

УДК 621.74

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69839

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПОДАЧИ СВЯЗУЮЩЕГО НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СМЕСЕПРИГОТОВИТЕЛЬНОМ УЧАСТКЕ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© А. А. Радченко, Т. А. Егоренко, А. В. Дяченко, А. А. Михайлова

Исследованы вопросы автоматизации процесса дозирования связующего, в частности синтеза регулятора расхода связующего в смеситель периодического действия, эксплуатирующийся на смесеприготовительном участке литейного цеха машиностроительного предприятия. Показано, что применение инженерных методов синтеза регулятора с приемлемой точностью обеспечивает возможность получения качественной смеси, и, как следствие, повышение качества отливок широкого назначения

Ключевые слова: *формовочная смесь, компьютерно-интегрированная технология, смесеприготовительное отделение, синтез регулятора*

Problems of binder batching process automation in particular in the synthesis of binder flow controller in the batch mixer operated at mixture preparation section of foundry at engineering enterprise are studied. It is shown that the use of engineering methods for controller synthesis with an acceptable accuracy allows obtaining high-quality mixture and, consequently, improving general-purpose castings

Keywords: *molding sand, computer-integrated technology, mixture preparation section, controller synthesis*

1. Введение

Специальные требования к отливкам различного функционального назначения включают в себя обязательные указания условий эксплуатации. При этом условия эксплуатации определяют приоритеты в разработке или совершенствовании технологических процессов. Например, для отливок, работающих в условиях интенсивного трения и подверженных истиранию, это требования износостойкости [1–3], соответствующие рациональные технологические решения ориентированы на вопросы термической и химико-термической обработки с целью придания поверхности износостойких свойств [4, 5]. Если это корпусные отливки, основные требования касаются прочностных свойств, зависящих от химического состава, микроструктуры и сплошности отливок. В этом случае технологические решения ориентированы на вопросы рациональной конструкторско-технологической подготовки производства [6–8] или управления качеством самого сплава [9–11]. Если же речь идет о товарном виде отливок, оцениваемом чистотой и качеством поверхности, в первую очередь рассматривают вопросы управления качеством формовочной смеси, делая акценты на выборе оптимальных рецептур [12–14]. Все это говорит о большой сложности, связанной с управлением качеством отливок разного назначения, и актуальности исследований, направленных на решение этой задачи с учетом специфических условий производства. На первое место в таком случае выходит автоматизация процессов приготовления формовочных материалов, несущих ответственность как за внешний, товарный, вид отливок, так и за качество его поверхности и геометрическую точность.

2. Анализ литературных данных

Использование современных технологических решений в области смесеприготовления для условий

украинских литейных цехов предполагает применение современных систем смесеприготовления, завязанных в единые технологические автоматизированные комплексы [15, 16]. Конечная цель их – обеспечение бесперебойного снабжения смесителей качественной формовочной или стержневой смесью. Для условий украинских предприятий в значительной степени подходят процессы, связанные с работой смесителей периодического действия. Производители соответствующего оборудования в основном делают акцент на интенсивную составляющую их работы и многовариативность в выборе технологических режимов. Одним из примеров таких решений являются интенсивные смесители АЙРИХ типовой серии R [16]. Интенсивные смесители Айрих типа R могут изготавливаться по принципу встречного или поперечного потоков. В смесителях Айрих используется система регулирования и измерения Айрих Quali-Master AT1. Измеряемые фактические показатели передаются в систему управления через соответствующие интерфейсы. Таким образом, вопросы регулирования в системе дозирования занимают ключевое место.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы являлся синтез регулятора подачи связующего в смеситель.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- выбор регулятора системы подачи связующего;
- расчет оптимальных настроек регулятора.

4. Методика исследования системы регулирования

Для расчета системы регулирования определяли статические и динамические характеристики объекта управления (ОУ), в качестве которого выбиралась система подачи связующего в смеситель перио-

дического действия. Входной величиной выбирали положение регулирующего органа – заслонки на трубопроводе подачи связующего. По экспериментальной статической характеристике ОУ подбирали пределы изменения регулируемой величины и соответствующие характеристики регулирующего органа и находили коэффициент передачи объекта $k_{об}$ для рабочего значения нагрузки ОУ:

$$k_{об} = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{ед.регулируемой\ величины}{ед.входной\ величины} \quad (1)$$

По экспериментальной кривой разгона определяли передаточную функцию объекта, при этом ОУ рассматривался в виде простейшего астатического объекта с запаздыванием (2):

$$W_{об}(p) = k_{об} e^{-\tau_{об} p} / p \quad (2)$$

Или простейшего статического объекта с запаздыванием (3):

$$W_{об}(p) = k_{об} e^{-\tau_{об} p} / (T_{об} p + 1), \quad (3)$$

где $T_{об}$ – постоянная времени объекта, $\tau_{об}$ – время запаздывания

Для получения характеристик $k_{об}$, $T_{об}$ и $\tau_{об}$ кривые разгона обрабатывали по стандартной методике.

Величины $T_{об}$ и $\tau_{об}$ определяли по формулам:

$$\tau_{об} = \frac{t_2 \lg(1-x_1) - t_1 \lg(1-x_2)}{\lg(1-x_1) - \lg(1-x_2)}, \quad (4)$$

$$T_{об} = \left| \frac{t_1 - \tau_{об}}{2,303 \lg(1-x_1)} \right| = \left| \frac{t_2 - \tau_{об}}{2,303 \lg(1-x_2)} \right|, \quad (5)$$

где t_1 – время, соответствующее перегибу кривой разгона, в случае отсутствия перегиба принимают $x(t_1)=0,1-0,15\Delta x(\infty)$; t_2 – время, соответствующее $x(t_2)=0,8-0,9\Delta x(\infty)$.

После определения кривой разгона и расчета величин $k_{об}$, $T_{об}$ и $\tau_{об}$ выбирали регулятор. Для этого применяли инженерные методы выбора и расчета регуляторов, которые, в отличие от более точных, основанных на поиске оптимального закона регулирования, и, как следствие, более громоздких [17], обеспечивают приемлемое качество регулирования при минимальной сложности расчетов. При выборе критериев качества регулирования исходили из того, что он должен удовлетворять тем требованиям, кото-

рые являются приоритетными для данных условий производства, задаваемых тем или иным видом функционала [18, 19]. Тип регулятора выбирается по величине отношения $\tau_{об}/T_{об}$. Идеальные регуляторы непрерывного действия имеют следующие передаточные функции и настройки: П – регулятор: $W_{П}(p) = k_p$, И – регулятор: $W_{И}(p) = k_{pi} / p$, ПИ – регулятор:

$$W_{ПИ}(p) = k_{pi} \left(1 + \frac{1}{T_{ип}} \right),$$

ПИД – регулятор:

$$W_{ПИД}(p) = k_{pi} \left(1 + \frac{1}{T_{ип}} + T_{д} p \right).$$

Выбор закона управления осуществлялся, используя следующую методику.

1. Рассчитывали динамический коэффициент регулирования: рассматривая ОУ как статический объект $R_{д} = x_1^d / k_{об} \Delta y$ и рассматривая ОУ как астатический объект $R_{д} = x_1^d T_{об} / \tau_{об} \Delta y$

2. Строили график для определения динамических коэффициентов и выбирается простейший регулятор и проверяли, обеспечивает ли выбранный регулятор допустимое время регулирования t_p , и если не обеспечивает, выбирали более сложный закон управления.

3. Статическую ошибку, если выбран П-регулятор, находили по соответствующему графику, и если она оказывалась больше допустимой, вместо П-регулятора выбирали ПИ-регулятор, и т. д.

4. Определяли настройки регулятора.

5. Синтез регулятора системы и обсуждение результатов

Все расчеты регулятора выполняли в среде электронных таблиц EXCEL по данным экспериментов об изменении расхода суспензии во времени при подаче единичного входного возмущения. Результаты расчетов постоянной времени объекта и времени запаздывания, а также параметров для определения динамических коэффициентов и выбора закона регулирования приведены в табл. 1.

График проверки динамических коэффициентов регулирования приведен на рис. 1.

Расчет оптимальных настроек регулятора выполняем на основании данных расчета, приведенных в табл. 2.

Таблица 1

Результаты расчетов постоянной времени объекта и времени запаздывания

$\Delta X(t1)$	$\Delta X(t2)$	X1	X2	$\tau_{об}$	$T_{об}$	$\tau_{об}/T_{об}$
0,02	0,16	0,1	0,8	0,1869	0,5052	0,3697

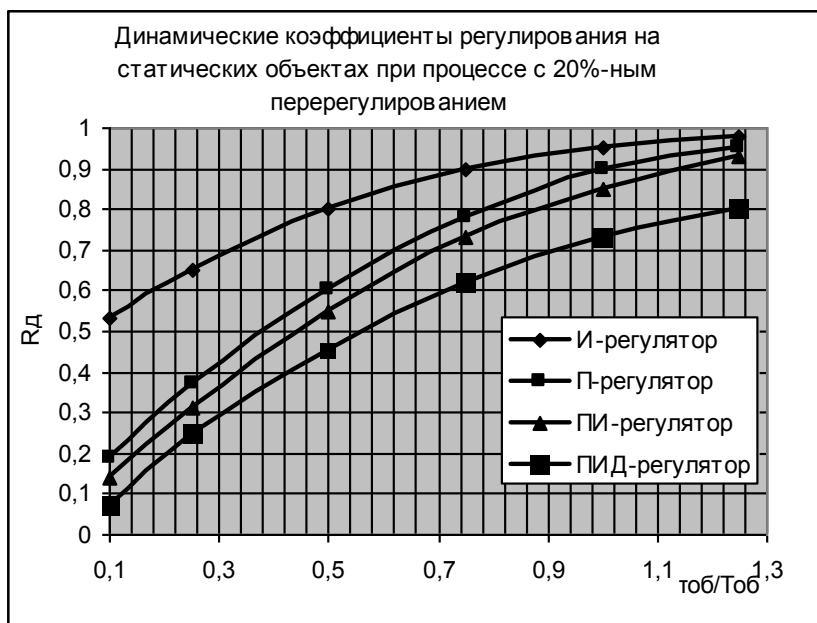


Рис. 1. График для проверки динамических коэффициентов регулирования

Таблица 2

Расчет оптимальных настроек регулятора			
Коэффициенты передачи процесса k_p (k_{p1})			
Регулятор	Апериодический	с 20%-ным перерегулированием	с $\min \Sigma x^2$
И	2,19933979	5,821781808	5,821782
П	4,0575864	9,467701611	12,17276
ПИ	8,11517281	9,467701611	13,52529
Ти	0,30312127	0,353641479	0,505202
ПИД	12,8490236	16,23034562	18,9354
Время изодрома T_i , с	0,44822893	0,373524107	0,242791
Время предварения T_d , с	0,07470482	0,074704821	0,093381

Из полученных расчетов видно, что заданное качество регулирования обеспечивает П-регулятор с передаточной функцией вида $W_p=9,4677$

6. Выводы

Показано, что использование современных автоматизированных систем на смесеприготовительных участках литейного цеха обеспечивает возможность получения качественных отливок, в первую очередь по характеристикам ее поверхности, и заданные параметры функционирования всего участка. При этом в первую очередь, имеется в виду надежная система регулирования технологических процессов приготовления смеси, обеспечиваемая заданным качеством регулирования подачи компонентов. В частности, показано, то при заданных объемных параметрах подачи связующего достаточно использование простого П-регулятора, обеспечивающего приемлемые показатели качества с 20 %-ным перерегулированием и передаточной функцией вида $W_p=9,4677$.

Литература

1. Milosan, I. The Manufacturing of a Special Wear-resistant Cast Iron Used in Automotive Industry [Text] / I. Mi-

losan // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 109. – P. 610–613. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.12.515
 2. An, W. Optimization of composition of as-cast chromium white cast iron based on wear-resistant performance [Text] / W. An, A. Cai, Y. Luo, H. Chen, W. Liu, T. Li, M. Chen // Materials & Design. – 2009. – Vol. 30, Issue 7. – P. 2339–2344. doi: 10.1016/j.matdes.2008.11.003
 3. Bedolla-Jacuinde, A. Abrasive wear of V–Nb–Ti alloyed high-chromium white irons [Text] / A. Bedolla-Jacuinde, F. V. Guerra, I. Mejía, J. Zuno-Silva, M. Rainforth // Wear. – 2015. – Vol. 332–333. – P. 1006–1011. doi: 10.1016/j.wear.2015.01.049
 4. Костик, К. О. Розробка швидкісної технології буровання левованої сталі [Текст] / К. О. Костик // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 6, № 11 (78). – С. 8–15. doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015
 5. Костик, К. О. Порівняльний аналіз впливу газового та іонно-плазмового азотування на зміну структури і властивостей левованої сталі 30X3BA [Текст] / К. О. Костик, В. О. Костик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2014. – № 48. – С. 21–41.
 6. Акимов, О. В. Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование материалов для блок-картера ДВС [Текст] / О. В. Акимов, А. П. Марченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – Т. 5, № 1 (35). – С. 52–57. – Режим доступа:

http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Vejpt/2008_5_1/EEJET_5_1_2008_52-57.pdf

7. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей [Текст] / О. В. Акимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – № 3. – С. 16–24.

8. Акимов, О. В. Анализ собственных колебаний отливки блок-картера дизеля “СМД” [Текст] / О. В. Акимов, Ю. П. Анацкий, В. А. Солошенко // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ, 1999. – № 66. – С. 40–47.

9. Demin, D. A. Optimization of the method of adjustment of chemical composition of flake graphite iron [Text] / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo. – 1995. – Issue 7-8. – P. 42–43.

10. Дьомін, Д. О. Деякі аспекти управління якістю чавуну з пластинчастим графітом [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д. О. Дьомін. – Харків, 1995. – 181 с.

11. Demin, D. A. Complex alloying of grey cast iron [Text] / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo. – 1998. – Vol. 10. – P. 18–19.

12. Евтушенко, Н. С. Исследование свойств регенерируемых смесей на основе ОФОС [Текст] / Н. С. Евтушенко, О. И. Шинский, О. И. Пономаренко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 4. – С. 48–51.

13. Берлизова, Т. В. Влияние фурфурилоксипропилциклокарбонатов (ФОПЦК) с различными добавками на свойства холоднотвердеющих смесей на жидком стекле [Текст] / Т. В. Берлизова, О. И. Пономаренко, А. М. Каратеев, Д. А. Литвинов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 26–29.

14. Пономаренко, О. И. Влияние жидких отвердителей с разными добавками на свойства жидкостекольных смесей [Текст] / О. И. Пономаренко, Н. С. Евтушенко, Т. В. Берлизова // Литейное производство. – 2011. – № 4. – С. 21–24.

15. Webac – Gesellschaft für Maschinenbau mbH [Electronic resource]. – Available at: <http://www.webac-gmbh.de/>

16. Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG [Electronic resource]. – Available at: <http://www.eirich.ru/>

17. Demin, D. A. Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath [Text] / D. A. Demin // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2012. – Vol. 6. – P. 52–58.

19. Демин, Д. А. Методология формирования функционала для задачи оптимального управления электроплавкой [Текст] / Д. А. Демин // Технологический аудит и резервы производства. – 2011. – Т. 1, № 1 (1). – С. 15–24. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082/3748>

References

1. Milosan, I. (2014). The Manufacturing of a Special Wear-resistant Cast Iron Used in Automotive Industry. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 109, 610–613. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.12.515

2. An, W., Cai, A., Luo, Y., Chen, H., Liu, W., Li, T., Chen, M. (2009). Optimization of composition of as-cast chromium white cast iron based on wear-resistant performance. *Materials & Design*, 30 (7), 2339–2344. doi: 10.1016/j.matdes.2008.11.003

3. Bedolla-Jacunde, A., Guerra, F. V., Mejía, I., Zuno-Silva, J., Rainforth, M. (2015). Abrasive wear of V–Nb–Ti alloyed high-chromium white irons. *Wear*, 332–333, 1006–1011. doi: 10.1016/j.wear.2015.01.049

4. Kostik, K. O. (2015). Development of the high-speed boring technology of alloy steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/11 (78), 8–15. doi: 10.15587/1729-4061.2015.55015

5. Kostyk, K. O., Kostyk, V. O. (2014). Porivnjal'nyj analiz vplyvu gazovogo ta ionno-plazmovogo azotuvannja na zminu struktury i vlastyvostry legovanoi' stali 30H3VA. *Visnyk Nacional'nogo tehničnogo universytetu «HPI»*. Serija: Novi rishennja u suchasnyh tehnologijah, 48, 21–41.

6. Akimov, O. V., Marchenko, A. P. (2008). Jeksperimental'nye issledovanija i komp'juternoe modelirovanie materialov dlja blok-kartera DVS. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 5/1 (35), 52–57. Available at: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Vejpt/2008_5_1/EEJET_5_1_2008_52-57.pdf

7. Akimov, O. V. (2003). Analiz pogreshnostej formoobrazovanija otlivok koles turbin turbokompressorov dlja nadduva DVS na jetape izgotovlenija ih voskovykh modelej. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 16–24.

8. Akimov, O. V., Anackij, Ju. P., Soloshenko, V. A. (1999). Analiz sobstvennyh kolebanij otlivki blok-kartera dizelja “СМД”. *Vestnik Har'kovskogo gosudarstvennogo politehničeskogo universiteta*. Kharkov: HGPU, 66, 40–47.

9. Demin, D. A., Pelikh, V. F., Ponomarenko, O. I. (1995). Optimization of the method of adjustment of chemical composition of flake graphite iron. *Litejnoe Proizvodstvo*, 7-8, 42–43.

10. D'omin, D. O. (1995). Dejaki aspekty upravlinnja jakistju chavunu z plastynchastym grafitom. *Kharkiv*, 181.

11. Demin, D. A., Pelikh, V. F., Ponomarenko, O. I. (1998). Complex alloying of grey cast iron. *Litejnoe Proizvodstvo*, 10, 18–19.

12. Evtushenko, N. S., Shinskij, O. I., Ponomarenko, O. I. (2013). Issledovanie svojstv regeneriruemym smesey na osnove OFOS. *Kompressornoe i jenergetičeskoe mashinostroenie*, 4, 48–51.

13. Berlizova, T. V., Ponomarenko, O. I., Karateev, A. M., Litvinov, D. A. (2013). Vlijanie furfurioksiopropil ciklokarbonatov (FOPCK) s razlichnymi dobavkami na svojstva holodnotverdejshih smesey na zhidkom stekle. *Kompressornoe i jenergetičeskoe mashinostroenie*, 3, 26–29.

14. Ponomarenko, O. I., Evtushenko, N. S., Berlizeva, T. V. (2011). Vlijanie zhidkih otverditelej s raznymi dobavkami na svojstva zhidkostekol'nyh smesey. *Litejnoe proizvodstvo*, 4, 21–24.

15. Webac – Gesellschaft für Maschinenbau mbH. Available at: <http://www.webac-gmbh.de/>

16. Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG. Available at: <http://www.eirich.ru/>

17. Demin, D. A. (2012). Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 52–58.

19. Djomin, D. A. (2011). Metodologija formirovanija funkcionala dlja zadachi optimal'nogo upravlenija jelektroplavkoj. *Technology audit and production reserves*, 1/1 (1), 15–24. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/4082/3748>

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Хорошилов О. М.
Дата надходження рукопису 07.04.2016*

Радченко Александр Алексеевич, кандидат технических наук, Начальник ЦЗЛ, ПАО "Харьковский Тракторный Завод им. С. Орджоникидзе", пр. Московский, 275, г. Харьков, Украина, 61007

Егоренко Татьяна Александровна, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалия, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Дяченко Алла Вячеславовна, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалия, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Михайлова Анастасия Александровна, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Багалия, 21, г. Харьков, Украина, 61002

УДК 004.85, 004.89

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.69588

КРОСПЛАТФОРМЕННАЯ C++ БИБЛИОТЕКА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРЦЕПТРОНА

© Д. Т. Ибадов, И. В. Афанасьева

Разработана кроссплатформенная C++ библиотека, предоставляющая классы для создания многослойного перцептрона и его обучения с учителем методом обратного распространения ошибки, способного классифицировать входящие образцы после предварительного обучения. Протестированы результаты обучения многослойного перцептрона и его способность к классификации на пробной выборке данных

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, обучение, классификация, обратное распространение ошибки, многослойный перцептрон

Cross-platform C++ library is developed. It provides classes enabling to create multilayer perceptron and its training by supervised learning method (backpropagation). Resulting artificial network is able to classify incoming data after previous training. Multilayer perceptron training results and its ability to classify test dataset was tested

Keywords: artificial neural networks, training, classification, backpropagation, multilayer perceptron

1. Введение

Анализ данных является важной вспомогательной областью для множества других. Сфера применения различных методов анализа данных включает в себя и академические, и прикладные цели. Интеллектуальный анализ данных (data mining) проводится для выявления неявных закономерностей в массивах данных, а следовательно, и реальных явлений, которые они описывают. Другое распространенное применение включает в себя распознавание обстановки с целью принятия решений, причем непосредственно принимать решение может как пользователь, который получает информацию о результатах анализа с помощью устройств вывода (например, врач, пользующийся медицинской аппаратурой), так и автоматизированная система (например, автопилот).

С развитием вычислительной техники стало возможным применять машинное обучение в целях анализа данных во всё большем количестве систем и прикладных областей.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Искусственные нейронные сети (ИНС) – математические модели, конструкция которых была вдохновлена биологическими нейросетями, присутствующими в центральной нервной системе (ЦНС) животного мира. В общих чертах, ИНС состоят из слоев нейронов, последовательно соединенных весами с различными коэффициентами. В сетях с прямой передачей сигнала (feed-forward) импульс (нормализо-

ванные входящие данные) подается на входной слой, затем переходит на следующий слой с умножением на коэффициенты соответствующих весов и так далее. Общий вход j -того нейрона net_j равен сумме импульсов всех связанных с ним нейронов предыдущего слоя (d нейронов) с соответствующими коэффициентами и импульса с нейрона смещения w_{j0} :

$$net_j = \sum_{i=1}^d x_i w_{ji} + w_{j0}. \quad (1)$$

Каждый отдельный нейронный слой имеет свою активационную функцию f – операцию, которая вычисляется над суммарным входом на нейрон с предыдущего слоя перед тем, как сигнал z_j будет подан на выход:

$$z_j = f(net_j). \quad (2)$$

Построение моделей ИНС используется для решения широкого ряда задач из различных областей, включающего в себя, например, компьютерное зрение, распознавание речи и прочее. Одно из регулярных применений ИНС – распознавание образов после предварительного обучения с учителем (классификация), когда ИНС присваивает класс входящему образцу на основании результатов обработки его параметров, которые зачастую представлены в нормализованном виде. Предварительное обучение производится на наборе образцов, классы которых уже известны. Сначала ИНС пытается самостоятельно определить класс объекта, затем результат её работы