

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ NB-IoT ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО КОНТРОЛЮ, УЧЕТУ И СБОРУ ДАННЫХ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Проблемы с учетом, сбором и корректными показаниями приборов учета электроэнергии, имеют большое значение при подготовке и выставлении счетов на оплату за электроэнергию, особенно в микрорайонах, с частыми домохозяйствами, где процесс контроля за потреблением электроэнергии не всегда обеспечивается по различным причинам не зависящим от потребителя услуга. Развитие современных информационных технологий, NB-IoT, позволяет мобильной связи с использованием технологий, NB-IoT, позволяет решать задачи связанные с повышением эффективности контроля, учета, сбора данных потребления электроэнергии в микрорайонах не только оперативно и качественно, но и повышают эффективность управления процесса сбора показаний приборов учета, а также снижение затрат. Поставщика услуг на транспортные услуги, персонал и по другим статьям расходов. В статье представлено анализ различных марок приборов учета используемых в микрорайоне Уркер и применение приборов учета с поддержкой технологии NB-IoT. Показана имитационная модель доступа к приборам учета с использованием технологии NB-IoT. Затронуты вопросы, связанные с причинами и проблемами хищения электроэнергии. Статья будет полезна студентам, докторантам, инженерам, всем, кто имеет отношение к автоматизации и управлению технологическими процессами и производствами, а также всем, кто занимается проблемами внедрения технологии АСКУЭ, IoT.

Ключевые слова: технология интернета вещей, учет, сбор, контроль, прибор учета, мобильный оператор, эффективность, мобильная связь, технология NB-IoT, технология АСКУЭ.

МРНТИ 50.47.00

<https://doi.org/10.48081/WJZHN8320>

***О. А. Андреева¹, Т. В. Гоненко², М. А. Любецкая³,
М. Т. Азаматов⁴**

^{1,3,4}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Омский государственный технический университет,

Российская Федерация, г. Омск

*e-mail: andreeva.o.a@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫМИ АППАРАТАМИ

В данной работе рассмотрены основные аспекты разработки интеллектуальной системы управления теплообменными аппаратами на основе системы нечеткой логики с учетом технологического износа. Рассмотрение факторов, возникающих в процессе работы оборудования и влияющих на коэффициент теплопередачи, показал, что важной задачей при эксплуатации теплообменного оборудования крупных производств является оптимизация их работы за счет оперативного и диспетчерского управления. При планировании технического обслуживания и ремонтных работ необходимо учитывать информацию о степени износа (загрязнения), влияющую на изменение эксплуатационных параметров. Важной задачей является всесторонний анализ теплообменника как объекта управления для выявления всех существенных входных, выходных и возмущающих переменных. Исследование эксплуатационных режимов работы теплообменного оборудования дает возможность применения оптимизированных методов управления им. Корректность определения этих параметров отражается на таких характеристиках как: энергопотребление, надежность и межремонтный срок, которые в свою очередь являются одними из важнейших показателей. Проблема выбора и разработки систем управления теплообменными аппаратами, поддерживающих в динамике условия оптимального теплообмена, является весьма актуальной. В работе рассмотрены вопросы математического моделирования тепловых процессов, с учетом технологического износа и загрязненности оборудования. Для полученной модели объекта управления был разработан

ағуоршым работы и выполнения настройка параметров регулятора на базе нечеткой логики. Результаты имитационного моделирования показали, что предложенная структура системы интеллектуального управления на базе нечеткой логики с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения Matlab/Simulink обеспечивает выполнение требуемых условий.

й. Ключевые слова: теплообменное оборудование, технологический износ, эксплуатационные режимы, моделирование динамического поведения, настройка регулятора, нечеткая логика.

Введение

Функционирование различных технологических объектов в энергетической, химической, металлургической, нефтегазовой, пищевой и других отраслях промышленности связано с созданием и поддержанием температурного режима, для чего необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды. Эту функцию выполняет теплообменное оборудование, удельный вес которого на предприятиях нефтеперерабатывающей, химической и других отраслях промышленности составляет более 50 % [1, 2].

Нарушения в технологических процессах могут быть вызваны различными причинами, однако, наиболее распространенными факторами обычно являются колебания качества сырья, изменения температуры, недостатки управления и износ оборудования. На теплообменном оборудовании в процессе его работы со временем образуются слои накипи и другие отложения. Это приводит к снижению коэффициента теплопередачи, негативно влияет на термическое сопротивление и порождает появление неравномерных гидравлических сопротивлений в каналах пучков труб [3].

Описанные выше явления негативно влияют на эффективность работы теплообменного оборудования и снижают качество регулирования. В существующих системах регулирования теплообменниками не решается задача обеспечения оптимального теплообмена при изменении возмущающих воздействий.

В результате анализа влияния технологического износа на работу теплообменного оборудования установлено, что в связи с загрязнением и технологическим износом теплообменного оборудования со временем снижается коэффициент теплопередачи и эффективность работы контура регулирования температуры с использованием ПИД-регулятора. В результате изменения характеристик объекта управления, существующие линейные системы регулирования не могут адекватно реагировать на возмущающие воздействия, в результате чего снижается качество регулирования и требуется

вмешательство человека. В этом случае остро стоит вопрос разработки интеллектуальной системы управления с прогнозирующими моделями (МС – Model Predictive Control), учитывающей в динамике нелинейность объекта управления [4, 5].

Материалы и методы

Внедрение методов самооптимизации, самонастройки, самодиагностики и интеллектуальной поддержки является необходимым условием разработки современных систем автоматизации. Примером являются технологии, которые предоставляют отказы и автономно запускают процессы обслуживания, или самоорганизованная логистика, которая реагирует на неожиданные изменения в производстве.

Для теплообменников основной задачей регулирования является стабилизация температуры технологического потока на выходе из теплообменника [6]. В испарителях или конденсаторах, предназначенных для испарения или конденсации технологического потока, задача регулирования сводится к поддержанию материального баланса по технологическому потоку. В системах автоматического регулирования (САР) нестандартными объектами для осуществления заданного качества регулирования в процессе работы САР необходимо обеспечить целенаправленное изменение динамических характеристик регулирующего устройства таким образом, чтобы компенсировать нежелательные изменения свойств объекта управления. Тематика данной работы сводится к определению таких факторов и анализу их влияния на систему управления.

В большинстве случаев регулирование осуществляется изменением параметров пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (ПИД-регуляторов). Такие подходы достаточно сложны и требуют значительного времени на подстройку, но широко применяются на практике [7, 8].

Менее распространенным, но более эффективным является способ, основанный на применении специальных адаптивных корректирующих устройств, которые включаются последовательно с регуляторами. Меняя определенным образом свои параметры, устройства корректируют динамические свойства САР и тем самым компенсируют изменение свойств объекта управления. Такие устройства наиболее эффективны в тех системах автоматического регулирования, в которых требуется обеспечить высокое быстродействие.

В работе [9] предложена адаптивная система регулирования температуры углеводородного конденсата на выходе из кожухотрубного теплообменника, включающая ПИ-регулятор и последовательное псевдولينейное корректирующее устройство динамических свойств систем

автоматического регулирования. Экспериментально показана эффективность предложенной системы регулирования, но используется передаточная функция теплообменника не отражает снижение эффективности процессов теплообмена вследствие технологического износа.

В статье [10] авторы предлагают использовать обычный ПИД-регулятор с отрицательной обратной связью. Улучшенным вариантом управления является ПИД-регулятор с использованием дополнительного корректирующего звена.

Одним из вариантов регулирования теплообменника является схема регулирования температуры с использованием байпасной линии, как предлагают авторы статьи [11]. Это позволит регулировать режим работы теплообменника в широком диапазоне значений так, чтобы учесть даже большие изменения производительности процесса.

Исследования в области разработки адаптивных и интеллектуальных систем управления теплообменными аппаратами ведутся учёными в разных странах. Большой интерес представляют интеллектуальные системы управления на основе нечеткой логики.

Так, в работе [12] утверждается, что стандартный контур регулирования температуры кожухотрубного теплообменника является нелинейным, переменным во времени и запаздывающим по времени. Поэтому предложена система контроля температуры путем сочетания нечеткого и ПИД-регулирования.

Работа [13] описывает реализацию контроллера FLC-PID (Fuzzy Logic Controller – Proportional Integral Derivative) и стандартного контроллера PID для регулирования температуры на выходе теплообменника.

Одним из вариантов более совершенной системы управления является разработка интеллектуального управления на базе нечеткой логики с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения Matlab/Simulink. Такая система будет учитывать износ теплообменного оборудования используя информацию с виртуальных анализаторов и корректировать параметры ПИД-регулятора в зависимости от эффективности теплообмена.

Нечёткие системы позволяют повысить качество продукции при уменьшении ресурса и энергозатрат и обеспечивают более высокую устойчивость к возмущающим факторам [14].

Результаты и обсуждение

Как было установлено ранее, существует необходимость в разработке адаптивной системы автоматического регулирования температуры, учитывающей в динамике снижение эффективности теплообмена и обеспечивающей более высокое быстродействие и устойчивость к возмущающим воздействиям.

Проведя анализ исторических данных технологической информации о работе теплообменных аппаратов Т-1,2,3,4 установки ХВО-3 был сделан вывод, что основным параметрическим возмущением, снижающим эффективность работы кожухотрубчатых теплообменников типа «вода-вода», является образование слоёв накипи и ржавчины [16].

Одним из вариантов применения систем с нечеткой логикой является корректировка параметров ПИД-регулятора в зависимости от различных характеристик объекта управления и сигнала обратной связи. Настройка ПИД-регулятора по формулам обычно не является оптимальной и может быть улучшена с помощью дальнейшей подстройки. Фаззи-подстройка позволяет уменьшить перерегулирование, снизить время установления и повысить робастность ПИД-регулятора [17]. Нечеткий ПИД-регулятор берет за основу классический ПИД-регулятор, который использует нечеткие правила и переменные для лучшей настройки коэффициентов ПИД-регулятора.

Структурная схема системы управления с применением нечеткой логики для подстройки коэффициентов ПИД, разработанной в пакете Fuzzy Logic Toolbox, представлена на рисунке 1.

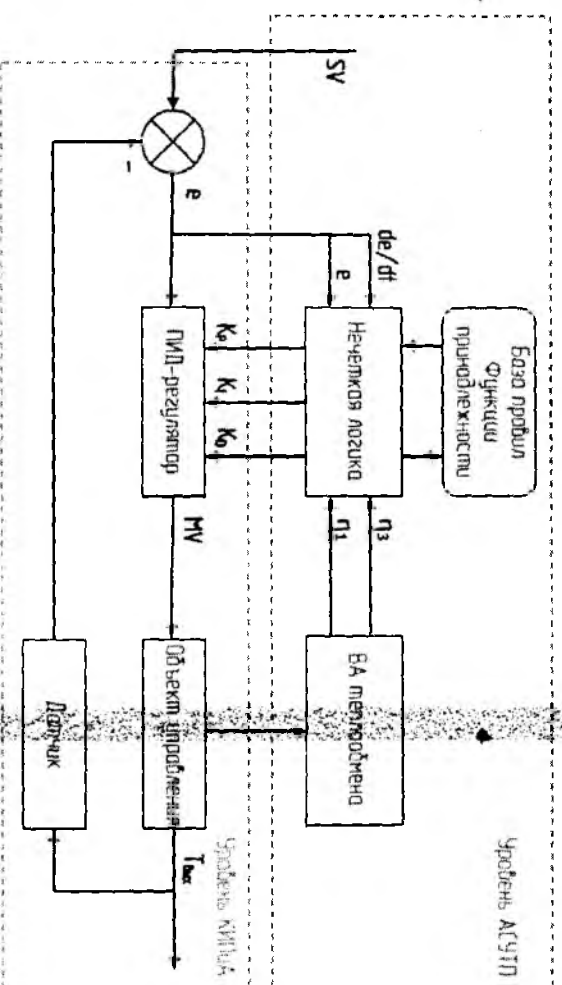


Рисунок 1 – Структурная схема предлагаемой нечёткой адаптивной системы автоматического регулирования температуры с ПИД-регулятором

На рисунке 2 представлена модель каскада теплообменных аппаратов, дополненная регулятором на базе нечеткой логики в Simulink.

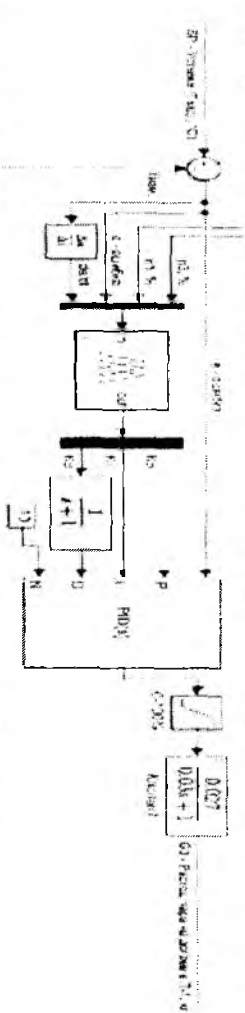


Рисунок 2 – Модель объекта с регулятором на базе нечеткой логики

На рисунке 3 приведены результаты моделирования работы системы управления в пусковом режиме.

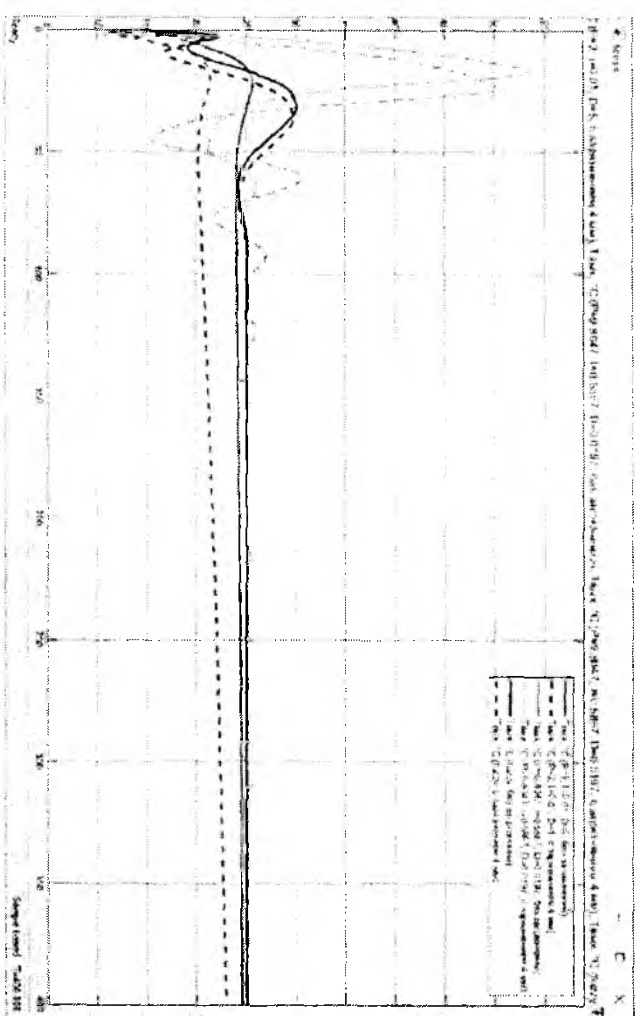


Рисунок 3 – Моделирование работы системы управления в пусковом режиме

Графики показывают, что система с настроенным классическим ПИД-регулятором в редких случаях выходит на установившийся режим работы, а с загруженными теплообменными аппаратами вообще работает неудовлетворительно, наблюдается колебательный переходный процесс. В то же время, нечеткий ПИД-регулятор успешно адаптируется к нелинейным свойствам объекта управления и динамически изменяет коэффициенты базового регулятора, обеспечивая лучшее качество регулирования вне зависимости от изменяющихся характеристик объекта управления.

Можно сделать вывод, что нечеткая подстройка позволяет уменьшить колебательные процессы, уменьшить время выхода на уставку и повысить «мягкость» работы ПИД-регулятора во всех режимах работы.

Выводы

Предложенная модель нагрева воды в кожухотрубчатом теплообменнике учитывает тепловой процесс фазового перехода при использовании пара в качестве теплоносителя, зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости потока жидкости, а также толщину отложений на внутренних поверхностях теплообмена.

Разработанная структура системы интеллектуального управления на базе нечеткой логики обеспечивает высокое быстродействие и устойчивость к возмущающим воздействиям в течение всего срока эксплуатации теплообменников.

Список использованных источников

- 1 **Поникаров, И. И., Перельгин, О. А.** Машини и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов / И. И. Поникаров, О. А. Перельгин, В. Н. Доронин, М. Г. Гайнуллин. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.: ил.
- 2 **Бултыгин, Ю. А.** Теплообменные аппараты в нефтегазовой промышленности: курсовое проектирование: учеб. пособие // Ю. А. Бултыгин, С. С. Баранов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 100 с.
- 3 **Дытнерский, Ю. И.** Процессы и аппараты химической технологии: Изд. 2-е. в 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
- 4 **Groover, M.** Fundamentals of Modern Manufacturing, Binder Ready Version: Materials, Processes, and Systems [Text] / M. Groover. – 6-th ed. – N.Y.: Wiley, 2016. – 944 p. – ISBN 978-1-119-1286-4.
- 5 *Control of thermal processes – past, current and future problems and their solutions / J. Schuitmans, D. Wild, D. Staalman, H. Wu, V. Martin, P. Pronk, J. Rolzer, M. Sprecher // Processes. – 08/2015. – P. 51–55.*
- 6 **Дудников, Е. Г.** Автоматическое управление в химической промышленности // Е. Г. Дудников, А. В. Казakov, Ю. Н. Софиева, А. Э. Софиев, А. М. Цирлин. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
- 7 **Солдагов, В. В., Ухаров, П. Е.** Адаптивная настройка систем управления с ПИД-регуляторами в условиях информационной неопределенности // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 8. – С. 16–20.
- 8 **Штейнберг, Ш. Е., Залуцкий И. Е., Сережин, Л. П., Варламов, И. Г.** Настройка и адаптация автоматических регуляторов.

Инструментальный комплект программ // Промышленные АСУ и контроллеры – 2003. – № 10. – С. 43–47.

9 **Скороспешкин, М. В., Цанко Г. П., Скороспешкин, В. Н.** Адаптивная система регулирования температуры кожухотрубного теплообменника // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 5. – С. 151–156.

10 PID Control of Heat Exchanger System / Y. B. Khare, Y. Singh. – <https://doi.org/10.5120/1213-1742> // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 8 (6). – P. 22–28.

11 Temperature Control of Shell and Tube Heat Exchanger by Using Intelligent Controllers-Case Study / P. Sivakumar, D. Prabhakaran, T. Kannadasan. – ANED : 03.3005/02802850291 // International Journal of Computational Engineering Research (IJCER). – 2012. – Vol. 2 – Issue 8. – P. 285–291.

12 Investigation Of Intelligent Pid Controller Intended For Heat Exchanger / Shanthi K, Dr. V. Bhanumathi, Ajith B. Singh, Dr. P. Manju, Dr. Narendran S // International Journal of Future Generation Communication and Networking. – 2020. – Vol. 13 – No. 2. – P. 1642–1654.

13 Study of the fouling deposit in the heat exchangers of Algiers refinery / Harche, R., Absi, R., Mouheb, A. – <https://doi.org/10.1007/s40090-014-0016-6> // International Journal of Industrial Chemistry. – 2014. – Vol. 5. – No. 16.

14 Yesil, E., Guzelkaya, M., Eksin, I. Internal model control based fuzzygain scheduling technique of PID controllers // World Automation Congress, June 28 – July 1, 2004. – Proceedings. – Vol. 17. – P. 501–506.

References

1 **Ponikarov, I. I., Perylygin, O. A.** Mashiny i apparaty himicheskikh proizvodstv i predpriyatiy stroitel'nyh materialov [Machines and apparatuses of chemical production and construction materials enterprises] // I. I. Ponikarov, O. A. Perylygin, V. N. Doronin, M. G. Gajnullin. – Moscow : Mashinostroenie, 1989. – 368 p. : il.

2 **Bulygin, Yu. A.** Teploobmennye apparaty v neftegazovoy promyshlennosti : kursovoye proektirovaniye : ucheb. posobie [Heat exchangers in the oil and gas industry : course design : textbook] // Yu. A. Bulygin, S. S. Baranov. – Voronezh : FGBOU VPO «Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet», 2015. – 100 p.

3 **Dytneriskij, Yu. I.** Processy i apparaty himicheskoy tekhnologii : Izd. 2-e, v 2-h kn. : Chast' 1. Teoreticheskie osnovy processov himicheskoy tekhnologii. Gidromekhanicheskie i teplovye processy i apparaty [Processes and apparatuses of chemical technology : Ed. 2nd in 2 books : Part 1. Theoretical foundations of

chemical technology processes. Hydromechanical and thermal processes and apparatuses]. – Moscow : Himiya, 1995. – 400 p.

4 **Groover, M.** Fundamentals of Modern Manufacturing, Binder Ready Version : Materials, Processes, and Systems [Text] / M. Groover. – 6-th ed. – N. Y. : Wiley, 2016. – 944 p. – ISBN 978-1-119-12869-4.

5 Control of thermal processes – past, current and future problems and their solutions / J. Schuurmans, D. Wild, D. Staalman, H. Wu, B. Martin, P. Pronk, J. Polzer, M. Sprecher // Processes. – 08/2015. – P. 51–55.

6 **Dudnikov, E. G.** Avtomaticheskoye upravleniye v himicheskoy promyshlennosti [Automatic control in the chemical industry] // E. G. Dudnikov, A. V. Kazakov, Yu. N. Sofeeva, A. E. Sofey, A. M. Cirilin – Moscow : Himiya, 1987. – 368 p.

7 **Soldatov, V. V., Uharov, P. E.** Adaptivnaya nastrojka sistem upravleniya s PID-regulyatorami v usloviyah informacionnoj neopredelennosti [Adaptive adjustment of control systems with PID controllers in conditions of information uncertainty] // Priboiy i sistemy. Upravleniye, kontrol', diagnostika. 2004. – № 8. – P. 16–20.

8 **Shtejnbeyg, Sh. E., Zaluckij, I. E., Serezhin, I. P., Varlamov, I. G.** Nastrojka i adaptaciya avtomaticheskikh regulyatorov. Instrumental'nyj komplekt programm [Adjustment and adaptation of automatic regulators. Software Tool Kit] // Promyshlennyye ASU i kontrolyer. – 2003. – № 10. – P. 43–47.

9 **Skorospeshkin, M. V., Carpo, G. P., Skorospeshkin, V. N.** Adaptivnaya sistema regulirovaniya temperatury kozhuhotrubnogo teploobmennika [Adaptive temperature control system for shell-and-tube heat exchanger] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2010. – Т. 316. – № 5. – P. 151–156.

10 PID Control of Heat Exchanger System / Y. B. Khare, Y. Singh – <https://doi.org/10.5120/1213-1742> // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 8 (6). – P. 22–28.

11 Temperature Control of Shell and Tube Heat Exchanger by Using Intelligent Controllers-Case Study / P. Sivakumar, D. Prabhakaran, T. Kannadasan. – ANED : 03.3005/02802850291 // (IJCER). – 2012. – Vol. 2. – Issue 8. – P. 285–291.

12 Investigation Of Intelligent Pid Controller Intended For Heat Exchanger / Shanthi K. Dr. V. Bhanumathi Ajith. B. Singh, Dr. P. Manju, Dr. Narendran S // International Journal of Future Generation Communication and Networking 2020. – Vol. 13. – No. 2. – P. 1642–1654.

13 Study of the fouling deposit in the heat exchangers of Algiers refinery / Harche, R., Absi, R., Mouheb, A. – <https://doi.org/10.1007/s40090-014-0016-6> // International Journal of Industrial Chemistry. – 2014. – Vol. 5. – No. 16.

14 **Yesil, E., Guzelkaya, M., Eksin, I.** Internal model control based fuzzygain scheduling technique of PID controllers // World Automation Congress, June 28 – July 1, 2004. – Proceedings. – Vol. 17. – P. 501–506.