

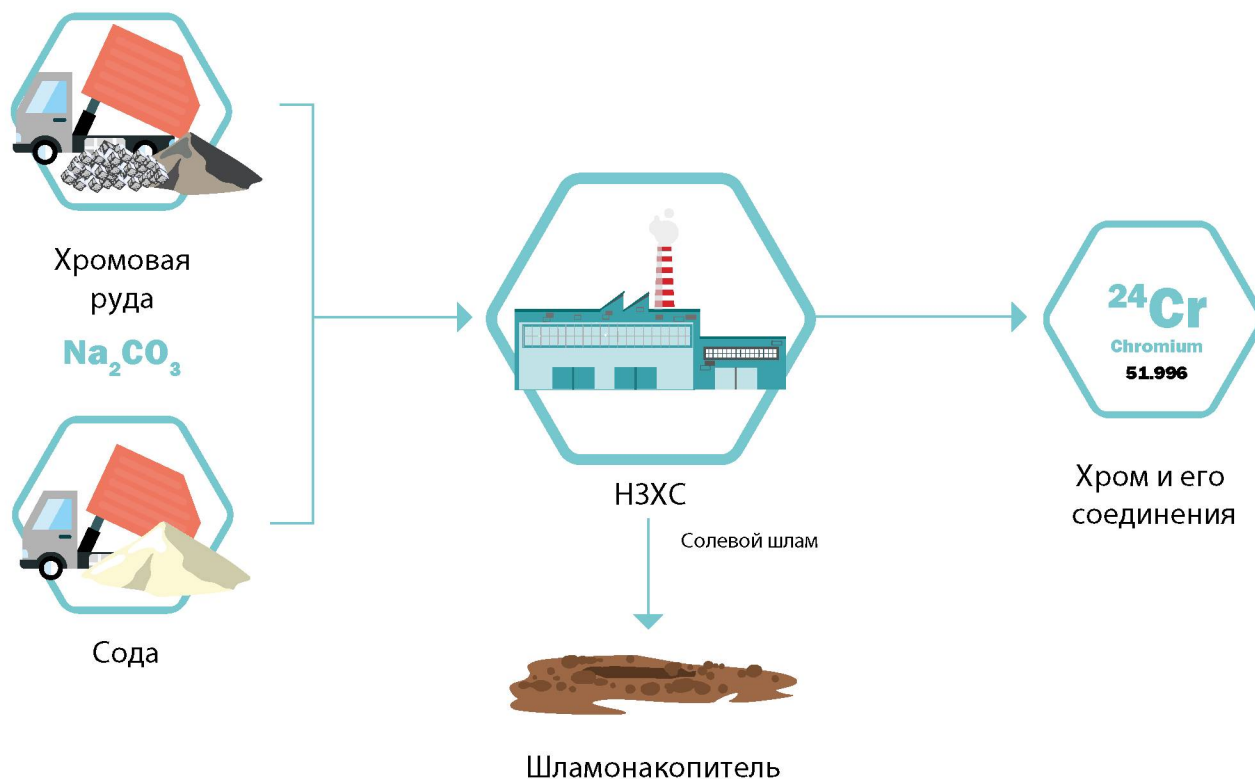
Новотроицкий завод хромовых соединений уже более 50 лет реализует полный цикл производства хрома: от переработки руды до получения чистого металла. Ключевым этапом производственной цепочки является получение монохромата натрия, поскольку его раствор — основа широкой линейки хромосодержащих товарных продуктов.

При переработке хромовых руд в производстве хромовых соединений в качестве отходов

образуется шлам солей натрия. Основная часть шлама подлежала захоронению в шламонакопителе, так как еще несколько лет назад в России не были распространены технологии переработки таких отходов.

В 2014 году завод провел масштабную модернизацию производства, что стало основой промышленного узла в г. Новотроицке. Предприятия различных отраслей, выпускающие известь, гипс

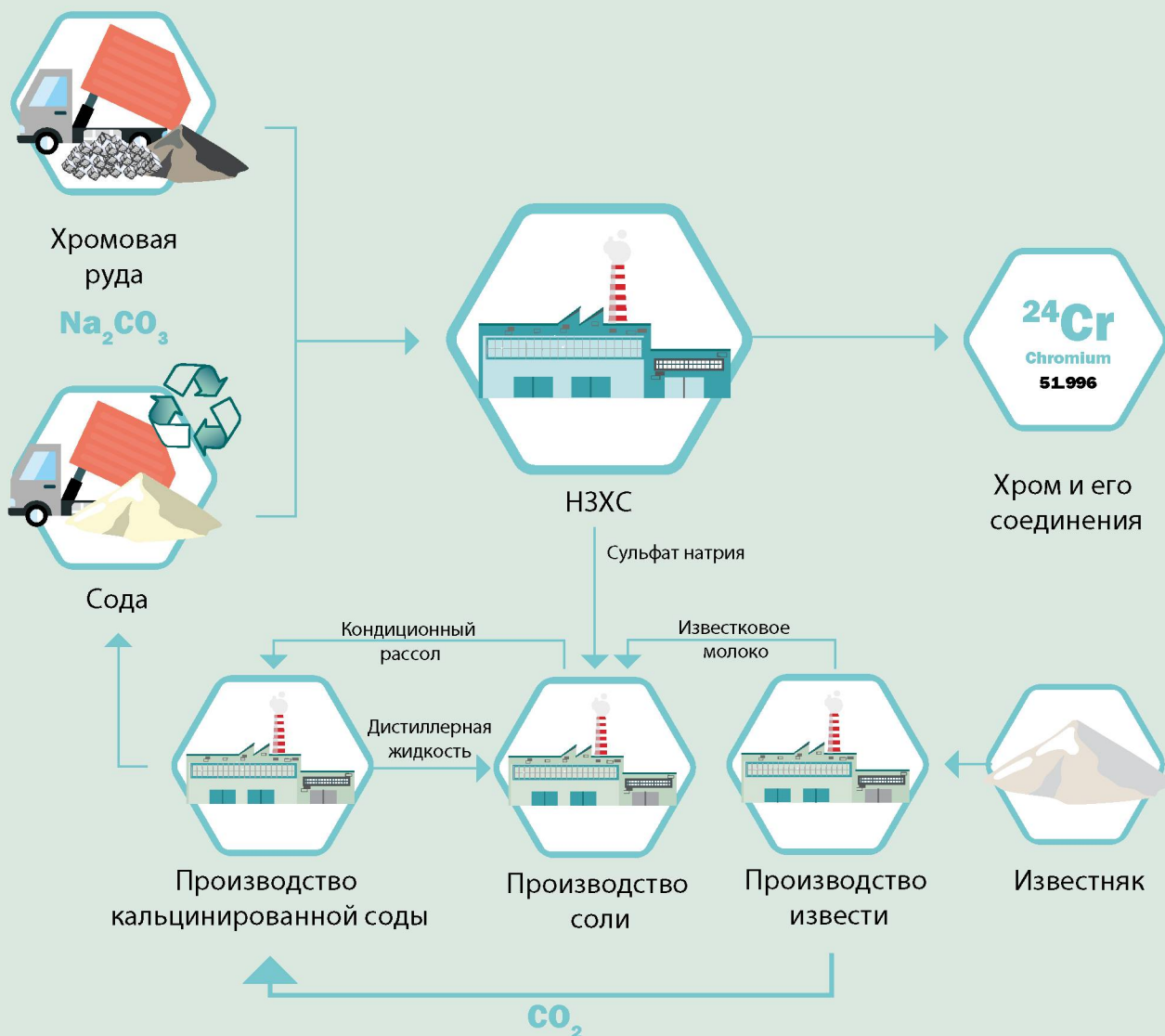
## 2014



и кальцинированную соду, стали компонентами единой промышленно-экологической системы. Новотроицкий завод хромовых соединений выступает теперь в качестве поставщика сырья (сульфата натрия) и основного потребителя готовой продукции — кальцинированной соды, производство которой организовано на вновь созданном содовом заводе.

Таким образом, стратегическое планирование и организация различных производств с вовлечением вторичных ресурсов в экономический оборот, исключением образования новых отходов позволяют не только реализовывать принципы экономики замкнутого цикла, но и одновременно снижать негативное воздействие на окружающую среду.

## 2019



УДК 504.03

# ФОРМИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО СИМБИОЗА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ



### **А. С. Епифанцев**

АО «Новотроицкий завод  
хромовых соединений»

### **Е. М. Аверочкин**

главный научный сотрудник  
научно-консультационного  
отдела ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»,  
к. т. н.

### **А. А. Фирер**

доцент, Российский химико-  
технологический университет  
имени Д.И. Менделеева,  
к. х. н.

### **К. А. Щелчков**

заместитель начальника  
научно-консультационного  
отдела ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

#### **По материалам статьи:**

*Петросян В. и др. Опыт создания промышленного симбиоза предприятий химической промышленности // Экология и промышленность России. 2021;25(8):28-33.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Формирование экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ), часто называемой циклической, становится в настоящее время характерной чертой экологической промышленной политики в индустриально развитых странах.

В промышленных симбиозах функционируют и взаимодействуют между собой предприятия разных отраслей промышленности, представленные как компоненты единой промышленно-экологической (технико-экономической) системы [2, 3–7]. Принципы ЭЗЦ начинают получать отражение и в технологическом регулировании негативного

воздействия на окружающую среду (НВОС), основанном на концепции наилучших доступных технологий (НДТ).

Целью данной работы является анализ эколого-технологических решений формирования промышленного симбиоза химических предприятий, основанных на принципах ЭЗЦ, одновременно с учетом рекомендаций НДТ как совокупности технологических, технических и управленческих решений, направленных на обеспечение высокой ресурсной и экологической эффективности производства.

## Характеристика существующего промышленного узла

Расположенный в г. Новотроицке Оренбургской области Новотроицкий завод хромовых соединений (НЗХС) уже более 50 лет реализует полный цикл производства хрома: от переработки руды до получения чистого металла. Ключевым этапом производственной цепочки является получение монокромата натрия, поскольку его раствор — основа широкой линейки хромсодержащих товарных продуктов: бихромата натрия, оксида хрома, ангидрида хромовой кислоты, пигментов. Укрупненно производственный процесс состоит из следующих этапов:

- ▶ подготовка природного ресурса (доломит и хромовая руда), сушка, классификация и измельчение;
- ▶ составление шихты (с добавлением кальцинированной соды);
- ▶ окислительная прокалка;
- ▶ выщелачивание;
- ▶ отделение монокромата натрия от шлама.

При переработке хромовых руд в производстве хромовых соединений в качестве отходов образуется шлам солей натрия; на НЗХС удельное количество отходов составляло 2,5 т шлама на 1 т монокромата натрия. Основная часть шлама подлежала захоронению в шламонакопителе (рис. 1), поскольку еще несколько лет назад в РФ не существовало технологий переработки таких отходов, реализованных в промышленных масштабах.

В 2014 г. АО «НЗХС» провело масштабную модернизацию производства, перейдя на бездоломитную технологию получения монокромата натрия,

которая подразумевает отказ от инертного наполнителя за счет повторного использования нерудного остатка. Реализованные технологические решения позволили повысить энергоэффективность производства, исключив потребление энергии на сушку и дробление доломита, и ресурсоэффективность — за счет отсутствия необходимости использования в производстве кальцийсодержащих полезных ископаемых доломита и известняка (до 160 тысяч т/год) и повышения степени извлечения хрома из руды. Удельное количество образующихся отходов снизилось при этом до 1,1 т шлама на 1 т монокромата натрия [8].



РИС. 1. Карта-схема расположения предприятий и шламонакопителя в г. Новотроицке

Следующим этапом развития промышленного узла стало создание (проектирование и запуск) ООО «Новотроицкий содовый завод» (ООО «НСЗ») с целью обеспечения производства хромовых соединений АО «НЗХС» кальцинированной содой — основным компонентом шихты в процессе производства монохромата натрия, а также комплексной переработки сульфата натрия — сопутствующего продукта производства хромовых соединений, спрос на который снижается.

Последовательность проектирования технологий промышленного узла представлена на рис. 2.

Производство кальцинированной соды — одно из хорошо развитых направлений российской промышленности. Масштабы производства различных видов соды в РФ непрерывно растут; по данным Федеральной службы государственной статистики, в 2019 г. в стране было выпущено 3,32 млн т кальцинированной соды [9].

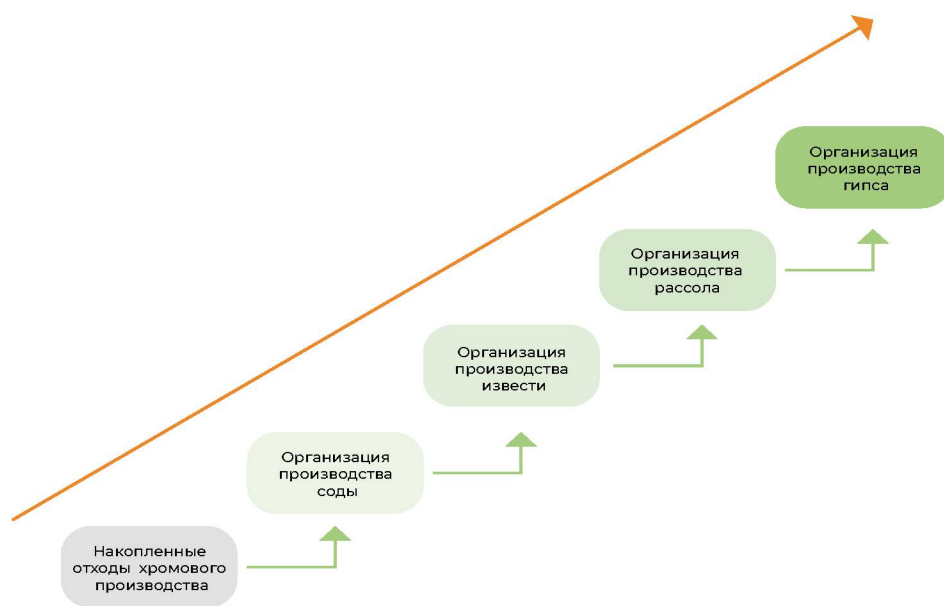


РИС. 2. Этапы проектирования и создания Новотроицкого промышленного узла

## Внедрение модернизированной технологии производства кальцинированной соды

Традиционный способ производства выпускаемой в России кальцинированной соды — аммиачный метод (метод Сольве), основанный на образовании малорастворимого в воде гидрокарбоната натрия  $\text{NaHCO}_3$  путем растворения аммиака в очищенном растворе хлорида натрия, насыщенном

диоксидом углерода. Главные недостатки данного способа — низкая эффективность использования исходного ресурса (1,6 т хлорида натрия на 1 т кальцинированной соды [10]) и образование в значительных количествах шлама содового производства при отстаивании дистиллерной

жидкости в отстойниках-шламонакопителях. На двух действующих в РФ предприятиях по производству соды аммиачным способом накоплено более 50 млн т шлама, основным компонентом которого является хлорид кальция [11]. Однако на ООО «НСЗ» реализована модернизированная технология производства кальцинированной соды (100 тыс. т/год в пересчете на 100%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), которая использует сопутствующие продукты производства хромовых соединений в качестве вторичных материальных ресурсов в промышленном производстве, что является одним из базовых принципов ЭЗЦ. Еще одна особенность данной технологии состоит в том, что раствор гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в блоке производства рассола не используется.

Блок-схема модернизированной технологии производства кальцинированной соды представлена на рис. 3.

Рассмотрим технологические процессы, реализованные на площадке ООО «НСЗ», с точки зрения ресурсной и экологической эффективности производства.

В качестве ресурса для получения кальцинированной соды применяют кондиционный рассол, известь и диоксид углерода. Кондиционный рассол получают в отделении производства рассола, а известь и диоксид углерода — в производстве извести. Дистиллерная жидкость, образующаяся после регенерации аммиака, и недопал от гашения извести рассматриваются не как отходы, но как

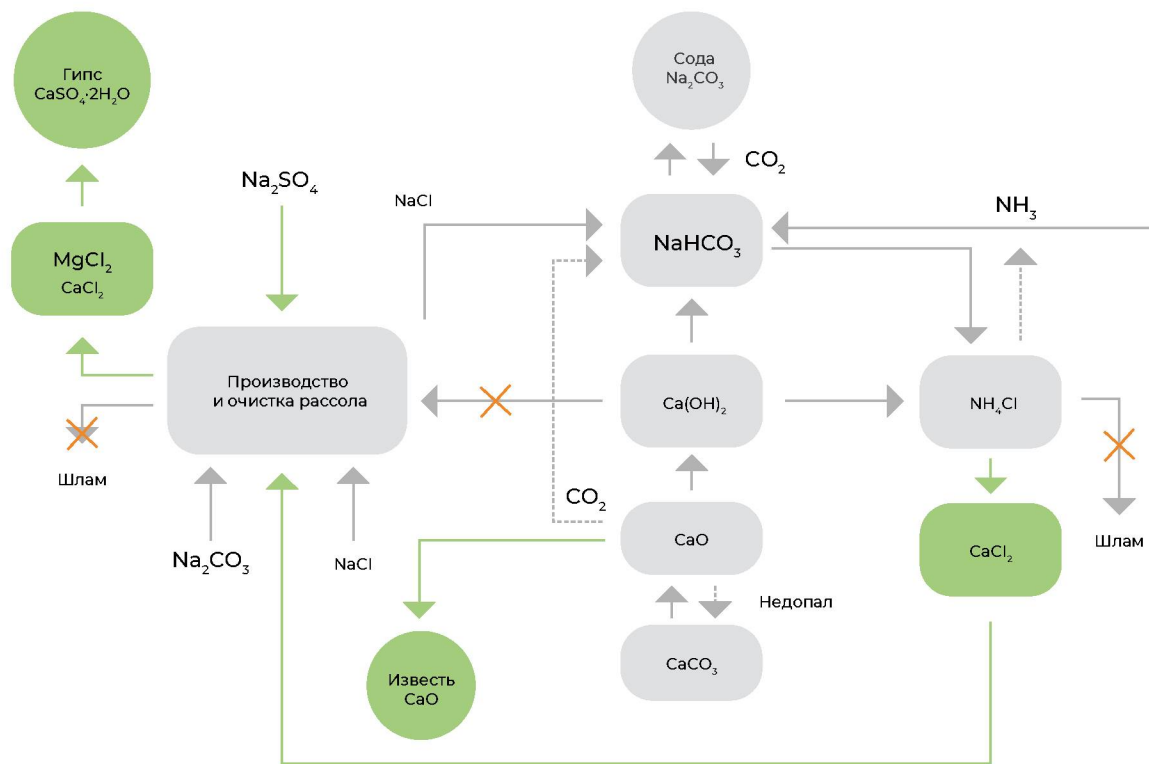


РИС. 3. Блок-схема модернизированного производства кальцинированной соды

ВМР, и используются для получения кондиционного рассола и гипса соответственно. Дистиллерная жидкость представляет собой суспензию, содержащую хлориды кальция  $\text{CaCl}_2$  и натрия  $\text{NaCl}$ . Вместе с суспензией шлама после очистки промывных вод производства извести дистиллерная жидкость направляется на переработку в отделение производства рассола. Тем самым образование не утилизируемых твердых и жидких отходов в рассматриваемых процессах исключено.

Производство рассола предназначено для получения концентрированного рассола хлорида натрия, необходимого для получения кальцинированной соды, и двухводного сульфата кальция, используемого в производстве полуводного гипса (алебастра).

Схема материальных потоков в промышленном симбиозе представлена на рис. 4.

При получении извести в печах обжига образуется готовый продукт (известь), часть которого после гашения используется при производстве кальцинированной соды на стадии регенерации аммиака, при этом выделившийся в результате реакции диоксид углерода не выбрасывается в атмосферу, а полностью возвращается в производство кальцинированной соды. Таким образом, производя более 100 тыс. т извести в год, ООО «НЗС» дополнительно улавливает более 60 тыс. т  $\text{CO}_2$  [12]. Отметим, что металлургическая и химическая промышленность, а также производство высокотемпературных материалов ответственны за 60% промышленных

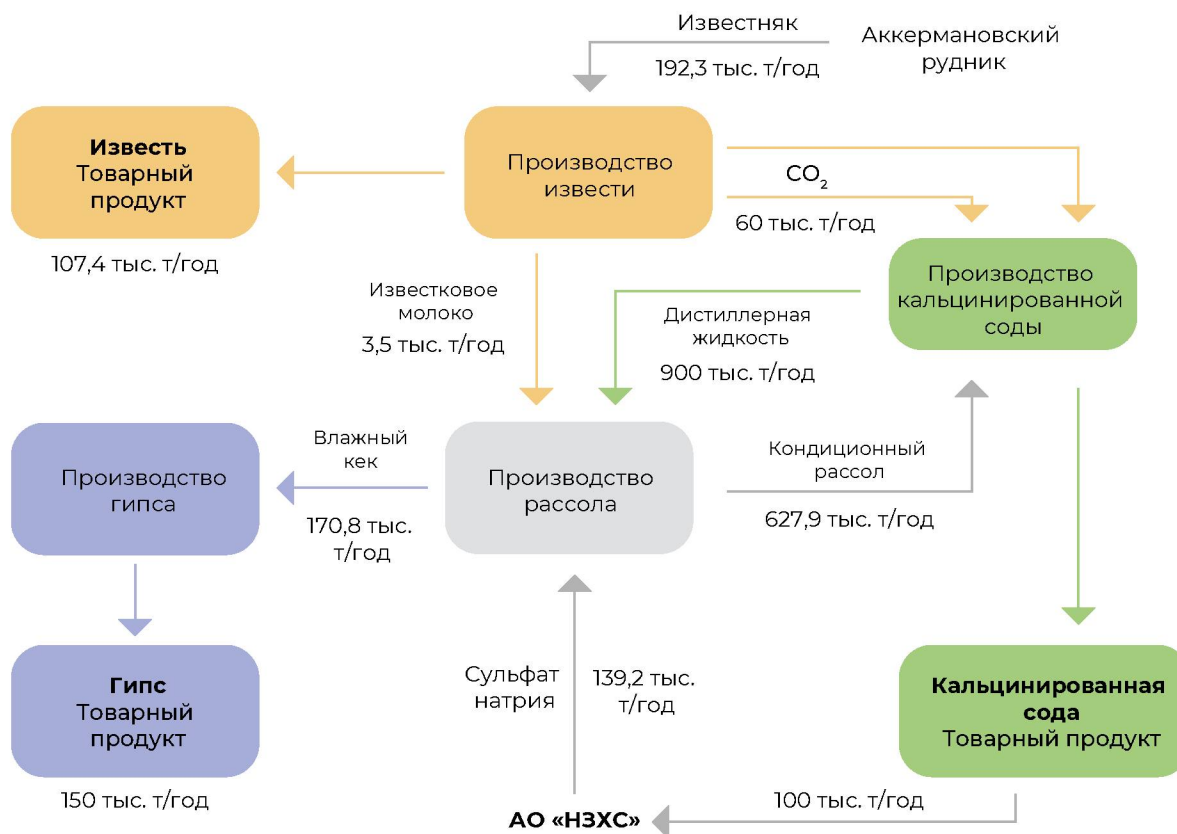


РИС. 4. Схема материальных потоков Новотроицкого промышленного узла



выбросов парниковых газов [13]. В настоящее время в России принимаются законодательные и нормативные правовые акты, ограничивающие такие выбросы [14]. При этом предприятия уже отчитываются за выбросы парниковых газов в тех случаях, когда они превышают 150 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. в год. Ожидается, что в 2023–2024 гг. этот показатель будет снижен до 50 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. в год.

Сравнивая традиционное производство и схему получения кальцинированной соды ООО «НСЗ»,

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере промышленного узла в г. Новотроицке показана возможность объединения предприятий различных отраслей, реализующих химико-технологические процессы производства высокотемпературных материалов (известь, гипс) и твердых неорганических веществ (сода кальцинированная) как компонентов единой промышленно-экологической системы. Новотроицкий завод хромовых соединений выступает в качестве поставщика сырья (сульфата натрия) и основного потребителя готовой продукции — кальцинированной соды, производство которой организовано на Новотроицком содовом заводе, находящемся в непосредственной близости от НЗХС.

Стратегическое планирование и организация различных производств с вовлечением накопленных отходов в хозяйственный оборот как ВМР, с эффективным использованием ресурсов и материалов, отсутствием образования новых отходов позволяют

следует отметить, что применяемое на Новотроицком предприятии технологическое решение позволяет принимать при производстве гипса и соды вторичные ресурсы стороннего предприятия, расположенного на той же промышленной площадке (промышленный симбиоз), снижать эмиссии парниковых газов, направляя выделяющийся при производстве извести диоксид углерода на производство основной продукции, и фактически исключить образование промышленных отходов производства соды.

не только реализовывать принципы ЭЗЦ, но и одновременно снижать негативное воздействие на окружающую среду, что благоприятно скажется на экологической обстановке в промышленно нагруженном г. Новотроицке.

Подобные успешные примеры подтверждают возможность переориентации российской экономики от линейной модели потребления ресурсов к модели замкнутого цикла. Полученные результаты заслуживают широкого распространения, а опыт организации производства ООО «НСЗ» — тиражирования, в том числе при поддержке формируемой в Российской Федерации системы «зеленого» финансирования [15]. Принципы проектирования промышленных симбиозов, несомненно, должны быть учтены при актуализации отраслевых и межотраслевых справочников по наилучшим доступным технологиям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Neves A., Godina R., Azevedo S. G., Pimentel C., Matias J. C. O. *The Potential of Industrial Symbiosis: Main Drivers and Barriers to Its Implementation // Sustainability*. 2019. Vol. 11. Pp. 7095. DOI:10.3390/su11247095.
2. Fraccascia L., Yazdanpanah V., Van Capelleveen G., Yazan D. M. *Energy-based industrial symbiosis: a literature review for circular energy transition // Environment, Development and Sustainability*. 2021. Vol. 23. Pp. 4791–4825 (2021). DOI: 10.1007/s10668-020-00840-9.
3. Guo B., Geng Y., Sterr T., Dong L., Liu Y. *Evaluation of promoting industrial symbiosis in a chemical industrial park: A case of Midong // Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 135. Pp. 995–1008. DOI:10.1016/j.jclepro.2016.07.006.
4. Скобелев Д. О. Ресурсная эффективность экономики: аспекты стратегического планирования // *Менеджмент в России и за рубежом*. 2020. № 4. С. 37–42.
5. Албегова А. В., Гонопольский А. М., Марьев В. А., Петухова И. Ю. Анализ проблем управления российской системой обращения с отходами производства и потребления // *Теоретическая и прикладная экология*. 2015. № 2. С. 47–55.
6. Преображенский Б. Г., Толстых Т. О., Шмелева Н. В. *Промышленный симбиоз как инструмент циркулярной экономики // Экология и промышленность России*. 2020. № 4(51). С. 37–48.
7. Черчинцев В. Д., Нефедова Е. В., Козлов А. С. Экологические аспекты внедрения ресурсосберегающей бездоломитной технологии производства монокромата натрия на Новотроицком заводе хромовых соединений // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2016. Т. 14. № 1. С. 124–129. DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-1-124-129.
8. Информация о социально-экономическом положении России // Федеральная служба государственной статистики. 2020. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/6WHhWc1N/oper-12-2020.pdf> (дата обращения — 04.06.2021).
9. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 19-2020. Производство твердых и других неорганических химических веществ. URL: [http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=815&etkstructure\\_id=1872](http://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=815&etkstructure_id=1872) (дата обращения — 04.06.2021).
10. Калинина Е. В., Глушанкова И. С., Рудакова Л. В. Модификация шламов содового производства для получения нефтяных сорбентов // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 2. С. 79–86. DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-079-086.
11. Bonfim-Rocha L., Silva A. B., Faria S. H. B., Vieira M. F., de Souza M. *Production of Sodium Bicarbonate from CO<sub>2</sub> Reuse Processes: A Brief Review // International Journal of Chemical Reactor Engineering*. October 2019. DOI: 10.1515/ijcre-2018-0318.
12. Башмаков И. А. Повышение энергоэффективности и экономического роста // *Вопросы экономики*. 2019. № 10. С. 32–63.
13. Широков А. А., Колпаков А. Ю. Экономика России и механизмы глобального климатического регулирования // *Журнал новой экономической ассоциации*. 2016. № 4. С. 87–110. DOI:10.31737/2221-2264-2016-32-4-4.
14. Скобелев Д. О., Волосатова А. А. Разработка научного обоснования системы критериев «зеленого» финансирования проектов, направленных на технологическое обновление российской промышленности // *Экономика устойчивого развития*. 2021. № 1(45). С. 181–188.