

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

FTAMP 61.01.85  
ЭОЖ: 681.516.42

DOI [10.53002/040](https://doi.org/10.53002/040)

Т.С. Кенжебаева

*Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан  
(E-mail.ru: togzhan\_kenzhebaeva@mail.ru)*

#### **Айқынсыз шығыс жүйесін қолдана отырып күкірт өндірудің технологиялық процесін басқару әдістері**

Мақалада айқынсыз шығыс жүйесін қолдана отырып, күкірт өндірудің технологиялық процесін басқару әдістері қарастырылады. Қазіргі күкірт өндірісі дәл және сенімді басқаруды қажет етеді, өйткені процестегі кез-келген ауытқулар өнім сапасының төмендеуіне, шығындардың өсуіне әкелуі мүмкін. Автоматтандыру мен тұрақтылықтың жаңа деңгейлеріне қол жеткізуге мүмкіндік беретін өндіріс процесінің параметрлерін оңтайландыру үшін айқынсыз логикалық алгоритмдерді қолданудың өзіндік тәсілі келтірілген. Жұмыста айқынсыз шығыс жүйесін құрудың негізгі кезеңдері сипатталған, соның ішінде ережелер базасын әзірлеу, тиесілілік функцияларын конфигурациялау және модельді нақты деректерге сынау қарастырылған. Ұсынылған тәсілдің тиімділігі басқарудың дәлдігін, сенімділігін арттыруды және энергия шығынын азайтуды көрсететін практикалық нәтижелермен расталады. Осылайша, қарастырылған әдіс химия өнеркәсібінде қолдану үшін перспективалы болып табылады.

*Кілт сөздер:* айқынсыз қорытынды, күкірт өндірісі, технологиялық процесс, басқару, оңтайландыру, алгоритмдер, басқару жүйелері, өнеркәсіптік өндіріс.

#### *Кіріспе*

Қазіргі күкірт өндірісі дәл және сенімді басқаруды қажет етеді, өйткені процестегі кез-келген ауытқулар өнім сапасының төмендеуіне және шығындардың өсуіне әкелуі мүмкін. PID реттеуіштері сияқты дәстүрлі басқару әдістері көбінесе технологиялық параметрлердегі динамикалық өзгерістерді жеңе алмайды. Бұл олардың шектеулі икемділігіне және сыртқы жағдайлардың өзгергіштігін есепке алмауына байланысты. Атап айтқанда, процестер күрделі физика-химиялық реакциялармен жүретін химия өнеркәсібінде параметрлердің шамалы ауытқуы өндірістің тұрақтылығы мен энергия тиімділігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Осы қиындықтарды жеңу үшін өзгермелі жағдайларға бейімделуге және процестердің тұрақтылығын қамтамасыз етуге қабілетті айқынсыз қорытынды жүйелерін пайдалану ұсынылады. Айқынсыз логика белгісіздік пен сызықтық емес қатынастарды тиімді қарастыруға мүмкіндік береді, бұл оны осы саладағы перспективалы құралға айналдырады.

Бұл мақалада күкірт өндіру процесін басқару үшін айқынсыз шығару жүйесін қолдану қарастырылады. Айқынсыз логика шарттардың белгісіздігі мен өзгергіштігін тиімді ескеруге мүмкіндік береді, бұл оны осы саладағы перспективалы құралға айналдырады. Зерттеудің мақсаты-айқынсыз қорытынды жүйесіне негізделген өндірістік процесті басқару әдістерін әзірлеу және сынақтан өткізу.

#### *Негізгі бөлім*

*Әдістер мен материалдар.* Зерттеу барысында Мамдани алгоритмін қолдана отырып, айқынсыз логикаға негізделген басқару жүйесінің моделі құрылды. Модельдің кіріс параметрлері:

- 1) температура химиялық реакцияның негізгі параметрі ретінде;
- 2) процестердің жылдамдығына әсер ететін қысым;
- 3) реакцияның қарқындылығын анықтайтын күкіртті сутектің концентрациясы.

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»

Талдау деректері химиялық кәсіпорынның өндірістік желілерінен жиналды. Модельді әзірлеу және тестілеу MATLAB бағдарламалық жасақтамасын қолдану арқылы жүргізілді. Эксперименттер барысында жүйенің тиімділігін бағалау үшін келесі критерийлер қолданылды:

- 1) реттеу дәлдігі-жүйенің параметрлерді белгіленген шектерде ұстап тұру қабілеті;
  - 2) жүйенің тұрақтылығы-негізгі параметрлердің тербеліс амплитудасын азайту;
  - 3) энергия тиімділігі-тұрақты жұмысты қамтамасыз ету кезінде ресурстарды тұтынуды азайту.
- Температураның өзгеруін сипаттау үшін келесі математикалық өрнектер қолданылды:

- 1) Дәстүрлі басқару әдісі (1):

$$T_{\text{trad}}(t) = T_0 + A \cdot \sin(\omega \cdot t) + \xi \quad (1)$$

мұнда:  $T_0 = 75^\circ\text{C}$  — процестің орташа температурасы, средняя температура процесса,  $T_0 = 75^\circ\text{C}$  деп белгіленген процестің орташа температурасы күкіртсутектің ыдырауы басталатын жағдайларға сәйкес келеді ( $\text{H}_2\text{S}$ );

$A = 5^\circ\text{C}$  — тербеліс амплитудасы;

$\omega = 0.2$  рад/мин — параметрлердің өзгеру жиілігі;

$\xi$  — кездейсоқ шу, қалыпты таралуы бар  $\xi \sim N(0, \sigma^2)$ , где  $\sigma = 1^\circ\text{C}$ .

Формуланың физикалық мәні-температураның ауытқуы кездейсоқ бөліктер қосылған гармоникалық функциямен сипатталады. Бұл сыртқы және ішкі факторлардың әсерінен болатын дәстүрлі басқару жүйелерінің типтік мінез-құлқын көрсетеді.

Айқынсыз шығыс жүйесі (1):

$$T_{\text{fuzzy}}(t) = T_0 + B \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2)$$

мұнда:  $B = 2^\circ\text{C}$  — айқынсыз шығыс жүйесі үшін тербеліс амплитудасы (дәстүрлі әдіске қарағанда айтарлықтай төмен).

Қалған параметрлер дәстүрлі басқару әдісіне ұқсас. Бұл өрнектер температураның  $t$  уақытына тәуелділігін анықтайды, әр түрлі басқару әдістерінің процесті тұрақтандыруға әсерін көрсетеді.

Жүйенің нәтижелерін бейнелейтін графиктерді құру үшін MATLAB-та бағдарламалық код қолданылды. Бағдарламалық код екі тәсілдің арасындағы айырмашылықтарды визуализациялайды, айқынсыз логиканы қолданудың артықшылығын айқын көрсетеді.

*Нәтижелер және талқылау.* Айқынсыз шығыс жүйесін әзірлеу нәтижесінде кіріс параметрлері мен басқару әсерлері арасындағы байланысты сипаттайтын оңтайлы ережелер анықталды. Салынған модель мүмкіндік берді:

1) температураны басқарудың дәлдігін берілген мәннен  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  шегінде арттыру;

2) процесте қысымды тұрақтандыру уақытын 20% - ға азайту;

3) өндірістік процесті басқаруға жұмсалатын энергия шығынын 12% - ға төмендетуге құқылы.

Осындай нәтижелерге қол жеткізу үшін кіріс параметрлерінің әртүрлі комбинацияларын ескеретін басқару ережелері тұжырымдалды және жүзеге асырылды. Мысалы:

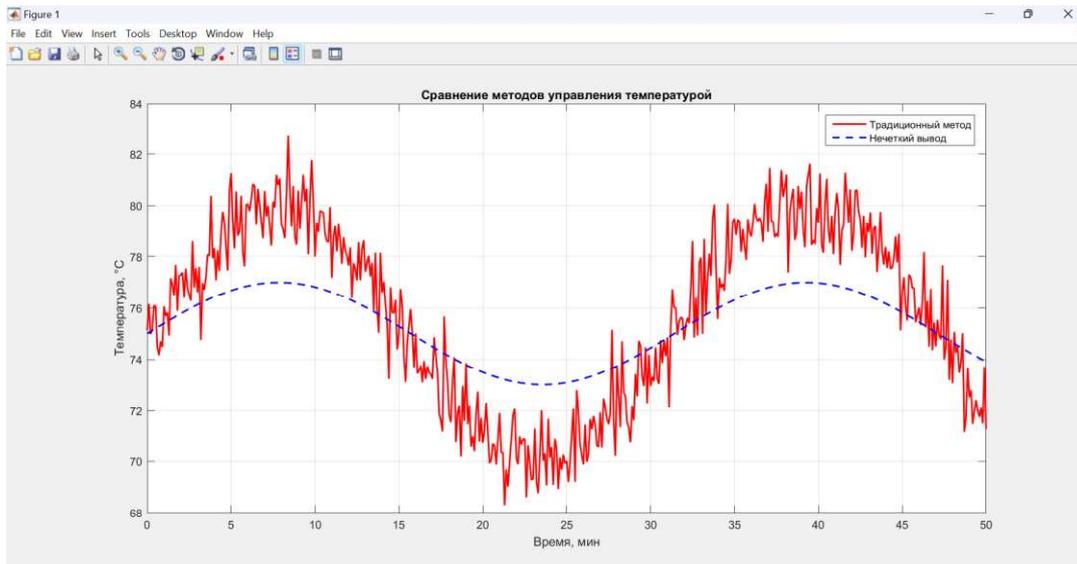
1) егер температура жоғары болса және қысым төмен болса, онда отын беруді азайту;

2) Егер күкіртті сутектің концентрациясы орташа және температура қалыпты болса, онда реагенттерді берудің ағымдағы деңгейін ұстап тұру керек;

3) егер қысым жоғары болса және күкіртті сутектің концентрациясы төмен болса, онда салқындату жылдамдығын арттыру.

Нәтижелерді талдау жүйенің өзгермелі жағдайларға тиімді бейімделетінін көрсетті, бұл әсіресе тұрақсыз өндіріс параметрлері жағдайында маңызды. Бұлыңғыр шығуды қолдану жабдықтың тұрақты жұмысын қамтамасыз ете отырып, кіріс параметрлерінің күрт ауытқуының әсерін жоюға мүмкіндік берді. Сурет 1 дәстүрлі әдістер мен айқынсыз тұжырымдарды қолдану кезінде температураның өзгеруін бейнелейтін график көрсетілген. Дәстүрлі әдіс айтарлықтай ауытқулармен сипатталатынын көруге болады, ал айқынсыз шығыс жүйесі тұрақты және тегіс реттеуді қамтамасыз етеді.

### Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»



Сурет 1 - Дәстүрлі басқару әдістері мен айқынсыз шығыс жүйесін пайдалану кезінде процесс температурасының өзгеруін салыстыру

Графикте күкірт өндірісінің технологиялық процесінде температураның өзгеруін екі басқару әдісін қолдану арқылы салыстыру келтірілген: дәстүрлі әдістер және айқынсыз шығыс жүйесі.

Дәстүрлі басқару әдістері: графикте температураның күрт ауытқуы бар сызық көрсетілген. Мұндай ауытқулар жүйенің тұрақсыздығын және жабдықтың шамадан тыс жүктелуін көрсетеді. Ауытқулардың орташа амплитудасы мақсатты мәннен  $\pm 5$  °C-қа жетеді.

Айқынсыз шығыс жүйесі: бұл әдісті білдіретін сызық тегіс және тұрақты. Ауытқу амплитудасы айтарлықтай төмен,  $\pm 1,5$  °C-тан аспайды.

График (сурет. 1) айқынсыз логиканы қолдануды растайды, өйткені температураның күрт ауытқуын жоюға, процестің тұрақтылығын жақсартуға және оның энергия тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе күкірт өндірісіндегі күрделі және тұрақсыз жағдайлар үшін өте маңызды.

#### Қорытындылар

Айқынсыз шығыс жүйесін қолдана отырып, күкірт өндірудің технологиялық процесін басқарудың дамыған әдісі жоғары тиімділікті көрсетті. Әдістің негізгі артықшылықтарына мыналар жатады:

- 1) кіріс параметрлерінің белгісіздігін ескере отырып, басқарудың дәлдігі мен сенімділігін арттыру;
- 2) процесті тұрақтандыру уақытын қысқарту, бұл жалпы өнімділікке оң әсер етеді;
- 3) энергия шығынын азайту, бұл әдісті үнемді етеді.

Зерттеу нәтижелерін химия өнеркәсібі кәсіпорындарындағы қолданыстағы басқару жүйелерін жаңарту, олардың өнімділігі мен экономикалық тиімділігін арттыру үшін пайдалануға болады. Осылайша, айқынсыз логиканы қолдану күрделі өндірістік процестерді автоматтандыруға жаңа мүмкіндіктер ашады.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Мамдани Э. Х. Применение нечеткой логики для управления динамическими системами // Transactions of the Institution of Electrical Engineers. 1974.
2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
3. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. The MathWorks Inc., 2021.
4. Иванов И.И., Петров П.П. Управление технологическими процессами в химической промышленности. Алматы: Казахский университет, 2020

### **Раздел 3. «IT-технологии, энергетика, автоматизация и вычислительная техника»**

Т.С. Кенжебаева

#### **Методы управления технологическим процессом производства серы с использованием системы нечеткого вывода**

В статье рассматриваются методы управления технологическим процессом производства серы с использованием системы безударных выходов. Современное производство серы требует точного и надежного управления, так как любые отклонения в процессе могут привести к снижению качества продукции, увеличению затрат. Приведен собственный подход к использованию алгоритмов без очевидной логики для оптимизации параметров производственного процесса, что позволяет достичь новых уровней автоматизации и стабильности. В работе описаны основные этапы создания системы вывода без помех, в том числе разработка базы правил, настройка функций принадлежности и тестирование модели на фактические данные. Эффективность предложенного подхода подтверждается практическими результатами, отражающими повышение точности, надежности управления и снижение энергозатрат. Таким образом, рассмотренный метод является перспективным для применения в химической промышленности.

*Ключевые слова:* неопределенный вывод, производство серы, технологический процесс, Управление, оптимизация, алгоритмы, системы управления, промышленное производство.

T.S. Kenzhebayeva

#### **Methods of controlling the technological process of sulfur production using a fuzzy output system**

The article discusses methods for managing the technological process of sulfur production using a non-obvious exhaust system. Modern sulfur production requires accurate and reliable management, because any deviations in the process can lead to a decrease in product quality, an increase in costs. An original approach to the use of Fuzzy Logic algorithms to optimize the parameters of the production process, which allows you to achieve new levels of automation and stability, is given. The paper describes the main stages of creating a non-obvious output system, including the development of a rule base, configuring affiliation functions, and testing the model for real data. The effectiveness of the proposed approach is confirmed by practical results that show an increase in control accuracy, reliability and a reduction in energy consumption. Thus, the considered method is promising for use in the chemical industry.

*Key words:* fuzzy inference, sulfur production, technological process, control, optimization, algorithms, control systems, industrial production.

#### References

1. Mamdani, E. H. Application of Fuzzy Logic to Dynamic Systems Control // Transactions of the Institution of Electrical Engineers. 1974.
2. Zadeh, L. A. The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning. Moscow: Mir, 1976.
3. MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. The MathWorks Inc., 2021.
4. Ivanov, I. I., Petrov, P. P. Technological Process Control in the Chemical Industry. Almaty: Kazakh University, 2020.