во многом от физического и психологического состояния рабочего персонала

Алюминиевые карточки до поступления на участок пакетирования и прокатки пакета (в позиции нанесения рисунка) подлежат визуальному контролю, и поэтому количество одновременно поступающих заготовок непостоянно, что предъявляет дополнительные требования к СУ в различных ситуациях при автоматизации данного участка [Myc26].

Изучение работы участка показало следующее. Все операции на участке являются вспомогательными и носят характер разгрузки, перемещения, загрузки, позиционирования, установки и др. и выполняются вручную в тяжелых для человека условиях. Основная задача данного участка является регулирования процесса образования пакета из алюминиевых карточек и корректная подача на валки прокатного стана. В связи с этим в статье разработан нейронечёткая модель для регулирования процесса образования пакета из алюминиевых карточек.

РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПАКЕТИРОВАНИЯ И ПРОКАТКИ ПАКЕТА

Роботизации, обеспечивающая перечисленные технические условия, должна выполнять следующие функции: автоматическую транспортировку карточек с рисунком и без него к специальным столам; перемещение этих карточек к ячейкам автоматической транспортной системы (АТС); транспортировку их к позиции пакетирования; пакетирование и транспортировку пакета к позиции сдваивания; сдваивание передней и одной из боковых кромок карточек пакета; захватывание пакета с позиции сдваивания и подачу его в валки прокатного стана [Mam13].

Роботизации процесса пакетирования и прокатки пакета, для выполнения перечисленных функций, включает: транспортную систему (ТС-1) для транспортировки карточек с рисунком с позиции нанесения рисунка из предыдущего участка подготовки заготовок; транспортную систему (ТС-2) для транспортировки карточек без рисунка с позиции зачистки из предыдущего участка подготовки заготовок; стол для приема карточек с рисунком из ТС-1; стол специального переключателя манипулятора для приема карточек без рисунка из ТС-2; специальный двурукий манипулятор (СДМ) для взятия карточки с рисунком со стола и загрузки АТС; специальный переключатель манипулятора (СПМ) для перемещения карточек без рисунка к позиции пакетирования карточек; АТС для транспортировки карточек с рисунком к позиции пакетирования и пакета к позиции сдваивания; специальный манипулятор позиционирования (СМП) для сдваивания передней и одну из боковых кромок карточек пакета; промышленный робот (ПР) для подачи пакета со специального манипулятора для позиционирования в валки прокатного стана; прокатный стан; систему управления для обеспечения взаимно увязанной работы всех входящих в его состав роботов, манипуляторов, основного и вспомогательного оборудования.

Роботизированный комплекс пакетирования и прокатки пакета работает следующим образом [Mam17]: карточки (параллельно по 2 шт.) с рисунком по ТС-1 и без него (1 шт.) по ТС-2 (работа ТС-1 и ТС-2 синхронизируется с циклом работы робота и манипуляторов) поступают к соответствующим столам; спецманипуляторами эти карточки захватываются и перемещаются к позициям АТС, которая делает 1 шаг, перемещая карточки с рисунком к позициям; в позиции пакетирования специальным переключателем манипулятором накладывается карточка без рисунка на карточку с рисунком и создается пакет из двух карточек; далее АТС делает еще один шаг и перемещает созданный пакет к столу СМП и одновременно перемещает следующую карточку с рисунком к позиции пакетирования, где создается следующий пакет,

согласно вышеизложенному; специальный манипулятор для позиционирования сдвигает передние и одну из боковых кромок пакета карточек; промышленный робот захватывает пакет, перемещает и подает его в валки прокатного стана; во время цикла работы ПР специальный манипулятор для позиционирования принимает и подготавливает следующий пакет для захватывания роботом; далее цикл повторяется аналогично вышеизложенному. Как видно, одному циклу спецманипулятора, который составляет 12–14 с, соответствуют по два цикла переключателя манипулятора, АТС специального манипулятора для позиционирования и ПР.

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРОЦЕССА ПАКЕТИРОВАНИЯ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ КАРТОЧЕК

Модель принятия решений регулирования образования алюминиевого пакета представляется в виде нечетких нейронных сетей. Отношения между элементами описываются базами правил [Гус20]. База правил модели представляется в виде [Liu20]:

Если x_1 есть A_1 и x_2 есть A_2 и...и x_n есть A_n то $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$,

где $f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – четкая функция. В этой зависимости часть, относящаяся к условию, точно такая же, как и в модели Мамдани–Заде. Принципиальное отличие касается заключения, которое представляется в форме функциональной зависимости, виде полиномиальной функции нескольких переменных. Представление этой функции, используемое на практике, записываются в виде [Abd23, Abu23]:

$$y = p_0 + \sum_{i=1}^n p_i x_i,$$

в котором коэффициенты $p_0, p_1, \dots, p_n$ – цифровые веса, подбираемые в процессе адаптации.

Приняты следующие обозначение [Сал25]:

A – «отклонение ширина пакета»; диапазон изменения [0.20];

B – «отклонение длина пакета»; диапазон изменения [0.40];

C – «вентиль позиционирования СМП»; диапазон изменения [0.90].

Продукционная система регулирования процесса пакетирования из алюминиевых карточек состоит из следующих правил:

1. ЕСЛИ отклонение ширина пакета отрицательное большое, и отклонение длина пакета максимально ниже допуска, ТО повернуть вентиль позиционирования СМП на большой угол вправо.

2. ЕСЛИ отклонение ширина пакета отрицательное среднее, и отклонение длина пакета существенно ниже допуска, ТО повернуть вентиль позиционирования СМП на небольшой угол вправо.

3. ЕСЛИ отклонение ширина пакета отрицательное малое, и отклонение длина пакета ниже допуска, ТО повернуть вентиль позиционирования СМП на небольшой угол вправо.

4. ЕСЛИ отклонение ширина пакета отрицательное, близко к нормальному, и отклонение длина пакета чуть ниже допуска, ТО оставить вентиль позиционирования СМП без изменения.

5. ЕСЛИ отклонение ширина пакета соответствует нормальному, близко к нормальному, и отклонение длина пакета в пределах допуска ТО оставить вентиль позиционирования СМП без изменения.

6. ЕСЛИ отклонение ширина пакета положительное, близко к нормальному, и отклонение длина пакета чуть выше допуска, ТО оставить вентиль позиционирования СМП без изменения.

7. ЕСЛИ отклонение ширина пакета положительное малое, и отклонение длина пакета выше допуска, ТО повернуть вентиль позиционирования СМП на небольшой угол влево.

8. ЕСЛИ отклонение ширина пакета положительное среднее, и отклонение длина пакета существенно выше допуска, ТО повернуть вентиль позиционирования СМП на небольшой угол влево.

9. ЕСЛИ отклонение ширина пакета положительное большое, и отклонение длина пакета максимально выше допуска, ТО повернуть вентиль позиционирования СМП на большой угол влево.

Элементы множества входного переменного «отклонение ширина пакета»:

T_1 = (отрицательное большое; отрицательное среднее; отрицательное малое; отрицательное, близко к нормальному; соответствует нормальному, близко к нормальному; положительное, близко к нормальному; положительное малое; положительное среднее; положительное большое).

Элементы множества входного переменного «отклонение длина пакета»:

T_2 = (максимально ниже допуска; существенно ниже допуска; ниже допуска; чуть ниже допуска; в пределах допуска; чуть выше допуска; выше допуска; существенно выше допуска; максимально выше допуска).

Элементы множества выходного переменного «вентиль позиционирования СМП»:

T_3 = (на большой угол вправо; на небольшой угол вправо; без изменения; на небольшой угол влево; на большой угол влево).

Для фаззификации термов входных лингвистических переменных «отклонение ширина пакета» выбраны обобщенная функция Гаусса (рис. 1) в универсуме $X_1 = [0, 20]$ и результаты фаззификации отображены в табл. 1.

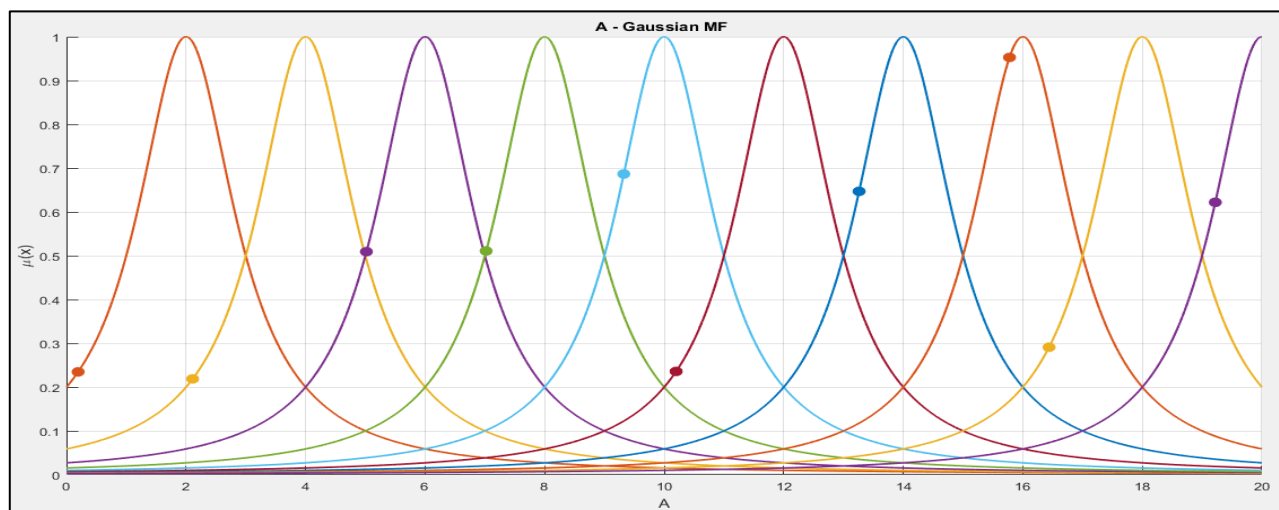


Рис. 1 Графики функций принадлежности входной переменной «отклонение ширина пакета»

Таблица 1

Результат фаззификации входной переменной
«отклонение ширина пакета»

c	x	$\mu_{A(x_i)}$
2.00	0.19	0.2348
4.00	2.11	0.2188
6.00	5.02	0.5092
8.00	7.02	0.5109
10.00	9.32	0.6867
12.00	10.20	0.2358
14.00	13.26	0.6471
16.00	15.78	0.9529
18.00	16.44	0.2911
20.00	19.22	0.6221

Для фаззификации термов входных лингвистических переменных «отклонение длина пакета» выбраны обобщенная функция Гаусса (рис. 2) в универсуме $X_2 = [0, 40]$ и результаты фаззификации отображены в табл. 2.

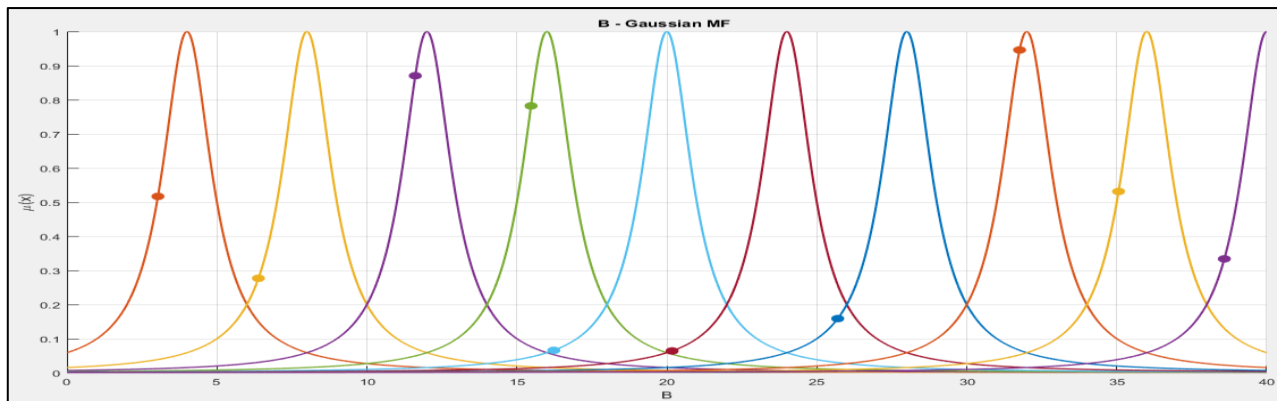


Рис. 2 Графики функций принадлежности входной переменной «отклонение длина пакета»

Таблица 2

Результат фаззификации входной переменной
«отклонение длина пакета»

c	x	$\mu_B(x_i)$
4.00	3.03	0.5169
8.00	6.38	0.2770
12.00	11.61	0.8704
16.00	15.47	0.7821
20.00	16.23	0.0658
20.00	20.18	0.0640
24.00	25.70	0.1589
28.00	31.76	0.9459
32.00	35.06	0.5314
36.00	38.59	0.3338

Для фаззификации термов выходных лингвистических переменных «вентиль позиционирования СМП» выбраны обобщенная функция Гаусса (рис. 3) в универсуме $X_2 = [0, 90]$, результаты фаззификации отображены в табл. 3.

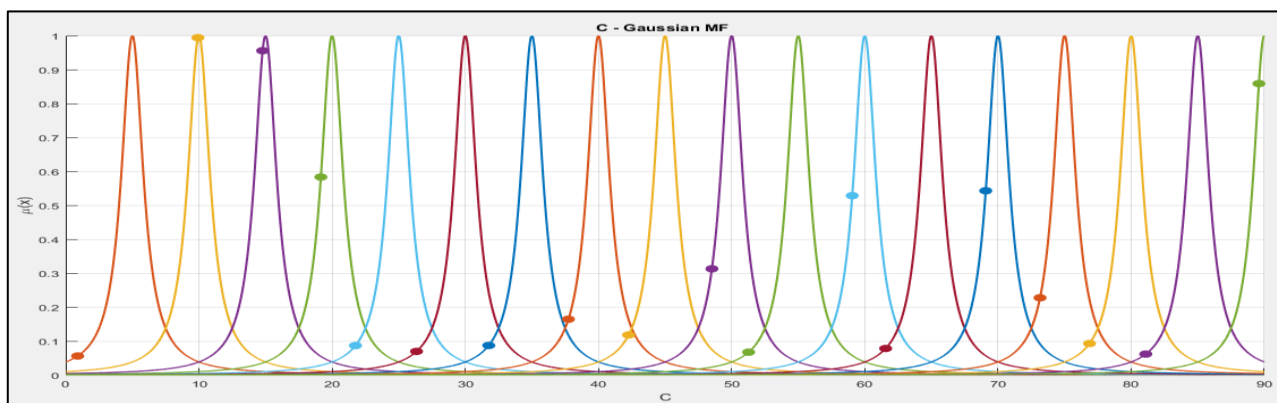


Рис. 3 Графики функций принадлежности выходной переменной
«вентиль позиционирования СМП»

Таблица 3

**Результат фаззификации выходной переменной
«вентиль позиционирования СМП»**

c	x	$\mu_{c(x_i)}$
5.00	0.89	0.0560
10.00	9.92	0.9941
15.00	14.78	0.9558
20.00	19.16	0.5835
25.00	21.75	0.0867
30.00	26.34	0.0695
35.00	31.76	0.0870
40.00	37.75	0.1644
45.00	42.26	0.1179
50.00	48.52	0.3130
55.00	51.28	0.0673
60.00	59.06	0.5284
65.00	61.57	0.0782
70.00	69.08	0.5429
75.00	73.16	0.2276
80.00	76.87	0.0927
85.00	81.10,	0.0617
90.00	89.59	0.8587

Агрегирования условий по каждому из правил системы нечеткого вывода реализуются с применением и интерпретация логического произведения. Результат агрегирования всех входных переменных отображен в табл. 4.

Таблица 4

Результат агрегирования входных переменных

	A	B	$\mu_{A(x_i)} \wedge \mu_{B(x_i)}$
1	0.2348	0.5169	0.2348
2	0.2188	0.2770	0.2188
3	0.5092	0.8704	0.5092
4	0.5109	0.7821	0.5109
5	0.6867	0.0658	0.0658
6	0.2358	0.0640	0.2358
7	0.6471	0.1589	0.1589
8	0.9529	0.9459	0.9459
9	0.2911	0.5314	0.2911
10	0.6221	0.3338	0.3338

Значение функции $p(x)$ для входного переменного «отклонение ширина пакета» вычисляется следующими формулами:

$$p_1 = \frac{1}{20} (0.2348 + 0.2188 + 0.5092 + 0.5109) = 0.0737;$$

$$p_2 = \frac{1}{20} (0.6867 + 0.2358 + 0.6471) = 0.0785;$$

$$p_3 = \frac{1}{20} (0.9529 + 0.2911 + 0.6221) = 0.0933.$$

Значение функции $p(x)$ для входной переменной «отклонение длина пакета» вычисляется следующими формулами:

$$p_1 = \frac{1}{40} (0.5169 + 0.2770 + 0.8704 + 0.7821) = 0.0416;$$

$$p_2 = \frac{1}{40} (0.0658 + 0.0640 + 0.1589) = 0.0216;$$

$$p_3 = \frac{1}{40} (0.9459 + 0.5314 + 0.3338) = 0.0453.$$

Функции вывода модели с двумя входными переменными вычисляются следующим образом:

$$y_1 = 0.0737 (0.19 + 2.11 + 5.02 + 7.02) + 0.0785 (9.32 + 10.20 + 13.26) + 0.0933 (15.78 + 16.44 + 19.22) = 1.0569 + 2.5732 + 4.7993 = 8.4294;$$

$$y_2 = 0.0416 (3.03 + 6.38 + 11.61 + 15.47) + 0.0216 (16.23 + 20.18 + 25.70) + 0.0453 (31.76 + 35.09 + 38.59) = 1.5180 + 1.3416 + 4.7764 = 7.636.$$

Окончательно вычисляется:

$$y = \frac{y_1}{y_2} = \frac{8.4294}{7.636} = 1.1039.$$

Значение функции вывода позволяет установить зависимость между входными и выходными переменными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследован процесс пакетирования и прокатки пакета алюминиевых карточек в действующем производстве испарителей. На основе производственных и технических условий разработан схема роботизация процесса пакетирования и прокатки пакета. Разработан нейро-нечеткая модель принятия решений регулирования процесса пакетирования алюминиевых карточек. Создана база нечетких продукционных правил для регулирования пакета алюминиевых карточек и прокатки пакета. Определены входные и выходные лингвистические переменные и их диапазон изменения. Для фазификации входных переменных выбрана обобщенная функция Гаусса и реализован процедура агрегирования с применением метода логического произведения. С применением алгоритма логического вывода Сугено–Такаки вычислено значение функции вывода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- | | |
|--|---|
| <p>[Abd23] Abdelgadir M. N., Fathelrahman M., Yousif Z. M. Control system design based neuro fuzzy algorithm for modified robotic system PUMA560 // Int. J. Engineering and Computer Science, 2023, Vol. 12, Issue 08, pp. 25774–25791. 10.18535/ijecs/v12i08.4711.</p> <p>[Abu23] AbuBaker A. A., Ghadi Y. Y. Optimization of fuzzy rules using neural network to control mobile robot in non-structured environment // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2023, Vol. 12, No. 5, pp. 2777–2783. 10.11591/eei.v12i5.5029. QQWAMH.</p> <p>[Liu20] Liu, Y., Xu, et al. A reference-model-based neural network control method for multi-input multi-output temperature control system // Processes, 2020, Vol. 8, Art. 1365, pp. 285–296. 10.3390/pr8111365. IFBQMA.</p> <p>[Mus24] Mustafayev V. A., Rufullaeva R. A., Gurbanova S. I. Product model of control of mechatronic devices operating under conditions of uncertainty // COIA 2024, Istanbul, Turkey, 27–29 Aug. 2024. P. 320–323.</p> <p>[Гус20] Гусейнзаде Ш. С. Разработка нечеткой модели управления насосным агрегатом с применением раскрашенной сети Петри // Вестн. Воронежск. гос. ун-та. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2020. № 3. С. 77–86. TZDPCQ.</p> <p>[Мам13] Мамедов Дж. Ф. Разработка структуры интерфейса программного обеспечения комплексного автоматизированного проектирования технических систем // ВКИТ. 2013. № 5. С. 18–21. PZYPKZ.</p> <p>[Мам17] Мамедов Дж. Ф., Талыбов Н. Г., Тагиева Т. А. Экспертный выбор и оценка инновационного проекта в техно-</p> | <p>Abdelgadir M. N., Fathelrahman M., Yousif Z. M. Control system design based neuro fuzzy algorithm for modified robotic system PUMA560 // Int. J. Engineering and Computer Science, 2023, Vol. 12, Issue 08, pp. 25774–25791. 10.18535/ijecs/v12i08.4711.</p> <p>AbuBaker A. A., Ghadi Y. Y. Optimization of fuzzy rules using neural network to control mobile robot in non-structured environment // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, 2023, Vol. 12, No. 5, pp. 2777–2783. 10.11591/eei.v12i5.5029. QQWAMH.</p> <p>Liu, Y., Xu, et al. A reference-model-based neural network control method for multi-input multi-output temperature control system // Processes, 2020, Vol. 8, Art. 1365, pp. 285–296. 10.3390/pr8111365. IFBQMA.</p> <p>Mustafayev V. A., Rufullaeva R. R., Gurbanova S. I. Product model of control of mechatronic devices operating under conditions of uncertainty // COIA 2024, Istanbul, Turkey, 27–29 Aug. 2024. P. 320–323.</p> <p>Guseynzade Sh. S., Development of a fuzzy control model for a pumping unit using a colored Petri net // Proc. of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies. 2020. No. 3, pp. 77–86. TZDPCQ. (In Russian).</p> <p>Mammadov J. F. Development of the interface structure of software for comprehensive automated design of technical systems // BCIT. 2013. No. 5, pp. 18–21. PZYPKZ. (In Russian).</p> <p>Mammadov J. F., Talybov N. G., Tagieva T. A. Expert selection and evaluation of an innovative project in a tech-</p> |
|--|---|

- логическом парке // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2017. № 4(17). С. 161–165. [ZSSADF](#).
- [Мус19] Мустафаев В. А., Салманова М. Н. Моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением нечетких временных сетей Петри // Мат. методы в техн. и технол. 2019. Т. 3. С. 43–50. [OGWRCB](#).
- [Мус26] Мустафаев В. А., Курбанова С. И., Султанова К. И. Модель функционирования и регулирования процесса раздувки канала алюминиевых испарителей. // СИИТ. 2026. Т. 8, № 2(26). С. 47–58. [QJHCBM](#).
- [Сал25] Салманова М. Н., Алиева К. Р., Руфуллаева Р. А. Модель принятия решений для управления параллельно функционирующими мехатронными устройствами // СИИТ. 2025. Т. 7, № 5(24). С. 170–179. [SLNTNH](#).
- nology park // Bulletin of SUSU. Series: Computer Technologies, Management, Radioelectronics, 2017. No. 4(17), pp. 161–165. [ZSSADF](#). (In Russian).
- Mustafaev V. A., Salmanova M. N. Modeling of dynamic interacting processes using fuzzy time Petri nets // Mathematical Methods in Engineering and Technology. 2019. Vol. 3. P. 43–50. [OGWRCB](#). (In Russian).
- Mustafaev V. A., Kurbanova S. I., Sultanova K. I. Model of functioning and regulation of the process of blowing the channel of aluminum evaporators // SIIT. 2026. T. 8, No. 2(26). C. 47–58. [QJHCBM](#). (In Russian).
- Salmanova M. N., Alieva K. R., Ruffullaeva R. A. Decision-making model for controlling parallel-functioning mechatronic devices // SIIT. 2025. Vol. 7, No. 5(24). P. 170–179. [SLNTNH](#). (In Russian).

ОБ АВТОРАХ | ABOUT THE AUTHORS

МУСТАФАЕВ Валех Азад

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан. valeh.mustafayev@sdu.edu.az. ORCID: 0000-0002-6754-9546. Д-р техн. наук, профессор каф. технологии преподавания математики и информатики. Иссл. в обл. интеллектуальных систем, моделирования.

КУРБАНОВА Сабина Ильгар

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан. sabina.qurbanova@sdu.edu.az. ORCID: 0000-0002-4458-7777. Ст. преп. каф. технологии преподавания математики и информатики. Иссл. в обл. интеллектуальных систем.

РУФУЛЛАЕВА Рена Агабала

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан. rruffullaeva@list.ru. Диссертант кафедры информационных технологий. Исследования в области интеллектуальных систем.

MUSTAFAEV Valeh Azad

Sumgayit State University, Azerbaijan. valeh.mustafayev@sdu.edu.az. ORCID: 0000-0002-6754-9546. Dr. Techn. Sci., Prof. Dept. of Maths and Comp. Science Teaching Technologies. Research in the field of intelligent systems and mathematical modeling.

GURBANOVA Sabina Ilgar

Sumgayit State University, Azerbaijan. sabina.qurbanova@sdu.edu.az. ORCID: 0000-0002-4458-7777. Senior Lecturer, Dept of Maths and Comp. Science Teaching Technologies. Research interests: intelligent systems.

RUFULLAEVA Rena Agabala

Sumgait State University, Azerbaijan. rruffullaeva@list.ru. PhD candidate at the Department of Information Technology. Research in the field of intelligent systems.

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Модель принятия решений регулирования процесса пакетирования алюминиевых карточек.

Авторы: Мустафаев В. А., Курбанова С. И., Руфуллаева Р. А.

Аннотация: Проведено исследование процесса пакетирования и прокатки пакета в действующем производстве алюминиевых испарителей. В результате исследование определено что, процент неисправимого брака во многом зависит от нечетного позиционирования процесса пакетирования и не корректного подачи пакета на валки прокатного стана. Разработан схема роботизации процесса пакетирования и прокатки пакета из алюминиевых карточек. Представлен нейро-нечеткая модель для регулирования процесса пакетирования в действующем производстве алюминиевых испарителей. Создана база нечетких продукционных правил для образования пакета алюминиевых карточек и прокатки пакета. Определены входные и выходные лингвистические переменные и их диапазон изменения. Для фаззификации входных переменных выбрана обобщенная функция Гаусса и реализован процедура агрегирования с применением метода логического произведения. С применением алгоритма логического вывода Сугено–Такаки вычислено значение функции вывода.

Ключевые слова: Нейро-модель; база правил; функций принадлежности; нечеткий вывод; образования пакета; регулирования.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 16 июня 2026 г.

Title: A decision-making model for regulating the packaging process of aluminum cards.

Authors: Mustafaev V. A., Kurbanova S. I., Ruffullaeva R. A.

Abstract: A study of the stacking and rolling process in an existing aluminum evaporator production facility was conducted. The study revealed that the percentage of non-recoverable defects is largely due to improper stacking positioning and incorrect stack feed to the rolling mill rolls. A study of the stacking and rolling process in an existing aluminum evaporator production facility was conducted. The study revealed that the percentage of non-recoverable defects is largely due to improper stacking positioning and incorrect stack feed to the rolling mill rolls. A process flow diagram for packaging and rolling aluminum card bundles has been developed. A neuro-fuzzy model for regulating the packaging process in an existing aluminum evaporator production facility has been presented. A database of fuzzy production rules for forming aluminum card bundles and rolling the bundles has been created. The input and output linguistic variables and their range of variation were determined. A generalized Gaussian function was selected for fuzzification of the input variables, and an aggregation procedure was implemented using the logical product method. The Sugeno–Takaki inference algorithm was used to calculate the value of the output function.

Key words: Neural model; rule base; membership functions; fuzzy inference; package formation; regulation.

Language: Russian.

The article was received by the editors on 16 June 2026.