

Научная статья
УДК 66.011+547.54
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2026-1-33-39>
EDN TEEBWG

Моделирование установки синтеза 55 % раствора формалина, расчет материального баланса и тепловых нагрузок аппаратов

Михаил Валентинович Шишанов[✉], Ольга Сергеевна Алемасова

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
Москва, Россия, shishanov.m.v@muctr.ru[✉]*

Аннотация. В статье представлено моделирование промышленной установки получения 55 % раствора формалина производительностью 180 000 т/год в среде Aspen Plus. За основу принята схема окислительного дегидрирования метанола на железо-молибденовом катализаторе (Formox-процесс), соответствующая параметрам агрегата КФ-3. Разработана расчетная модель, включающая узлы подготовки сырья, стехиометрический реактор синтеза, систему охлаждения контактного газа и абсорбционную колонну. Для описания газофазной стадии использовано уравнение состояния Пенг – Робинсона, для абсорбционной колонны – комбинированная модель NRTL-RK. С целью корректного учета поведения формальдегида в водной среде создан пользовательский компонент, описывающий его гидратированную форму, а также введен вспомогательный блок для приведения метилэтиленгликоля к эквивалентной смеси формальдегида и воды при составлении материального баланса. Выполнен расчет материального баланса по основным компонентам процесса, подтверждена его замкнутость по входным и выходным потокам. Определены удельные расходы метанола, воды и воздуха на получение раствора формалина. Проведен тепловой анализ установки, установлено, что основной вклад в тепловую нагрузку вносит реакционная стадия и последующее охлаждение контактного газа. Полученные результаты могут быть использованы для подбора аппаратурного оформления и оценки энергетических характеристик производства.

Ключевые слова: формалин, окислительное дегидрирование метанола, Aspen Plus, математическое моделирование; материально-тепловой баланс

Для цитирования: Шишанов М. В., Алемасова О. С. Моделирование установки синтеза 55 % раствора формалина, расчет материального баланса и тепловых нагрузок аппаратов // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2026. № 1. С. 33–39. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2026-1-33-39>. EDN TEEBWG.

Original article

Modeling of the synthesis plant of 55% formalin solution, calculation of the material balance and thermal loads of devices

Mikhail V. Shishanov[✉], Olga S. Alemasova

*Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
Moscow, Russia, shishanov.m.v@muctr.ru[✉]*

Abstract. The paper presents the modeling of an industrial plant for producing a 55% formalin solution with a capacity of 180 000 t/y in Aspen Plus. The model is based on the oxidative dehydrogenation of methanol over an iron-molybdenum catalyst (Formox process) and corresponds to the operating parameters of the KF-3 unit. A calculation model includes feed preparation units, a stoichiometric synthesis reactor, a contact-gas cooling system, and an absorption column. The gas-phase stage was described using the Peng – Robinson equation of state, while the absorption column was modeled with the combined NRTL-RK method. To correctly account for the behavior of formaldehyde in an aqueous medium, a user-defined component representing its hydrated form was created; an auxiliary block was also introduced to convert methylene glycol to an equivalent mixture of formaldehyde and water for material balance. A material balance was calculated for the main process components, and equality between inlet and outlet streams was confirmed. Specific consumptions of methanol, water and air per unit of formalin solution produced were determined. A thermal analysis of the plant was performed, showing that the main contribution to the overall heat duty arises from the reaction stage and the contact gas cooling stage. The obtained results can be used for equipment selection and for evaluating the energy parameters of the process.

Keywords: formalin, oxidative dehydrogenation of methanol, Aspen Plus, mathematical modeling, mass and energy balance

For citation: Shishanov M. V., Alemasova O. S. Modeling of the synthesis plant of 55% formalin solution, calculation of the material balance and thermal loads of devices. *Oil and gas technologies and environmental safety.* 2026;1:33-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2026-1-33-39>. EDN TEEBWG.

Введение

Формальдегид является одним из основных многотоннажных нефтегазохимических продуктов и находит широкое применение в производстве смол, пластмасс, лекарственных средств и красителей [1, 2].

На 2025 г. мировой объем производства формальдегида оценивался в 23,05 млн т, с прогнозируемым ростом к 2030 г. до 29,81 млн т. При этом ключевой тенденцией развития отрасли является увеличение доли мощностей для технологий на металлооксидных катализаторах, в частности железо-молибденовых (ЖМК) [3, 4]. Технология окислительного дегидрирования метанола на ЖМК характеризуется более высокой селективностью, практически полной конверсией метанола и пониженным образованием побочных продуктов по сравнению с процессом на серебряном катализаторе [1, 5].

При проектировании крупнотоннажных производств возникает необходимость в точном расчете материальных и тепловых потоков не только реакторного узла, но и всей технологической схемы в целом. Сложность такого расчета обусловлена взаимосвязью всех стадий процесса: состав реакционной смеси определяет парциальные давления компонентов на входе в абсорбер, что, в свою очередь, влияет на требуемый расход абсорбента и полноту извлечения целевого продукта. Кроме того, тепловые эффекты реакций и фазовых переходов необходимо учитывать при выборе теплообменного оборудования. Современные инструменты компьютерного моделирования открывают широкие возможности для решения подобных задач. Работа с цифровой моделью технологического объекта позволяет эффективно исследовать его поведение в различных режимах функционирования, минимизируя временные и материальные ресурсы, необхо-

димые для натуральных экспериментов. В частности, подходы, основанные на моделировании и оптимизации температурного режима, описаны в ряде работ, посвященных определению оптимальной температуры в коксовых батареях [6] и для совершенствования схем обогрева с рециркуляцией газа, направленных на снижение выбросов NO_x [7].

До настоящего времени в открытой литературе отсутствуют данные по моделированию Formox-процесса в средах CAE (Computer-aided engineering). В статье выполнено моделирование установки получения 55 % раствора формалина производительностью 180 000 т/год в среде Aspen Plus. Данный подход позволяет получить данные материальных и тепловых потоков, необходимые для дальнейшего подбора аппаратного оформления и технико-экономических расчетов.

Целью исследования является разработка имитационной модели технологической схемы получения формалина и составление материально-теплого баланса установки.

Описание технологической схемы процесса получения формальдегида

За основу технологической схемы, моделируемой в статье, принят промышленный процесс производства формальдегида окислительным дегидрированием метанола на ЖМК (Formox-процесс). Выбор мощности установки – 180 000 т 55 % раствора формалина в год – ориентирован на показатели работы агрегата КФ-3, эксплуатируемого на предприятии «Метафракс Кемикалс» (г. Губаха) [8].

Принципиальная технологическая схема, принятая за основу для моделирования, представлена на рис. 1 [9].

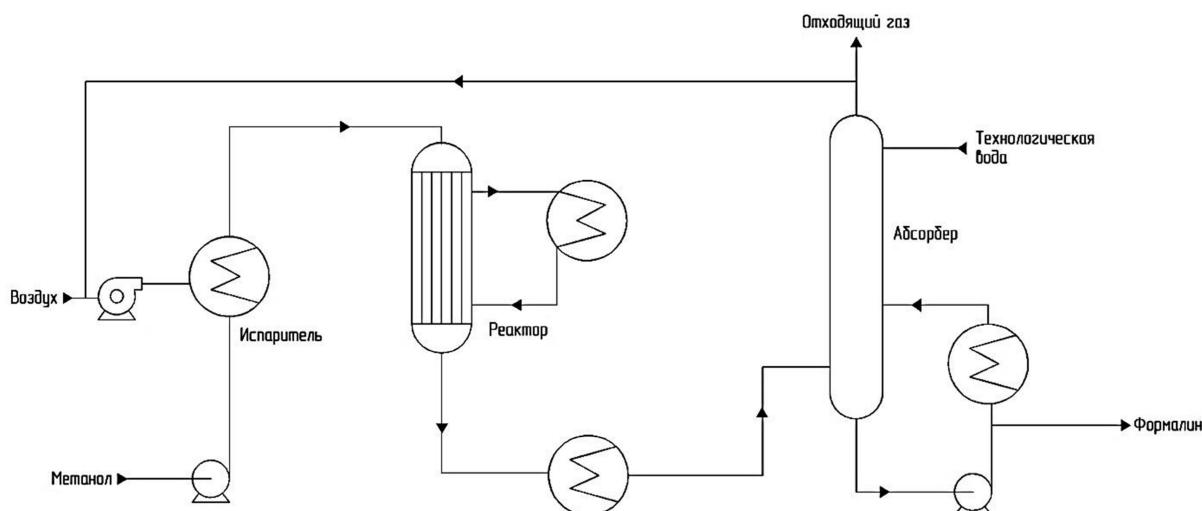


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема производства формальдегида на железо-молибденовом катализаторе [9]

Fig. 1. Basic technological scheme for the production of formaldehyde on an iron-molybdenum catalyst [9]

Исходный метанол полностью испаряется, после чего смешивается с воздухом (и при необходимости с рециркулирующим отходящим газом). Полная газификация является обязательным условием, т. к. попадание жидкого метанола на ЖМК вызывает дезактивацию катализатора. Реакционная смесь поступает в трубчатый реактор с неподвижным слоем катализатора. Тепло экзотермической реакции отводится высококипящим теплоносителем, циркулирующим в межтрубном пространстве, что обеспечивает изотермический режим (350–390 °С). После реактора газы охлаждаются и направляются в абсорбционную колонну, где формальдегид поглощается водой с получением 55 % товарного раствора. Согласно промышленным данным, конверсия метанола достигает 95–99 мол. %, селективность – 92–94 %, остаточное содержание метанола в продукте – 0,5–1,5 масс. % [5, 9].

Выбор термодинамического метода свойств

В реакторе процесс протекает при температуре 350–370 °С и давлении до 3 атм. При указанных условиях система находится в газовой фазе.

Для описания термодинамических свойств системы использовалась модификация уравнения Ван-дер-Ваальса – кубическое уравнение состояния Пенг – Робинсона. Оно обеспечивает точность расчета термодинамических свойств многокомпонентных газовых смесей органических и неорганических соединений в широком диапазоне температур и является промышленным стандартом для моделирования газозатвержденных процессов нефтехимических и органических производств [10]:

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m(V_m + b)(V_m - b)},$$

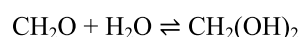
где a – параметр, отвечающий за силы притяжения между молекулами; b – параметр, который учитывает поправку на собственный объем молекул; V_m – молярный объем; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

В абсорбционной колонне происходит поглощение формальдегида водой с образованием раствора формалина. В данной зоне формируется жидкая фаза, представленная системой «вода – формальдегид – метанол», характеризующаяся высокой полярностью. Наличие водородных связей и ассоциированных форм существенно усиливает отклонения от идеальности, поэтому применение кубических

уравнений состояния в таких условиях приводит к занижению коэффициентов активности и, как следствие, к погрешностям в расчете фазового равновесия и состава кубового продукта.

Для корректного описания жидкофазной системы в абсорбере использована комбинированная модель NRTL-RK. В данной модели уравнение состояния NRTL (Non-Random Two-Liquid) применяется для расчета коэффициентов активности жидкой фазы и описания водно-органической системы с выраженными отклонениями от идеальности, а уравнение состояния RK (Redlich-Kwong) используется для описания паровой фазы и обеспечивает согласованность расчетов фазового равновесия. Данный термодинамический пакет применим при низком давлении (до 10 атм), согласно рекомендациям базы данных Aspen Plus V12 (Aspen Help).

При моделировании стадии абсорбции формальдегида было установлено, что стандартная база компонентов Aspen Plus не обеспечивает корректного описания системы при повышенных концентрациях формальдегида. Это обусловлено тем, что формальдегид в водных растворах существует не только в молекулярной форме, но и в виде ассоциированных структур. В водной среде протекает обратимая реакция гидратации:



Отсутствие учета гидратной формы формальдегида (метиленгликоля) в расчетной модели приводит к занижению растворимости формальдегида и искажению профиля распределения компонентов по высоте абсорбционной колонны. Поэтому с целью повышения адекватности модели был создан пользовательский компонент, описывающий формальдегид в гидратированной форме. В модуле задания спецификации компонентов для метиленгликоля была предложена его молекулярная структура и молярная масса.

Разработка модели в Aspen Plus

Была разработана расчетная технологическая схема получения 55 % раствора формалина в среде Aspen Plus (рис. 2). Структура модели соответствует последовательности основных стадий процесса: подготовка сырья, каталитическое окисление метанола, охлаждение газовой смеси и абсорбция формальдегида.

Шишанов М. В., Алемасова О. С. Моделирование установки синтеза 55 % раствора формалина, расчет материального баланса и тепловых нагрузок аппаратов

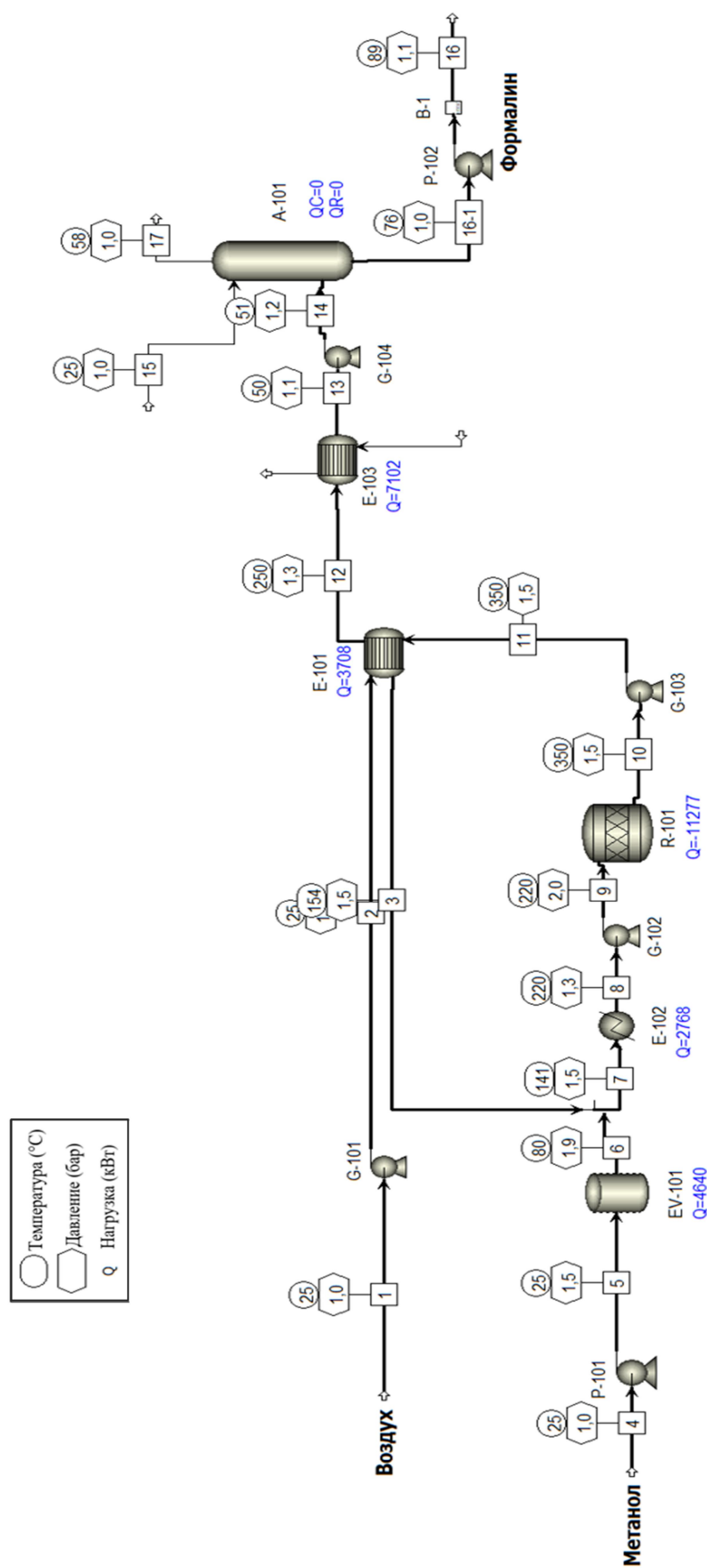


Рис. 2. Технологическая схема производства формалина в Aspen Plus: 1 – свежий поток воздуха; 2 – поток воздуха после газодувки; 3 – поток воздуха, нагретый реакционной смесью в рекуперативном теплообменнике; 4 – свежий метанол; 5 – поток метанола в испаритель; 6 – газообразный метанол; 7 – метаноло-воздушная смесь; 8 – нагретый поток метаноло-воздушной смеси; 9 – поток метаноло-воздушной смеси в реактор; 10 – реакционная смесь в газодувку; 11 – реакционная смесь в рекуперативном теплообменнике; 12 – охлажденная в рекуперативном теплообменнике реакционная смесь в холодильник; 13 – охлажденная реакционная смесь в газодувку; 14 – охлажденная реакционная смесь на абсорбцию; 15 – вода на абсорбер; 16, 16-1 – формалин из абсорбера; 17 – отходящие газы из абсорбера

Fig. 2. Technological scheme of formalin production in Aspen Plus: 1 – fresh air flow; 2 – air flow after gas blowing; 3 – the air flow heated by the reaction mixture in the regenerative heat exchanger; 4 – fresh methanol; 5 – the flow of methanol into the evaporator; 6 – gaseous methanol; 7 – methanol-air mixture; 8 – heated flow of the methanol-air mixture into the reactor; 10 – reaction mixture into the blower; 11 – reaction mixture in a regenerative heat exchanger in a refrigerator; 13 – cooled reaction mixture to the blower; 14 – cooled reaction mixture for absorption; 15 – water to the absorber; 16, 16-1 – formalin from the absorber; 17 – exhaust gases from the absorber

Метанол подается насосом Р-101 в испаритель EV-101, где он переходит в паровую фазу, воздух – газодувкой G-101, обеспечивающей необходимое давление в системе, газовые потоки метанола и воздуха смешиваются и нагреваются в теплообменнике E-101.

Реактор синтеза формальдегида R-101 представлен блоком RStoic – стехиометрическим реактором, учитывающим конверсию по каждой заданной реакции и рассчитывающим селективность и теплоты протекающих реакций (рис. 3).

Reactions							
	Rxn No.	Specification type	Molar extent	Units	Fractional conversion	Fractional Conversion of Component	Stoichiometry
▶	1	<i>Frac. conversion</i>		kmol/hr	0,98	CH3OH	2 CH3OH + O2 --> 2 CH2O(MIXED) + 2 H2O(MIXED)
▶	2	<i>Frac. conversion</i>		kmol/hr	0,005	CH2O	CH2O + 0,5 O2 --> CH2O2(MIXED)
▶	3	<i>Frac. conversion</i>		kmol/hr	0,005	CH2O	CH2O + 0,5 O2 --> CO(MIXED) + H2O(MIXED)

Рис. 3. Окно настройки реакций в блоке R-101

Fig. 3. Reaction setup window in the R-101 block

Степень превращения метанола по целевой реакции принималась, равной 0,98, что соответствует промышленным показателям по ЖМК. Для побочных реакций задавались степени превращения 0,005, что позволило учесть образование побочных продуктов без избыточного усложнения модели.

После реактора синтеза газовый поток сначала направляется в систему теплообменников (E-102, E-103), где происходит охлаждение смеси, а затем подается в абсорбционную колонну A-101. В качестве абсорбента используется вода, расход которой подбирается в соответствии с заданной концентрацией формальдегида. Из верхней части колонны отводятся инертные газы, из нижней – целевой продукт – формалин. Внутри колонны задана рав-

новесная реакция образования метиленгликоля. Для обеспечения корректного покомпонентного учета при составлении материального баланса в расчетную схему введен блок В-1, в котором метиленгликоль приводится к эквивалентной смеси формальдегида и воды.

Материальный баланс и тепловые нагрузки установки

Материальный баланс рассчитывался по всем исходным веществам и продуктам процесса: метанолу, формальдегиду, воде, кислороду, оксиду углерода и диоксиду углерода. Входными потоками установки являются метанол и воздух, в качестве абсорбента используется вода (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Материальный баланс установки

The material balance of the plant

Потоки Состав	1	4	15	16	17
	Воздух	Метанол	Вода на абсорбер	Формалин	Отходящие газы
CH ₃ OH	–	12 560,53	–	19,01	232,20
O ₂	23 707,27	–	–	4,76	17 494,87
CH ₂ O	–	–	–	11 311,10	2,18
H ₂ O	–	–	15 062,23	9 222,87	12 730,61
CO	–	–	–	0,01	53,53
HCOOH	–	–	–	33,47	54,94
Метиленгликоль	–	–	–	–	170,49
Σ вход, кг/ч	51 330,03			–	
Σ выход, кг/ч	–			51 330,03	

На основании материального баланса определены удельные показатели установки:

- удельный расход метанола – 0,610 т/т 55 % формалина;
- удельный расход воды на абсорбцию – 0,731 т/т продукта;

– удельный расход воздуха – 4,94 т/т продукта.

В результате расчета материального баланса получен концентрированный раствор формальдегида (табл. 2). Качество целевого продукта принято в соответствии с требованиями ТУ 2417-041-00203803-2016 [11].

Таблица 2

Table 2

Состав 55 % раствора формалина

Composition of 55% formalin solution

Компонент	Массовая доля, %
CH ₃ OH	0,321
CH ₂ O	54,908
H ₂ O	44,771

Тепловые нагрузки аппаратов установки приведены в табл. 3 и определены по результатам моделирования на основе рассчитанных значений тепловых потоков.

Таблица 3

Table 3

Тепловые нагрузки аппаратов

Thermal loads of the devices

Аппарат	Тип	Q, кВт	Знак	Характер теплового эффекта
EV-101	Испаритель	4 640	+	Подвод тепла (нагрев потока)
E-101	Теплообменник с рекуперацией тепла	7 101	-/+	Нагрев потока воздуха потоком, выходящим из реактора
E-102	Теплообменник	2 768	+	Подвод тепла (нагрев потока)
E-103	Теплообменник	7 101	-	Отвод тепла в охлаждающую среду
R-101	Реактор	11 277	-	Отвод тепла (экзотермическая реакция, требуется охлаждение/съем тепла)

Подвод тепла осуществляется в испарителе EV-101 и теплообменнике E-102 для обеспечения требуемых температурных параметров сырьевых потоков. В реакторе R-101 реализуется экзотермическая реакция окисления метанола, сопровождающаяся выделением 11,28 МВт тепла, что требует организованного теплоотвода. Частичная рекуперация тепла реакционного потока осуществляется в теплообменнике E-101, где тепло горячего газа используется для нагрева воздушного потока. Дополнительный отвод тепла производится в теплообменнике E-103.

Заключение

Разработана комплексная модель промышленной установки получения 55 % раствора формалина производительностью 180 000 т/год, обеспечивающая воспроизведение основных стадий процес-

са. Выбор термодинамических моделей для различных участков схемы обоснован необходимостью в корректном описании фазового равновесия. Выполнен расчет материального баланса, определены удельные расходы сырья и абсорбента, необходимые для достижения требуемой концентрации продукта. Установлено, что основной вклад в тепловую нагрузку вносит реакционный узел и на стадии последующего охлаждения газа перед абсорбцией. Полученные данные позволяют оценить потенциал энергопотребления установки. Разработанная модель может быть использована для подбора расходных коэффициентов сырья и абсорбента, оценки влияния технологических параметров на выход и энергетическую эффективность производства, а также результаты могут быть применены для дальнейшей оптимизации установок аналогичной мощности.

Список источников

1. Огородников С. К. Формальдегид. Л.: Химия, 1984. 280 с.
2. Franz A. W., Kronemayer H., Pfeiffer D., Pilz R. D., Reuss G., Disteldorf W., Gamer A. O., Hilt A. Formaldehyde // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2016. P. 1–34.
3. Formaldehyde Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, Regional Insights and Forecast to 2033. URL: <https://www.marketreportsworld.com/market-reports/formaldehyde-market> (дата обращения: 21.12.2025).
4. Formaldehyde Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025 – 2031). URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/formaldehyde-market> (дата обращения: 21.12.2025).
5. Mahdi H. I., Ramlee N. N., Santos D. H. da S., Gianakoudakis D. A., Oliveira L. H. de, Selvasembian R., Azelee N. I. W., Bazargan A., Meili L. Formaldehyde production using methanol and heterogeneous solid catalysts: a comprehensive review // Molecular Catalysis. 2023. Vol. 537. P. 112944.
6. Shishanov M. V., Luchkin M. S. Optimizing the Chamber Temperature in Coke Batteries by Modeling // Coke and Chemistry. 2023, Vol. 66, N. 10. P. 496–503.

7. Налегов А. Ю., Налётов В. А., Шишанов М. В. Оптимальная организация технологической схемы производства кокса на основе информационно-термодинамического принципа. 2. Уменьшение выбросов оксидов азота и когенерация в схеме обогрева кокса потоком газа с рециркуляцией // Кокс и химия. 2012. N. 10. С. 30–37.

8. Третья установка формалина введена в строй на губахинском «Метафраксе». URL: <https://www.metafrax.ru/article/treta-ustanovka-formalina-vvedena-v-stroj-na-gubahinskom-metafrakse> (дата обращения: 28.01.2026).

9. Reuss G., Disteldorf W., Gamer A. O., Hilt A. Formaldehyde // *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. 2015. Vol. 66. P. 735–768. DOI 10.1002/14356007.a11_619.

10. Peng D., Robinson D. A New Two-Constant Equation of State // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1976. Vol. 15, N. 1. P. 59–64.

11. ТУ 2417-041-00203803-2016. Формалин концентрированный малометанольный. Технические условия. Губаха: Метафракс Кемикалс, 2016. 2 с.

References

1. Ogorodnikov S. K. *Formal'degid* [Formaldehyde]. L., Khimiya Publ., 1984. 280 p.

2. Franz A. W., Kronemayer H., Pfeiffer D., Pilz R. D., Reuss G., Disteldorf W., Gamer A. O., Hilt A. Formaldehyde. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2016, pp. 1-34.

3. *Formaldehyde Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, Regional Insights and Forecast to 2033*. Available at: <https://www.marketreportsworld.com/market-reports/formaldehyde-market> (accessed: 21.12.2025).

4. *Formaldehyde Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2025 – 2031)*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/formaldehyde-market> (accessed: 21.12.2025).

5. Mahdi H. I., Ramplee N. N., Santos D. H. da S., Gianakoudakis D. A., Oliveira L. H. de, Selvasembian R., Azelee N. I. W., Bazargan A., Meili L. Formaldehyde production using methanol and heterogeneous solid catalysts: a comprehensive review. *Molecular Catalysis*, 2023, vol. 537, p. 112944.

6. Shishanov M. V., Luchkin M. S. Optimizing the Chamber Temperature in Coke Batteries by Modeling. *Coke and Chemistry*, 2023, vol. 66, no. 10, pp. 496-503.

7. Nalyotov A. Yu., Nalyotov V. A., Shishanov M. V. Optimal'naya organizaciya tekhnologicheskoy skhemy proizvodstva

koksa na osnove informacionno-termodinamicheskogo principa. 2. Umen'shenie vybrosov oksidov azota i kogeneraciya v skheme obogreva koksa potokom gaza s recirkulyaciej [Optimal organization of the technological scheme of coke production based on the information-thermodynamic principle. 2. Reduction of nitrogen oxide emissions and cogeneration in the coke oven heating scheme by gas flow with recirculation]. *Koks i khimiya*, 2012, no. 10, pp. 30-37.

8. *Tret'ya ustanovka formalina vvedena v stroj na gubakhinskom «MetafraksE»* [The third formalin plant has been commissioned at the Gubakha Metafrax]. Available at: <https://www.metafrax.ru/article/treta-ustanovka-formalina-vvedena-v-stroj-na-gubahinskom-metafrakse> (accessed: 28.01.2026).

9. Reuss G., Disteldorf W., Gamer A. O., Hilt A. Formaldehyde. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, 2015, vol. 66, pp. 735-768. DOI 10.1002/14356007.a11_619.

10. Peng D., Robinson D. A New Two-Constant Equation of State. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1976, vol. 15, no. 1, pp. 59-64.

11. ТУ 2417-041-00203803-2016. *Formalin koncentrirovannyj malometanol'nyj. Tekhnicheskie usloviya* [Concentrated low-methanol formalin. Technical specifications]. Gubakha, Metafraks Kemikals, 2016. 2 p.

Статья поступила в редакцию 23.01.2026; одобрена после рецензирования 26.02.2026; принята к публикации 05.03.2026
The article was submitted 23.01.2026; approved after reviewing 26.02.2026; accepted for publication 05.03.2026

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Валентинович Шишанов – кандидат технических наук; заведующий кафедрой химической технологии природных энергоносителей и углеродных материалов; Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева; shishanov.m.v@muctr.ru

Mikhail V. Shishanov – Candidate of Technical Sciences; Head of the Department of Chemical Technology of Natural Energy Carriers and Carbon Materials; Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; shishanov.m.v@muctr.ru

Ольга Сергеевна Алемасова – магистрант передовой инженерной школы химического инжиниринга и машиностроения; Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева; alemasovaos@gmail.com

Olga S. Alemasova – Master's Course Student of the Advanced Engineering School of Chemical Engineering and Mechanical Engineering; Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia; alemasovaos@gmail.com

