



**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И
ПРОИЗВОДСТВАМИ/AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND
PRODUCTION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44> EDN: SFPVBS**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСТВОРА
КАРБАМИДА В УЗЛЕ ДИСТИЛЛЯЦИИ**

Научная статья

Кечкина Н.И.^{1,*}, Сутягин Д.К.², Наумова Е.Г.³¹ORCID : 0000-0002-9835-3327;^{1,2,3}Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, Нижний Новгород, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (nataliyabaranova[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы разработки эффективной системы управления узлом дистилляции, позволяющей поддерживать значения температуры раствора карбамида на выходе из дистиллятора среднего давления в границах, определенных регламентом. Авторы отмечают, что повышение температуры приведет к образованию биуретов, нарушению протекания процесса дистилляции и понижению качества карбамида на выходе. Что доказывает актуальность рассматриваемой темы и необходимость разработки эффективной системы управления. Анализ технологического процесса как объекта управления, позволил выявить наиболее важные объекты технологической схемы и определить возможные внешние возмущающие воздействия. Выполнена оценка существующих технических решений, реализованных для дистиллятора среднего давления. Отмечены недостатки. Предложена концепция автоматизированной системы управления, позволяющая выполнить компенсацию возмущающих воздействий, а следовательно, повысить качество процесса дистилляции.

Ключевые слова: карбамид, дистиллятор среднего давления, дистиллятор низкого давления, температура раствора карбамида, возмущающие воздействия, система управления.

**IMPROVING THE CONTROL SYSTEM TO MAINTAIN THE TEMPERATURE OF THE UREA SOLUTION IN
THE DISTILLATION UNIT**

Research article

Kechkina N.I.^{1,*}, Sutyagin D.K.², Naumova E.G.³¹ORCID : 0000-0002-9835-3327;^{1,2,3}Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

* Corresponding author (nataliyabaranova[at]yandex.ru)

Abstract

The article examines the development of an effective control system for a distillation unit, designed to maintain the temperature of the urea solution at the outlet of the medium-pressure distillator within the limits specified by the regulations. The authors note that an increase in temperature will lead to the formation of biuret, disruption of the distillation process, and a reduction in the quality of the urea product. This demonstrates the relevance of the discussed topic and the need to develop an effective control system. Analysis of the technological process as a control object has made it possible to identify the most important elements of the process flow diagram and determine possible external disturbances. An evaluation of existing technical solutions implemented for the medium-pressure distiller has been carried out. Shortcomings have been identified. A concept for an automated control system has been suggested, enabling the compensation of disturbances and, consequently, improving the quality of the distillation process.

Keywords: urea, medium-pressure distillator, low-pressure distillator, urea solution temperature, disturbing influences, control system.

Введение

Процесс производства карбамида, также известного как мочевины, начинается со смешивания аммиака и углекислого газа под давлением и при высокой температуре в реакторе [1]. В результате реакции получают карбамидную смолу, которая затем подвергается процессу охлаждения и кристаллизации с последующим получением чистого кристаллического карбамида. Для улучшения качества продукции и повышения эффективности процесса могут применяться дополнительные этапы очистки и обработки.

Полученный карбамид широко используется в качестве удобрения, а также в производстве пластмасс, лекарственных препаратов [2] и в других отраслях промышленности [3], [4].

Основные узлы технологического процесса карбамида представлены:

- установкой компрессии диоксида углерода;
- узлом синтеза карбамида;
- узлом дистилляции;
- грануляцией карбамида.



В данной статье рассматривается узел дистилляции. В производстве карбамида на стадии дистилляции выполняется очистка и разделение полученной карбамидной смолы, что позволяет устранить примеси и другие остаточные соединения и тем самым способствует получению более чистого и высококачественного продукта.

При реализации управления узлом дистилляции на производстве могут возникнуть следующие проблемы:

1. Непрореагировавший аммиак, образующийся в дистилляторе, является токсичным, горючим и взрывоопасным веществом. Некорректная эксплуатация может нанести ущерб производству и персоналу.

2. Колебания температуры и расхода поступающего в аппарат раствора, а также температуры конденсата пара могут способствовать температурным отклонениям внутри дистилляторов. В свою очередь, это может привести как к образованию побочных продуктов, так к снижению эффективности производства.

Целью работы является предложение концепции эффективной системы управления узлом дистилляции, позволяющей поддерживать значения технологических параметров рассматриваемого процесса в границах, определенных регламентом, обеспечивая компенсацию внешних возмущающих воздействий, с целью повышения качества карбамида.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ дистиллятора как объекта управления.

2. Оценить технические решения, существующие в настоящее время. Выявить возможные проблемы и недостатки в управлении рассматриваемым процессом.

3. Сформировать технические предложения по проектированию автоматизированной системы контроля и управления аппаратами в рамках узла.

Анализ процесса как объекта управления выполнен с применением его формализованного описания путем разработки математической модели. Математическая модель построена на основе аналитического подхода, с использованием фундаментальных законов сохранения вещества и энергии [5], [6].

Основные результаты

Объектом управления является дистилляция раствора карбамида. Рассматриваемый процесс относится к непрерывным химико-технологическим процессам, не является взрывоопасным и пожароопасным, класс взрывоопасной зоны определен как АН [7].

Принципиальная технологическая схема процесса включает следующие аппараты:

- дистиллятор среднего давления (СД);
- дистиллятор низкого давления (НД);
- сепаратор карбамата НД;
- напорный бак контура охлаждения конденсатора НД;
- конденсатор карбамата НД (вертикальный кожухотрубчатый теплообменник);
- холодильник циркуляционного конденсата узла НД (пластинчатый теплообменник).

Основными аппаратами в процессе являются дистилляторы СД поз. ТС-201 и НД поз. КТ-301, изображенные на рисунках 1 и 2 соответственно.

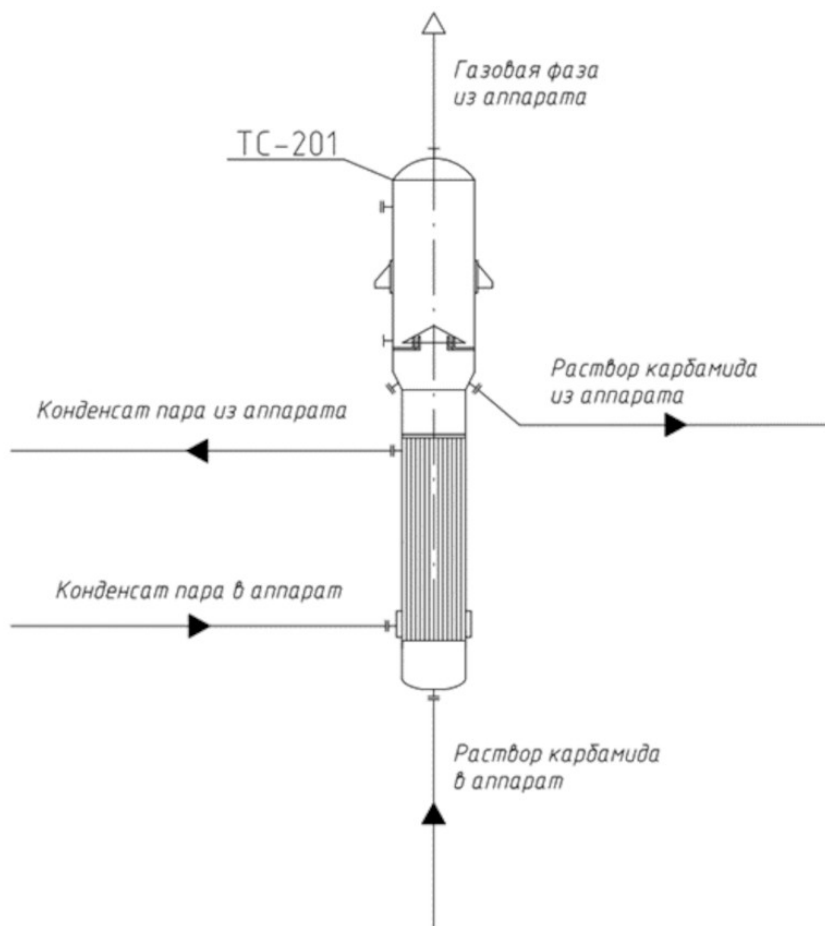


Рисунок 1 - Дистиллятор СД поз. ТС-201
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.1>

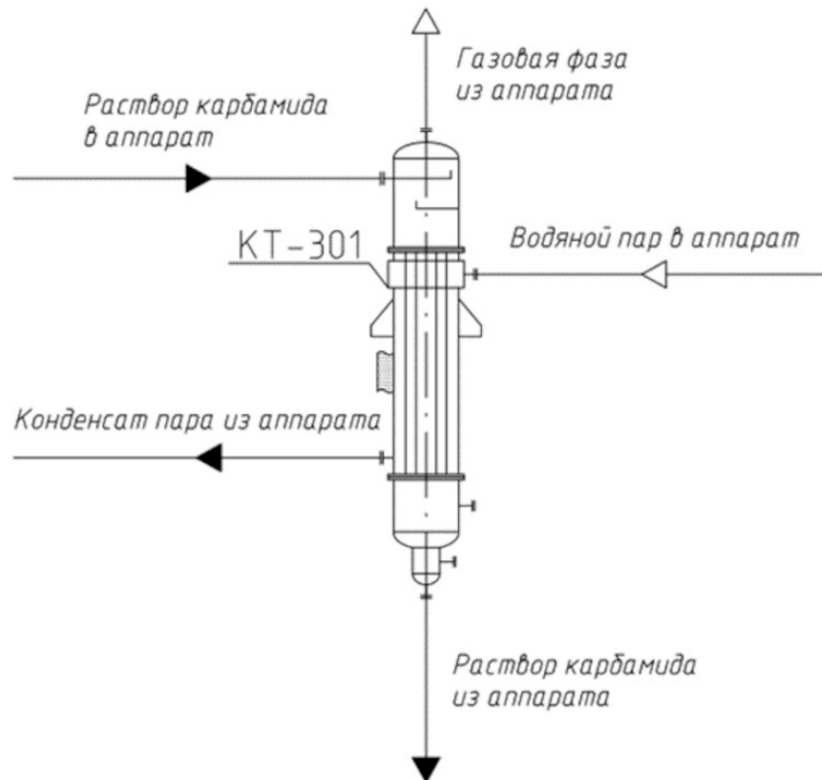


Рисунок 2 - Дистиллятор НД поз. КТ-301
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.2>

Раствор карбамида с концентрацией $45 \div 50$ % дросселируется до давления $2,3 \div 2,7$ МПа и направляется в подогреватель дистиллятора среднего давления, где он подогревается до температуры $145 \div 149$ °С и попадает в сепарационную часть. Отделившаяся газовая фаза в виде аммиака, диоксида углерода направляется в межтрубное пространство рекуперативного подогревателя раствора карбамида. Раствор дросселируется до давления $0,2 \div 0,4$ МПа и направляется в узел дистилляции низкого давления [8].

Аппарат дистилляции низкого давления КТ-301 представляет собой совмещенные зоны массообмена (вертикального колонного типа с внутренними устройствами) и теплообмена (вертикального кожухотрубного типа с падающей пленкой) и работает под давлением $0,2 \div 0,4$ МПа. В массообменной зоне происходит насыщение восходящей газовой фазы аммиаком и диоксидом углерода, испаряющихся из нисходящего раствора, и обеднение водой, которая конденсируется в раствор. Газовая фаза из дистиллятора низкого давления КТ-301 с температурой $105 \div 115$ °С направляется в конденсатор Т-302. Раствор поступает в трубы теплообменной части, и под действием греющего агента при температуре $130 \div 140$ °С из него выделяются аммиак, диоксид углерода и вода. После конденсатора низкого давления Т-302 газожидкостная смесь направляется на разделение [8].

Исследование закономерностей протекания процессов в данных аппаратах, позволили сделать выводы о наличии потенциальных «узких» мест в системе, что, в свою очередь, стало основой для выбора наилучшей концепции автоматизированной системы управления [9].

При анализе дистилляторов СД и НД отмечается, что они являются многомерными объектами управления с сосредоточенными параметрами.

Математическая модель, описывающая процессы происходящие в дистилляторе СД, составлена анатомическим способом с учетом ряда допущений:

- параметры выходного потока совпадают с параметрами жидкости внутри аппарата;
- теплофизические свойства входных потоков, выходного потока и жидкости внутри аппарата совпадают и не зависят от температуры;
- потери вещества и энергии во внешнюю среду отсутствуют;
- расходы конденсата на входе и выходе из аппарата равны.

В основу модели заложены уравнения теплового баланса и материального баланса по жидкой фазе. Математическая модель объекта управления с учетом начальных условий будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_{kon}^n \cdot c_{kon} \cdot T_{kon}^n - \alpha \cdot f \cdot (T_{st} - T_{kon}^k) - G_{kon}^k \cdot c_{kon} \cdot T_{kon}^k = M_{st} \cdot c_{st} \cdot \frac{dT_{st}}{d\tau}, \\ G_{kar}^n \cdot c_{kar} \cdot T_{kar}^n + \alpha \cdot f \cdot (T_{st} - T_{kon}^k) - L_{gf} \cdot G_{gf} - G_{kar}^k \cdot c_{kar} \cdot T_{kar}^k = M_{kar} \cdot c_{kar} \cdot \frac{dT_{kar}^k}{d\tau}, \\ \frac{G_{kar}^n}{\rho_{kar}^n} - \frac{G_{kar}^k}{\rho_{kar}^k} = S_{app} \cdot \frac{dh}{d\tau}, \\ T_{kar}|_{\tau=0} = T_{kar}^0, \\ T_{st}|_{\tau=0} = T_{st}^0, \\ h|_{\tau=0} = h^0 \end{array} \right. \quad (1)$$

где $T_{kon}^n, T_{kon}^k, T_{kar}^n, T_{kar}^k, T_{st}$ — температуры конденсата на входе и выходе из аппарата, раствора карбамида на входе и выходе из аппарата, стенки соответственно;

$c_{kon}, c_{kar}, c_{st}, L_{gf}, \alpha, f$ — удельные теплоемкости конденсата, раствора карбамида и стенки теплообменника, удельная теплота парообразования, коэффициент расхода и поперечное сечение трубопровода соответственно (согласно допущению, являются константами);

$G_{kon}^n, G_{kon}^k, G_{gf}$ — массовые расходы конденсата на входе и выходе из аппарата, расход газовой фазы на выходе из аппарата;

$\rho_{kar}^n, \rho_{kar}^k$ — плотности раствора карбамида на входе и выходе из аппарата;

M_{st}, M_{kar} — массы стенки и раствора карбамида;

S_{app} — площадь поперечного сечения аппарат;

h — уровень раствора карбамида в аппарате.

В дистилляторе СД поз. ТС-201 регулируемые параметрами являются уровень и температура раствора карбамида на выходе из аппарата. Поддержание уровня раствора карбамида осуществляется за счет изменения расхода раствора карбамида на линии выхода его из аппарата ТС-201. Температура раствора на выходе из дистиллятора регулируется за счет изменения расхода парового конденсата из межтрубного пространства, выходящего из подогревателя, и расхода парового конденсата из стриппера, поступающего в подогреватель дистиллятора. Полученная информационная схема объекта управления, отражающая регулируемые параметры, управляющие и возмущающие воздействия, представлена на рисунке 3.

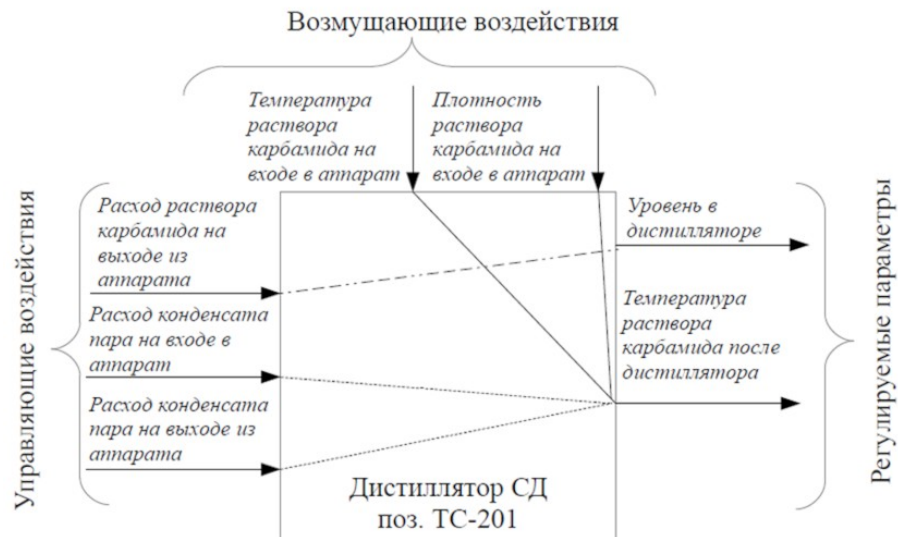


Рисунок 3 - Информационная схема дистиллятора СД ТС-201

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.3>

В дистилляторе НД поз. КТ-301 регулируемые параметрами являются уровень и температура карбамида. Поддержание уровня в дистилляторе осуществляется за счет изменения расхода раствора карбамида на линии выдачи из дистиллятора НД поз. КТ-301. Для регулирования температуры карбамида применяется каскадное регулирование, позволяющее учесть возмущающие воздействия связанные с изменением давления водяного пара на входе в аппарат. Давление пара на входе в КТ-301 регулируется расходом пара. Информационная схема объекта управления представлена на рисунке 4.

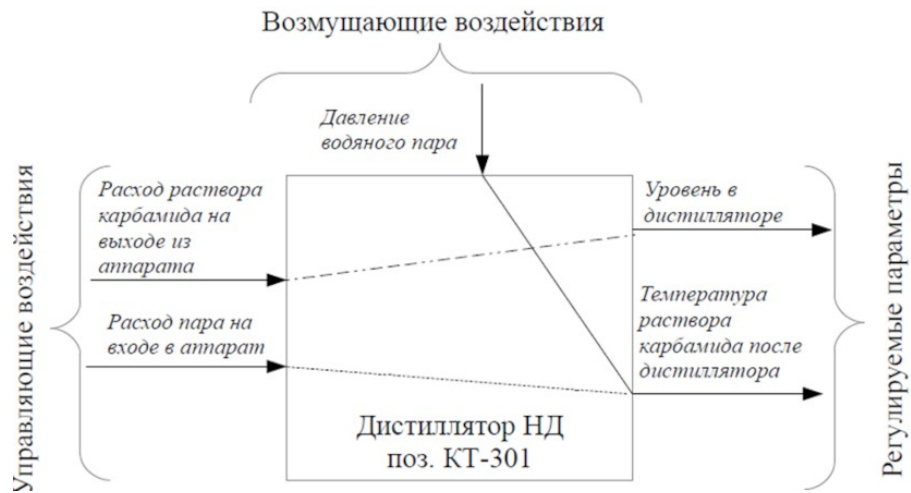


Рисунок 4 - Информационная схема дистиллятора НД КТ-301
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.4>

Результаты анализа технологического процесса, как объекта управления, демонстрируют наличие в дистилляторе СД поз. ТС-201 возмущающих воздействий, которые могут оказывать существенное влияние на время регулирования температуры раствора карбамида и/или на качество готового раствора. Принято решение о необходимости разработки системы компенсации выявленных возмущающих воздействий.

Обсуждение

Текущие технические решения в области КИПиА для аппарата поз. ТС-201 представлены на рисунке 5.

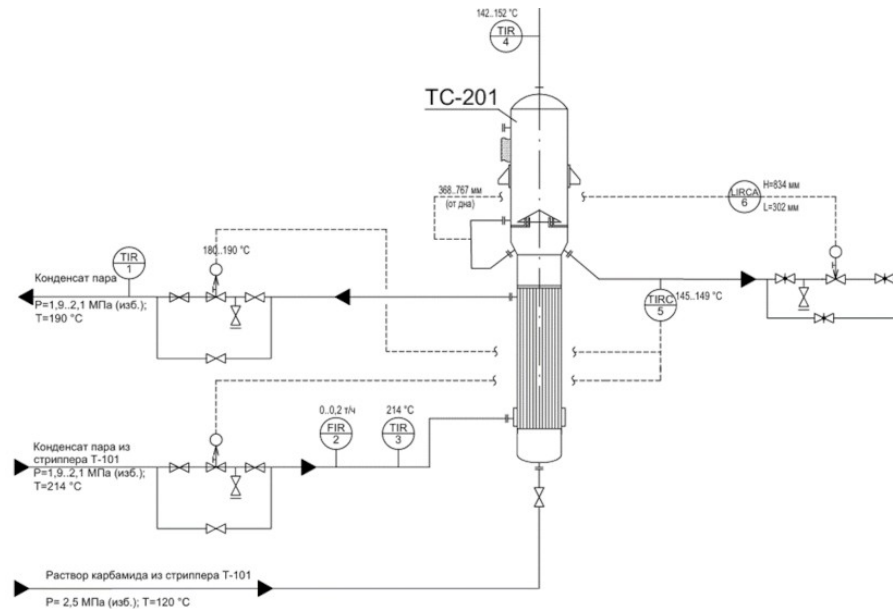


Рисунок 5 - Функциональная схема автоматизации дистиллятора СД
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.5>

Алгоритм управления, отражающий текущие решения по регулированию температуры раствора на выходе из аппарата, представлен на рисунке 6.

На данный момент, на линии вывода раствора карбамида из аппарата не производится контроля его плотности, так же как на линии подачи в аппарат. Реализовано только измерение температуры раствора на выходе из аппарата. Подача в реактор раствора с температурой выше предполагаемой (выше 120°C), может привести к его перегреву и, как следствие, образованию биуретов, нарушению протекания процесса дистилляции и понижению качества карбамида на выходе.

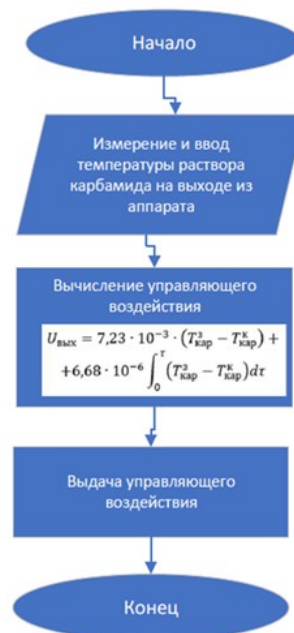


Рисунок 6 - Алгоритм вычисления управляющего воздействия существующей системы
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.6>

Для компенсации возмущающих воздействий, требуется учитывать плотность раствора карбамида на входе и выходе из аппарата, его температуру на входе в аппарат и заданное значение температуры на выходе из него, при вычислении управляющего воздействия (рисунок 7). Предложено реализовать комбинированную систему управления с применением математической модели [10]. Учет влияния возмущающих воздействий будет способствовать снижению числа образуемых биуретов и повышению качества процесса дистилляции.

$$G_{кон} = \frac{F_{kar}^n \cdot \rho_{kar}^n \cdot (L_{gf} - c_{kar} \cdot T_{kar}^n) + F_{kar}^k \cdot \rho_{kar}^k \cdot (c_{kar} \cdot T_{kar}^k - L_{gf})}{c_{кон} \cdot (T_{кон}^n - T_{кон}^k)}, \quad (2)$$

где F_{kar}^n, F_{kar}^k — объемные расходы раствора карбамида на входе и выходе из аппарата.

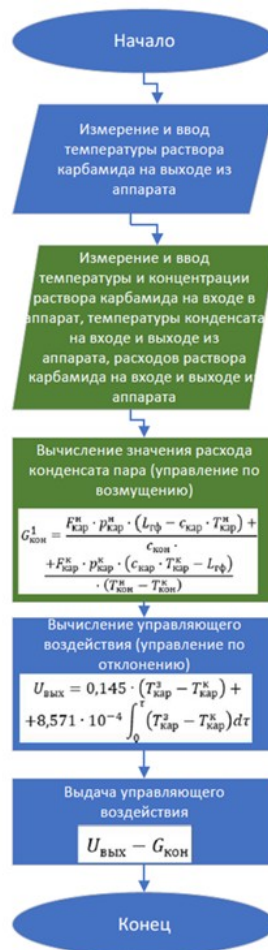


Рисунок 7 - Алгоритм вычисления управляющего воздействия предлагаемой системы управления
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.7>

Математическая модель, реализованная в среде модельно-ориентированного проектирования Simulink в блочном виде представлена на рисунке 8. Модель технологического объекта управления получена путем представления уравнений системы (1) с помощью блоков из библиотеки. Компенсатор возмущающих воздействий представлен собранным из блоков библиотеки выражением (2). ПИ-регулятор реализован с использованием блока PID Controller, для которого коэффициенты были определены методом автонастройки.

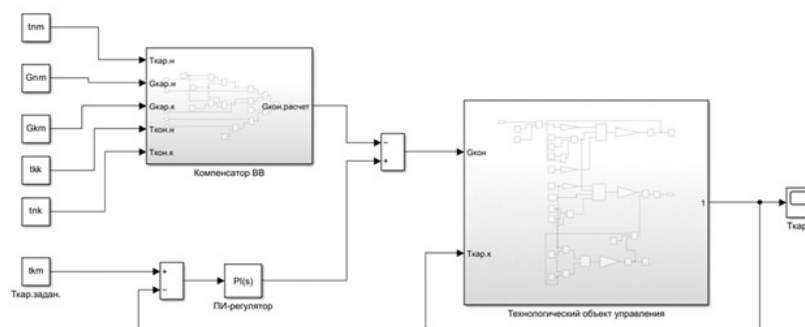


Рисунок 8 - Математическая модель в среде Simulink
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.8>

Графики переходных процессов для системы с принципом управления по отклонению (рис. 5) и комбинированной системы управления (рис. 8) представлены на рисунке 9.

Выполнен расчет показателей качества процесса управления для рассматриваемых систем. По результатам анализа полученных показателей качества регулирования (табл. 1) установлено, что время регулирования и интегральный квадратичный критерий достигают наименьшего значения для системы с применением комбинированного управления.

Таблица 1 - Критерии качества регулирования

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.9>

Критерии	Система с управлением по отклонению	Комбинированная система управления
Статическая ошибка регулирования	0	0
Время регулирования	34900	5370
Интегральный квадратичный критерий	$6,179 \cdot 10^9$	$9,277 \cdot 10^8$

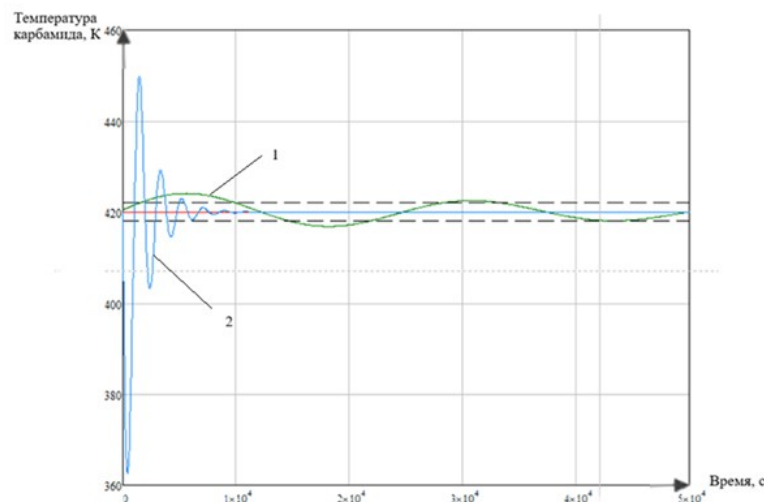


Рисунок 9 - Графики переходных процессов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.44.10>

Примечание: 1 – переходная характеристика, полученная для системы с принцип управления по отклонению; 2 – переходная характеристика, полученная для комбинированной системы

Заключение

В статье были рассмотрены вопросы разработки эффективной системы управления узлом дистилляции, позволяющей выполнить компенсацию внешних возмущающих воздействий, с целью повышения качества карбамида.

Анализ дистилляторов СД и НД как объектов управления позволил выявить возмущающие воздействия, возникающие в процессе и оказывающие весомое влияние на качество производимого продукта.

Оценив существующую систему управления, отмечено отсутствие технических решений, позволяющих компенсировать влияние возмущающих воздействий, связанных с изменением концентрации и температуры раствора карбамида на входе в дистиллятор СД.

Предложено вырабатывать управляющее воздействие для регулирования температуры карбамида на выходе из дистиллятора СД с учетом значений плотности раствора карбамида и температуры на входе в аппарат.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.



Список литературы / References

1. Баранова Д.И. Карбамид. Обзор современных технологий производства / Д.И. Баранова, Н.И. Баранова // Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». — 2014. — URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014003767?ysclid=mly5gkb8hn773478112> . (дата обращения: 22.02.26)
2. Мырадова А. Использование карбамида для получения медицинских препаратов / А. Мырадова, А. Гаиров, С. Арсланова и др. // Символ науки. — 2024. — №10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-karbamida-dlya-polucheniya-meditsinskih-preparatov> . (дата обращения: 22.02.26)
3. ГОСТ 2081-2010. Карбамид. Технические условия. — Введ. 2011-03-01. — Москва: Стандартинформ, 2010. — 28 с.
4. Ермолаева В.А. Технологические параметры производства карбамида / В.А. Ермолаева, Д.С. Синявская // Наука без границ. — 2018. — №5. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-parametry-proizvodstva-karbamida> . (дата обращения: 22.02.26)
5. Сидоров Д.В. Обзор методов построения математических моделей статических режимов для управления непрерывными технологическими процессами / Д.В. Сидоров, О.А. Гаврина, И.А. Берко и др. // Успехи современной науки и образования. — 2016. — №12. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27654109> . (дата обращения: 22.02.26)
6. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ. — 2008. — 114 с.
7. Родионов А.С. Расчет газожидкостного равновесия на стадии дистилляции в производстве карбамида / А.С. Родионов, А.А. Сидягин // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. — 2010. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-gazozhidkostnogo-ravnovesiya-na-stadii-distillyatsii-v-proizvodstve-karbamida> . (дата обращения: 22.02.26)
8. Баранова Н.И. Анализ технологического процесса производства карбамида как объекта управления / Н.И. Баранова // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — №6. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10993>. (дата обращения: 22.02.26)
9. Островский С.В. Совершенствование технологической схемы производства карбамида с целью снижения производственных потерь карбамида и сырья / С.В. Островский // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. — 2009. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologicheskoy-shemy-proizvodstva-karbamida-s-tselyu-snizheniya-proizvodstvennyh-poter-karbamida-i-syrya> . (дата обращения: 22.02.26)
10. Грудяева Е.К. Синтез системы управления технологическим процессом удаления соединений азота из сточных вод / Е.К. Грудяева // Информационно-управляющие системы. — 2015. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-sistemy-upravleniya-tehnologicheskim-protsessom-udaleniya-soedineniy-azota-iz-stochnyh-vod> . (дата обращения: 22.02.26)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Baranova D.I. Karbamid. Obzor sovremennyx tehnologij proizvodstva [Urea. An overview of modern production technologies] / D.I. Baranova, N.I. Baranova // Proceedings of the 6th International Student Research Conference 'Student Research Forum'. — 2014. — URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014003767?ysclid=mly5gkb8hn773478112> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]
2. My'radova A. Ispol'zovanie karbamida dlya polucheniya medicinskih preparatov [The use of urea in the manufacture of medicinal products] / A. My'radova, A. Gairov, S. Arslanova et al. // Symbol of Science. — 2024. — №10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-karbamida-dlya-polucheniya-meditsinskih-preparatov> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]
3. GOST 2081-2010. Karbamid. Texnicheskie usloviya [GOST 2081-2010. Urea. Specifications]. — Introduced 2011-03-01. — Moscow: Standartinform, 2010. — 28 P. [in Russian]
4. Ermolaeva V.A. Tehnologicheskie parametry' proizvodstva karbamida [Technical parameters for the production of urea] / V.A. Ermolaeva, D.S. Sinyavskaya // Science without borders. — 2018. — №5. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskie-parametry-proizvodstva-karbamida> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]
5. Sidorov D.V. Obzor metodov postroeniya matematicheskix modelej staticheskix rezhimov dlya upravleniya nepreryvny'mi tehnologicheskimi processami [A review of methods for constructing mathematical models of steady-state conditions for the control of continuous industrial processes] / D.V. Sidorov, O.A. Gavrina, I.A. Berko et al. // Advances in modern science and education. — 2016. — №12. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27654109> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]
6. Federalnii zakon ot 22.07.2008 № 123-FZ [Tekhnicheskij reglament o trebovaniyakh pozharnoj bezopasnosti [Technical Regulations on Fire Safety Requirements]: Federal Law No. 123-FZ of 22 July 2008. — 2008. — 114 p. [in Russian]
7. Rodionov A.S. Raschet gazozhidkostnogo ravnovesiya na stadii distillyatsii v proizvodstve karbamida [Calculation of gas-liquid equilibrium during the distillation stage in urea production] / A.S. Rodionov, A.A. Sidiyagin // Proceedings of the R. E. Alekseev NSTU. — 2010. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-gazozhidkostnogo-ravnovesiya-na-stadii-distillyatsii-v-proizvodstve-karbamida> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]
8. Baranova N.I. Analiz tehnologicheskogo processa proizvodstva karbamida kak ob'ekta upravleniya [Analysis of the urea production process as a control object] / N.I. Baranova // Contemporary Issues in Science and Education. — 2013. — №6. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10993>. (accessed: 22.02.26) [in Russian]
9. Ostrovskij S.V. Sovershenstvovanie tehnologicheskoy sxemy' proizvodstva karbamida s cel'yu snizheniya proizvodstvenny'x poter' karbamida i sy'r'ya [Improving the production process for urea with a view to reducing production



losses of urea and raw materials] / S.V. Ostrovskij // PNIPU Bulletin. Chemical Technology and Biotechnology. — 2009. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologicheskoy-shemy-proizvodstva-karbamida-s-tselyu-snizheniya-proizvodstvennyh-poter-karbamida-i-syrya> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]

10. Grudyaeva E.K. Sintez sistemy' upravleniya texnologicheskim processom udaleniya soedinenij azota iz stochny'x vod [Design of a process control system for the removal of nitrogen compounds from wastewater] / E.K. Grudyaeva // Information and control systems. — 2015. — №4. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-sistemy-upravleniya-tehnologicheskim-protssom-udaleniya-soedineniy-azota-iz-stochnyh-vod> . (accessed: 22.02.26) [in Russian]