

УДК 504.064.4.

Г. И. ГРИНЬ, П. В. КУЗНЕЦОВ, О. Н. ФИЛЕНКО, С. А. ГРИНЬ**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ФИКСАЦИИ АТМОСФЕРНОГО АЗОТА**

Розглянуто важливий метод для хімічної промисловості, метод фіксації атмосферного азоту через аміак і вказана його не енергоємність. Показано, що застосування при цьому вуглеводневої сировини тягне необґрунтоване використання ресурсів в сучасних умовах, а також дає додаткове техногенне навантаження на навколишнє середовище. У зв'язку з цим, були розглянуті і запропоновані більш сучасні способи фіксації азоту повітря на основі генної інженерії, розвитку біології і мікробіології. Доведено, що ці багатообіцяючі методи фіксації азоту необхідні для потреб землеробства, в результаті чого, будуть створені такі умови, коли вищі рослини зможуть самі засвоювати для свого харчування азот повітря і буде фіксація молекулярного азоту. Це призведе до підвищення врожаю і заміні мінеральних азотовмісних добрив на біологічно зв'язаний азот, що збільшить кількість харчових ресурсів і знизить їх дефіцит у сучасному світі.

Ключеві слова: фіксація, азот, аміак, енергоресурси, генетика, біологія, мікробіологія.

Рассмотрен важный метод для химической промышленности, метод фиксации атмосферного азота через аммиак и указана его не энергоёмность. Показано, что применяемое при этом углеводородное сырьё влечет необоснованное использование ресурсов в современных условиях, а также даёт дополнительную техногенную нагрузку на окружающую среду. В связи с этим, были рассмотрены и предложены более современные способы фиксации азота воздуха на основе генной инженерии, развития биологии и микробиологии. Доказано, что эти многообещающие методы фиксации азота необходимы для нужд земледелия, в результате чего, будут созданы такие условия, когда высшие растения смогут сами усваивать для своего питания азот воздуха и будет фиксация молекулярного азота. Это приведёт к повышению урожая и замене минеральных азотсодержащих удобрений на биологически связанный азот, это увеличит количество пищевых ресурсов и снизит их дефицит в современном мире.

Ключевые слова: фиксация, азот, аммиак, энергоресурсы, генетика, биология, микробиология.

Considered an important method for the chemical industry, the method of fixation of atmospheric nitrogen by ammonia and it is not specified power consumption. It is shown that employed in the hydrocarbon feedstock for a long time, involves unwarranted use of resources in the current conditions, as well as provides additional human impacts on the environment. Considered scientific solution to the problem of atmospheric nitrogen fixation, based on new principles. To those include: biological methods of nitrogen fixation, fixation atmospheric nitrogen by chemical, genetic engineers have in-bound nitrogen and microbiological on-board, or rather biochemical. In this regard, we proposed and considered more modern methods of fixing atmospheric nitrogen based on genetic engineering, developmental biology and microbiology. It is proved that these promising methods of nitrogen fixation are necessary for the needs of agriculture, as a result, conditions are created when higher plants will be able to assimilate themselves to their supply of air and nitrogen fixation is molecular nitrogen. This will lead to an increase in the harvest and replacement of mineral nitrogenous fertilizers on the biologically fixed nitrogen, it will increase the amount of food resources and reduce their deficit in the world today.

Keywords: fixation, nitrogen, ammonia, energy, genetics, biology, microbiology.

Введение. Экологический кризис и мощные источники техногенных эмиссий Украины представляют ощутимую глобальную опасность. Экономическое и социальное напряжение, региональные кризисы, беженцы, трансграничные переносы радионуклидов, кислотные оксиды, парниковые газы, дым от лесных пожаров, ядерные свалки и склады отравляющих веществ – все это стало крупным национальным «вкладом» во всемирное ухудшение экологической мировой обстановки. Несмотря на то, что Украина в настоящее время находится в условиях значительной экономической и социальной напряженности, что ей приходится решать беспрецедентные по сложности задачи в условиях военных и оборонительных действий, она все-таки должна нести ответственность за трансграничное загрязнение и нарушение квот на выбросы парниковых газов, когда они случаются.

Выполнение указанных требований за короткий срок кажется практически невозможным, так как много для этого социально-психологических, политических, экономических, этических, религиозных и

прочих препятствий. Но, продекларировав поворот к гражданскому обществу и обеспечению прав человека, необходимо параллельно с проблемами и обороны и безопасности страны, ставить экологические приоритеты, ведь хуже всего обстоит дело как раз с обеспечением права людей на безопасную среду жизни, на гарантированную защиту от техногенного загрязнения и поражения.

Анализ состояния вопроса. Самые важные потребности человека – пища, кислород, жилище, вода – как и тысячелетие тому назад удовлетворяются, в основном, продуктами живой природы. Весь экономический рост, уровень благосостояния людей, почти полностью обусловлен нарастанием использования надбиологических ресурсов, с огромным расширением эксплуатации ресурсов недр и именно на этой основе разрослась техносфера. По многим параметрам антропогенная нагрузка превысила предел устойчивости природных комплексов и экосферы в целом. Человечество вышло на один из самых важных рубежей в своей истории – необходима экологизация всего соци-

ально-экономического уклада и развития общества, переход от природохищнической, технократической парадигмы развития к экоразвитию, экологически ориентированного социально-экологического развития. Поэтому общество, заботясь о росте благосостояния каждого своего члена, должно качественно преобразовывать производство, чтобы не было ухудшения качества среды и угнетения природных систем, чтобы под угрозой не оказался природный базис жизнеобеспечения. Необходим переход на новую ступень материальной культуры, совместимой и сбалансированной с уже оскудевшим природным потенциалом планеты, необходима полная «перезагрузка» не только техники, но и методов и технологий производств, скорее технологических процессов, лежащих на грани живого и неживого [1].

Одним из источников вредных эмиссий являются технологии химической промышленности со всеми ее отраслями. Список твердых, жидких и газообразных отходов химической промышленности огромен и по массе загрязнителей, и по их токсичности. Технология производства азотной кислоты не составляет исключение, она разработана на основе синтетического аммиака, для которого необходимы водород и азот.

Производство аммиака отличается значительной энергоемкостью, связанной с собственно химическими превращениями исходного сырья в синтез-газ, а затем в аммиак и азотную кислоту. Рождение промышленности синтеза аммиака большую роль оказало и на увеличение выпуска азотных удобрений, применять которые требует сельское хозяйство для повышения урожайности и эффективности сельскохозяйственной продукции. Существует мощная промышленная фиксация атмосферного азота через синтез аммиака. Старая технология аммиачного синтеза, себя, в основном, исчерпала. И здесь для решений вставшей перед промышленностью и сельским хозяйством задачи не обойтись без понимания развития науки, техники, технологии. Необходимо искать принципиально новые направления в связывании атмосферного азота [2].

Цель работы. Целью данной работы было рассмотрение научных решений насущной проблемы фиксации атмосферного азота, исходя из новых принципов современных способов фиксации азота воздуха на основе геной инженерии, развития биологии и микробиологии.

Основная часть. Без связанного азота жизнь на Земле не возможна. В конце XIX века раздавались предупреждающие голоса ученых о том, что на человечество надвигается опасность азотного голода. Окруженная морем изобилия молекулярного азота воз-

духа, почва испытывала постоянный острый хронический дефицит. Земледелие не имело в своем распоряжении мощного возобновляемого источника связанного азота. Фиксация атмосферного азота в форме аммиака было блестящим открытием XX века, технология аммиачного синтеза стала эталоном научно-технического уровня химической промышленности, техническим совершенством. Однако этот процесс не является оптимальным с точки зрения получения дешевого связанного азота и, в частности, для сельского хозяйства в любой точке земного шара, где он необходим. И вновь наука начинает рассматривать свои возможности, чтобы решить эту проблему, исходя из новых принципов. Решения намечаются в разных направлениях, которые еще раз показывают, что, смотря в будущее, нельзя забывать о прошлом [2].

Победы новых методов фиксации азота диктуются экологией и экономикой: экономией энергии, материалов, а в конечном итоге, экономией рабочего времени, о чем свидетельствуют факты современного развития земледелия. За высокие урожаи нужно платить значительными затратами энергии. Так, на получение азотных удобрений расходуется до 30 % от всех энергозатрат в сельском хозяйстве [3].

В энергетическом плане производство связанного азота самое энергоемкое, так как в нем расходуется почти 85 % энергоресурсов, потребляемых в производстве удобрений в целом [4]. Такая ситуация сдерживает дальнейшее развитие современных, доведенных до высокого технического совершенства методов связывания атмосферного азота.

В природе элементарный азот реагирует уже при комнатной температуре с образованием аминокислот и белков в клубнях некоторых растений. Реакцию катализируют ферменты, а энергию, необходимую для протекания эндотермических процессов, обеспечивают фотосинтез (солнце). В промышленности, однако, фиксация азота протекает иначе: существует мощная промышленная фиксация азота через аммиак при высоких давлениях и температурах.

Несомненно, крупным научно-техническим шагом по фиксации атмосферного азота явилась бы промышленная реализация принципиальной схемы окисления азота с использованием атомной энергии. Эта задача тем более интересна, что ее подсказывает само развитие ядерной техники, предполагающей энергетически емкого потребителя. Открывается возможность организации мощного азотного производства вдали от источников органического топлива. В этом случае воздух, вода, атомная энергия или ее комбинация с органическим горючим могут стать источником плодородия для любой географической точки [5].

Биологические методы фиксации атмосферного азота.

Осуществление интенсивного земледелия приводит к поискам новых методов фиксации азота, связанных с затратами невозобновляемых источников энергии (уголь, нефть, природный газ, уран). Реконструкция биосферы протекает за счет использования солнечной энергии. Этот неисчерпаемый источник первичной энергии целесообразно применять и для фиксации атмосферного азота. Биологическое использование энергетических ресурсов солнца для связывания азота воздуха явилось бы новой научно-технической революцией в решении нужд земледелия. Сейчас стало ясным для всех, что биотехнология должна стать составной частью сельскохозяйственного производства; в ней заложен перспективный путь его снабжения связанным азотом. В сферу «биологизация» земледелия входит и выпуск бактериальных удобрений, которые обеспечивают фиксацию атмосферного азота, используя для этого солнечную энергию. В цепи важнейших биологических превращений, происходящих в природе под влиянием солнечной энергии, наряду с обогащением атмосферы кислородом в ходе фотосинтезирующей деятельности высших и низших зеленых растений должна занять биологическая фиксация атмосферного азота микроорганизмами [6].

Введение в севооборот таких азотфиксаторов, как многолетние бобовые (клевер, люцерна и т. д.), позволяет существенно увеличить урожай сельскохозяйственных культур, причем минеральные удобрения, вносимые в почву, создают при этом дополнительный эффект. Таким образом, биологическая фиксация азота дополняет химизацию земледелия в пользу урожая, и речь идет не об их противопоставлении, а о мобилизации дополнительных источников солнечной энергии для нужд сельского хозяйства. Биологическая ассимиляция молекулярного азота воздуха осуществляется только микроорганизмами – свободноживущими или симбиотическими, т. е. «работающими» в симбиозе с растениями (связывают азот воздуха также микроскопические сине-зеленые водоросли на рисовых полях). Это наиболее многообещающее направление решение проблемы фиксации азота для нужд земледелия: создание таких комплексных условий, когда высшие растения смогут сами, используя солнечное излучение, усваивать для своего питания азот воздуха. В этом случае неисчерпаемая энергия солнечного излучения, запасаемая в зеленых листьях растений, будет использоваться и для фиксации молекулярного азота. Такие методы, применяемые в широких масштабах, могут превратить растения не только в источник пищи, но и энергетических ресурсов. Потребление энер-

гетических средств в сельском хозяйстве резко бы снизилось [6].

Фиксация атмосферного азота химическим путем.

Связь между биохимией фиксации атмосферного азота и его физико-химическими свойствами удалось установить М. Е. Вольпину и В. Б. Шуру, которые исследовали реакции молекулярного азота в растворах с участием соединений переходных металлов и сильных восстановителей. После гидролиза получаемых продуктов реакций был выделен аммиак [7].

В настоящее время установлено, что главную роль в биологической фиксации азота играет фермент нитрогеназа. Он состоит из двух металлопротеидов-белков, содержащих молибден и железо или только железо. Для проявления активности нитрогеназы необходимо присутствие аденозинтрифосфорной кислоты – АТФ. Реакция восстановления катализируется нитрогеназой. Выделение фермента нитрогеназы, катализирующего биологическое восстановление азота до аммиака, определило непосредственный интерес к этой проблеме как к проблеме химической.

Изучение механизма биологической фиксации азота говорит о том, что активными центрами ферментов, катализирующих реакцию восстановления азота воздуха до аммиака, могут быть ионы молибдена, а в некоторых случаях – ионы ванадия [7]. М. Е. Вольпин и В. Б. Шур показали, что соединения переходных металлов способны в апротонных средах вводить молекулярный азот в реакции с сильными восстановителями, например, магнием, литием. Получающиеся при гидролизе продукты дают аммиак. Реакции указанного типа протекают через стадию образования комплексов азота с соединениями переходных металлов. Все рассмотренные химические процессы имеют много общего с биологической фиксацией молекулярного азота. Это объясняется тем, что в обоих случаях в активный центр системы входит переходной металл. Но задача была в том, чтобы осуществить эти процессы в протонной среде, например, в воде.

В результате многолетних исследований в Институте химической физики АН СССР удалось открыть двухъядерные нестабильные комплексы, способные восстанавливать азот воздуха до аммиака при нормальных условиях вне организма [8]. Чтобы промоделировать биологическую фиксацию азота, необходимо было получить аммиак в водном растворе. Реакция азота водой требует значительных затрат энергии. В природе бактерии или сине-зеленые водоросли с помощью фермента нитрогеназы используют для этого неисчерпаемые запасы солнечной энергии, которая поставляется в результате аэробного или ана-

эробного окисления растительных остатков, служащих пищей для азотфиксирующих бактерий. В химическом синтезе для этой цели необходимы сильные восстановители. Схему такого технологического процесса можно представить в следующем виде. При поступлении к азоту электронов в протонных электролитах, воде, он будет восстанавливаться до аммиака. Координация молекулярного азота должна происходить на электродах, содержащих активные центры. Если будет найден эффективный электрод для восстановления азота при атмосферном давлении, появится возможность получать аммиак на простых установках, непосредственно расположенных сельскохозяйственных местностях [8]. Для энергетического питания таких установок можно использовать энергию ветра, солнечное излучение или подключать непосредственно к общей энергетической системе, когда в ней имеется избыток электроэнергии.

За последние годы в ряде научно-исследовательских лабораторий СНГ, Европы и США проводят исследования по получению аммиака из азота воздуха с использованием компонентов молибдена, вольфрама, ванадия, железа [9]. Исследователи считают, что реакция фиксации молекулярного азота синтетическими соединениями, по существу, аналогична реакции фиксации азота энзимами при обычных температурах и давлениях. Были найдены условия, при которых азот воздуха при комнатной температуре реагирует с соединениями переходных металлов и при действии воды на полученные соединения образуется аммиак. Таким образом, установлены азотфиксирующие системы. Дело заключается в том, чтобы, исходя из возобновляемых источников энергии (солнце) или других источников дешевой энергии, эти системы работали с необходимым выходом аммиака [10].

Генетическая инженерия связанного азота.

Известно, что без участия микроорганизмов высшие растения молекулярный азот из атмосферного воздуха не усваивают: они получают его в виде неорганических солей из почвы или от симбиотических клубеньковых бактерий. Сейчас делаются попытки вывести растения с азотфиксирующими функциями. Для этого искусственно создают симбиотическое сообщество, в котором в качестве одного партнера используют протопласты высших растений, поскольку именно эти клетки способны задавать начало новому растению. Кроме того, в протопласты лишённые целлюлозной оболочки, могут проникнуть микроорганизмы. В качестве другого симбиоза применяют цианобактерии, которые удачно сочетают фотосинтез и азотфиксацию.

Генетическая инженерия, как указывает академик А. А. Бабаев [11], предлагает уникальный способ создания микроорганизмов, своего рода рекорсменов по продуктивности: ввести в микробную клетку соответствующие чужеродные гены, управляющие синтезом нужных соединений. При условии стабильности новой генетической структуры этот способ будет эффективным и рентабельным. Таким путем, возможно создание бактерий-симбиотов, приспособленных к тем полевым или луговым культурам, которые в отличие от бобовых не имеют собственных поставщиков азота.

Можно получить такие биологические фиксаторы азота, которые в отличие от клубеньковых бактерий, будут обладать высокими азотфиксирующими свойствами и не будут подавляться азотом в виде минеральных удобрений, вносимых в почву дополнительно. Для азотного питания растений будет использоваться энергия солнца. И это будет иметь место, если в клетку высших растений пересаживать или привить гены наследственного аппарата азотфиксирующих бактерий. В этом случае, повинувшись командам этих генов, растение и его последующие поколения начнут усваивать азот воздуха, как это делают микроорганизмы, передавшие им свои гены.

На первых этапах этот ген можно ввести в какую-нибудь почвенную бактерию. Тогда в земле появятся продукты жизнедеятельности этой бактерии, содержащие связанный азот для питания растений. С помощью генетического подхода возможно и создание новых симбиотов, например, азотфиксирующих бактерий с некоторыми зерновыми культурами (пшеницей, рисом). С теоретических позиций нет препятствий для расширения числа азотфиксирующих организмов путем переноса соответствующих генов. Энергию для фиксации азота будут поставлять листья растений и растения будут получать аммиак там, где в этом есть необходимость, и в нужное время. Это был бы идеальный путь фиксации азота. Но дело не только в том, чтобы дать азотное питание растению. Дело состоит в том, что бы полученный азот в виде урожая растений наиболее целесообразно и полно использовать в пище человека [12].

Сегодня генетическая инженерия бурно развивается, и на наш взгляд, скоро она скажет весомое слово и внесет свой вклад в фиксацию атмосферного азота в живой клетке для возможного использования этого метода в виде его технического аналога.

Микробиологическое получение белка.

Организмы человека и сельскохозяйственного животного должны получать в составе белка животной и растительной пищи усваиваемый организмом азот. Большая часть белка идет на потребности самого

животного, и следовательно потребляется безвозвратно. Человеку животные возвращают в виде мяса, молока только 15 – 20 % полученного из корма белка. Таким образом, выращенный урожай и связанный в нем азот, внесенный в почву в виде той или иной формы удобрений, пропадает. Между тем, есть возможность этот белок сохранить. Химическим путем можно выделить весь белок любого вида растительных кормов и превратить, минуя скормливание его животным, в пригодную для потребления человеком белковую пищу и, таким образом увеличить производство белка при том же расходе связанного азота для нужд сельского хозяйства [12].

Связанный азот в виде удобрения (жидкого или твердого) очень часто не достигает своей цели – растения и уходит со сточными водами, значительная же его часть пропадает с отходами сельскохозяйственного производства (ботва, солома и т. д.) и часто тратится непроизводительно.

При микробиологическом получении белка или синтетическом получении аминокислот использование аммиака, производимого в промышленности, или связанного азота, усвоенного растениями из воздуха или почвы, станет наиболее полноценным и экономичным. Таким образом, ресурсы связанного азота кроются не только в новых методах его фиксации в промышленности и сельском хозяйстве, но и в применении связанного азота для получения наиболее ценных белковых веществ, необходимых для питания человека [12].

Место связанного азота в человеческой цивилизации расширяется, история фиксации атмосферного азота продолжается как социальное, общественное, научное и технологическое влияние.

Выводы.

1. Обоснованно и показано, что промышленный метод фиксации атмосферного азота через аммиак сложен в управлении, требует значительных капитальных затрат, энергоёмкий и имеет негативные выбросы в окружающую среду. Эта старая технология аммиачного синтеза себя исчерпала, поэтому необходимо искать принципиально новые направления в связывании атмосферного азота.

2. Рассмотрены научные решения проблемы фиксации атмосферного азота, исходя из новых принципов. К таковым можно отнести: биологические методы фиксации атмосферного азота, фиксацию атмосферного азота химическим путем, генетическую инженерию связанного азота и микробиологическое направление или, скорее, биохимическое.

3. Доказано, что эти многообещающие методы фиксации азота необходимы для нужд земледелия: будут созданы такие условия, когда высшие растения смогут сами используя солнечное излучение, усваивать для своего питания азот воздуха, будет фиксация молекулярного азота, это привело бы и к повышению урожая и замене минеральных азотсодержащих удобрений на биологически связанный азот. Такие методы, применяемые в широких масштабах, могут превратить растения в источник не только пищи, но и энергетических ресурсов.

Список литературы:

1. *Гринь С. О.* Аналіз критеріїв нормування екологічної безпеки водних об'єктів / *С. О. Гринь, П. В. Кузнецов, О. М. Філенко* // Екологія та промисловість. – 2013. – № 3 (36). – С. 107–111.
2. *Янковський М. А.* Технологія аміаку: навчальний посібник / [*М. А. Янковський, І. М. Демиденко, Б. І. Мельников та ін.*]. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 300 с.
3. *Красновський А. А.* Биологическое использование солнечной энергии / *А. А. Красновський* // Известия АН СССР. – 1979. – № 1. – С. 83–96.
4. *Дедов А. Г.* Экономика химической промышленности капиталистических стран. / *А. Г. Дедов, Н. А. Устинова, И. Л. Сафронова.* – М.: Химия, 1989. – 400 с.
5. *Кузнецов Л. Д.* Синтез аммиака. / *Л. Д. Кузнецов.* – М: Химия, 1982. – 296 с.
6. *Тимирязев К. А.* Жизнь растений / *К. А. Тимирязев.* – М.: Сельхозиздат, – 1949. – 336 с.
7. *Вольпин М. Е.* Фиксация азота системами на основе дициклопентадиенилтитандихлорида / *М. Е. Вольпин, В. Б. Шур, М. А. Илатовская* // Изв. АН СССР, сер. Хим. – 1964. – С. 1728–1729.
8. *Денисов Н. Т.* Каталитическое восстановление молекулярного азота в протонных средах / [*Н. Т. Денисов, В. Ф. Шувалов, Н. И. Шувалова и др.*] // Кинетика и катализ. – 1970. – Т. 11, № 3. – С. 813–817.
9. *Никонова Л. А.* Восстановление ацетилен в водных растворах комплексами двухвалентного ванадия. / [*Л. А. Никонова, О. Н. Ефимов, А. Г. Овчаренко и др.*] // Кинетика и катализ, – 1972, Т. 13, № 1, – С. 249–253.
10. *Вольпин М. Е.* Реакции металлоорганических соединений переходных металлов с азотом и углекислым газом / *М. Е. Вольпин* // Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева. – 1972. – № 17. – С. 396–402.
11. *Дубинин Н. П.*, Генетическая инженерия: задачи современных исследований / *Н. П. Дубинин, С. И. Городецкий* // Известия АН СССР. 1978. № 3. – С. 67–72.
12. *Гамбург Д. Ю.* Синтез аммиака: история и современность / *Д. Ю. Гамбург* // Химическая промышленность. – 1992. – № 4. – С. 36–40.

References (transliterated):

1. *Grin S. O., Kuznetsov P. V., Filenko O. M.* *Analiz kryteriyiv normuvannya ekologichnoyi bezpeky vodnykh obyektiv* [The analysis of the valuation of ecological safety of water bodies]. Ecology and Industry., 2013, No 3 (36), pp. 106–111.
2. *Jankowski M. A., Demidenko I. M., Melnikov B. I., Loboiko O. J., Korona G. M.* *Tehnologiya amiaku: navchal'nyu posibnyk*

- [Technology ammonia: a textbook]. Dnepropetrovsk: UDXTU Publ., 2004, 300 p.
3. Krasnovsky A. A. *Biologicheskoe ispolzovanie solnechnoj jener-gii* [The biological use of solar energy]. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, 1979, No 1, pp. 83 – 96.
 4. Dedov A. G., Ustinova N. A., Safronova I. L. *Jekonomika himicheskoy promyshlennosti kapitalisticheskikh stran* [Chemical industry economy of the capitalist countries]. Moscow, Chemistry Publ., 1989, 400 p.
 5. Kuznetsov L. D. *Sintez ammiaka* [Synthesis of ammonia]. Moscow: Chemistry Publ., 1982, 296 p.
 6. Timiryazev K. A. *Zhizn rastenij* [Plant Life]. Moscow: Selhozizdat Publ., 1949, 336 p.
 7. Volpin M. E., Shur V. B., Ilatovsky M. A. *Fiksacija azota sistematami na osnove ditsiklopentadieniltitandihlorida* [Nitrogen fixation systems on the basis of ditsiklopentadieniltitandihlorida]. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, Ser. Chem, 1964, pp. 1728 – 1729.
 8. Denisov N. T., Shuvalov V. F., Shuvalova N. I., Shilov A. K., Shilov A. E. *Kataliticheskoe vosstanovlenie molekulyarnogo azota v protonnyh sredah* [Catalytic reduction of molecular nitrogen in protic media]. Kinetics and Catalysis, 1970, Vol. 11, No 3, pp. 813 – 817.
 9. Nikonov L. A., Efimov O. N., Ovcharenko A. G., Shilov A. E. *Vosstanovlenie acetilena v vodnyh rastvorah kompleksami dvuhvalentnogo vanadija* [Recovery of acetylene in the aqueous solution of divalent vanadium]. Kinetics and Catalysis, 1972, Vol. 13, No 1, pp. 249 – 253.
 10. Volpin M. E. *Reakcii metalloorganicheskikh soedinenij perehodnykh metallov s azotom i uglekislym gazom* [Reaction of organometallic compounds of transition metals with nitrogen and carbon dioxide]. Journal WMO by Mendeleev, 1972, No 17, pp. 396 – 402.
 11. Dubinin N. P., Gorodetsky S. I. *Geneticheskaja inzhenerija: zadachi sovremennyh issledovanij* [Genetic Engineering: challenges of current research]. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, 1978, No 3, pp. 67 – 72.
 12. Hamburg D. Y. *Sintez ammiaka: istorija i sovremennost* [Ammonia Synthesis: Past and Present]. Chemical Industry, 1992, No 4, pp. 36 – 40.

Поступила (received) 18.11.16

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Енергетичні методи фіксації атмосферного азоту / Г. І. Гринь, П. В. Кузнецов, О. М. Філенко, С. О. Гринь // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – С. 42 – 48. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0821.

Энергетические методы фиксации атмосферного азота / Г. И. Гринь, П. В. Кузнецов, О. Н. Филенко, С. А. Гринь // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – С. 42 – 48. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-0821.

Energy methods of atmospheric nitrogen fixation / G. I. Grin, P. V. Kuznetsov, O. M. Filenko, S. O. Grin // Bulletin of NTU "KhPI". – Series: Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – 2016. – No 35 (1207). – P. 42 – 48. – Bibliogr.: 12 names. – ISSN 2079-0821.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гринь Григорій Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри хімічної технології неорганічних речовин каталізу та екології; тел.: (057) 707-62-56; e-mail: gryn@kpi.kharkov.ua.

Гринь Григорий Иванович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, профессор кафедры химической технологии неорганических веществ катализа и экологии; тел.: (057) 707-62-56; e-mail: gryn@kpi.kharkov.ua.

Grin Grigory Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Chemical Technology of inorganic substances, catalysis and ecology; tel.: (057) 707-62-56; e-mail: gryn@kpi.kharkov.ua.

Кузнецов Павел Владимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри економічної кібернетики і маркетингового менеджменту; тел.: (057) 707-65-53; e-mail: eim.kh.ua@gmail.com.

Кузнецов Павел Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, доцент кафедры экономической кибернетики и маркетингового менеджмента; тел.: (057) 707-65-53; e-mail: eim.kh.ua@gmail.com.

Kuznetsov Pavel Volodymyrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Economic Cybernetics and Marketing Management; tel.: (057) 707-65-53; e-mail: eim.kh.ua@gmail.com.

Філенко Олесья Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології; тел.: (099) 25-65-163; e-mail: olesya.n.filenko@gmail.com.

Філенко Олесья Николаевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, доцент кафедры химической техники и промышленной экологии; тел.: (099) 25-65-163; e-mail: olesya.n.filenko@gmail.com.

Filenko Olesya Mykolayivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University “Kharkov Politechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology; tel.: (099) 25-65-163; e-mail: olesya.n.filenko@gmail.com.

Гринь Світлана Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології; тел.: (057) 707-66-81; e-mail: kafedrahtpe@i.ua.

Гринь Светлана Александровна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, доцент кафедры химической техники и промышленной экологии; тел.: (057) 707-66-81; e-mail: kafedrahtpe@i.ua.

Grin Svetlana Olexandrivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Docent, National Technical University “Kharkov Politechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology; tel.: (057) 707-66-81; e-mail: kafedrahtpe@i.ua.