

Д. В. Степанов, к. т. н., доц.; С. И. Ткаченко, д. т. н. проф.;
А. П. Ранский, д. х. н., проф.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С УЧЕТОМ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Проанализированы процессы образования отходов в разных отраслях промышленности и сельском хозяйстве, оценены возможности производства энергоносителей из органических отходов, учтена техногенная нагрузка на окружающую среду при производстве энергоносителей из отходов.

***Ключевые слова:** органические отходы, биогаз, пиролиз, газогенерация, биодизель, техногенная нагрузка.*

Вступление

Из-за быстрого истощения и подорожания первичных энергоносителей, а также значительного ухудшения экологической ситуации на планете особое внимание во всём мире уделяют вопросам производства альтернативных энергоресурсов и эффективным методам утилизации органических отходов.

Согласно Закону Украины "Об отходах", отходы – это любые вещества, материалы и предметы, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), которые полностью или частично потеряли свои потребительские свойства и не имеют последующего использования по месту их образования или выявления и от которых их владелец избавляется, намеревается или должен избавиться путем утилизации или удаления [1].

В свою очередь утилизация предполагает использование отходов как вторичных материальных или энергетических ресурсов.

В общем, любые отходы можно рассматривать как вторичное сырье. Но на данном этапе не для всех отходов такое превращение является экономически обоснованным, хотя их повторное использование позволило бы уменьшить техногенную нагрузку на окружающую среду, истощение полезных ископаемых и энергоносителей для их обработки.

Особый класс отходов – это органические отходы, то есть отходы, которые состоят из органических веществ с карбон-карбонными связями [2]. На сегодняшний день наиболее распространенными методами управления с собранными и отсортированными органическими отходами является захоронение или депонирование, компостирование и сжигание с захоронением остатков. Особое внимание следует уделить органическим отходам, пригодным к гниению (брожению), – отходам растениеводства, животноводства, пищевой и перерабатывающей отрасли. Традиционные методы их переработки приводят к значительным химическим и биологическим загрязнениям, ухудшению условий труда работников.

Те отходы, которые нельзя использовать для производства неэнергетической продукции, можно утилизировать с производством энергоносителей – жидких биотоплив, пиролизного, генераторного газа, биогаза, тепловой и электрической энергии. Это особенно касается утилизации токсичных отходов.

Целью данной работы является оценка возможностей производства энергоносителей из органических отходов с учетом техногенной нагрузки на окружающую среду.

Классификация энергоносителей из отходов и методов их получения

В процессе энергетического использования отходов можно получить разные энергоносители:

- газовые – пиролизный газ, генераторный газ, синтез-газ, биогаз, метан;
- жидкие – горючие смолы, биодизель, биоэтанол и т. п.;
- твердые – древесный уголь, угольный остаток, кокс и т. п.;
- тепловую энергию в теплогенераторах, газогенераторах, пиролизных и когенерационных установках;
- электрическую энергию в паротурбинных, газотурбинных циклах и в газопоршневых двигателях.

Один из распространенных методов энергетической утилизации отходов – прямое сжигание с захоронением остатков. Почти все органические отходы можно использовать в качестве топлива. Нижний предел теплоты сгорания отходов, которые можно сжигать без дополнительных расходов топлива, 3,35...4,19 МДж/кг. По Таннеру [3], условиями сжигаемости вещества является: влажность не больше 50 %; зольность не больше 60%; содержание горючих веществ не менее 25%. В результате прямого сжигания отходов можно получать тепловую, или тепловую и электрическую энергии. Средняя теплота сгорания твердых бытовых отходов составляет 6,3 МДж/кг.

Согласно результатам исследований [4] отходы, перед сжиганием должны быть тщательным образом отсортированы, поскольку сжигание некоторых органических составляющих, например, текстиля, пластика дает намного более вредное влияние на окружающую среду, чем эффект от замещения первичных энергоносителей.

Проведенный авторами [5] анализ эффективности разных методов переработки органических отходов показал, что мусоросжигательные технологии могут производить большое количество теплоты, но их КПД по производству электроэнергии невысок. Кроме того, такие системы характеризуются большой токсичностью по выбросам в атмосферу и имеют наибольшие инвестиционные расходы.

Системы пиролиза и газогенерации отходов являются наиболее перспективными, по мнению автора [4]. Они позволяют получать горючий газ с теплотой сгорания 5...20 МДж/м³ [6], который можно транспортировать на расстояние или использовать в качестве моторного топлива после тщательной очистки. Дополнительным продуктом такой переработки является угольный остаток.

Реализация проекта по пиролизу 75 т/сутки отходов древесины в Мексике показала низкие концентрации вредных веществ при переработке (в 2...9 раз ниже допустимых) и достаточно высокие экономические показатели: капиталовложения 11,3 млн. долл. США; срок окупаемости 4...5 лет [7].

Одним из самых перспективных, по нашему мнению, методов переработки органических отходов является анаэробное сбраживание. В результате анаэробного брожения, в зависимости от состава отходов (см. табл. 1), получают качественный горючий газ с теплотой сгорания 20...24 МДж/м³.

Таблица 1

Выход биогаза и содержание в нем метана в зависимости от сырья

Класс веществ	Выход биогаза, л/г субстрата	Содержание метана, %
Углеводы	0,83	50
Белки	0,72	71
Жиры/масла	1,43	70

Выход биогаза из разных органических отходов зависит от морфологического и элементарного состава, ориентировочный выход биогаза из отходов составляет [8],

м³/тонну: навоз КРС – 40; навозные стоки КРС – 20; навоз свиней – 35; навозные стоки свиней – 15; осадок сточных вод – 5; помет птиц – 40; овощные отходы – 48; молочные отходы – 50; отходы пивоварен – 200; отходы ресторанов – 189; отходы обработки рыбы и рыбьего жира – 300; отходы нефтепереработки – 500; трава (сухое вещество 33 %) – 165; подсолнух (сухое вещество 23%) – 90; рапсовый жмых (сухое вещество 90%) – 620; барда (сухое вещество 31%) – 250.

Биогазовые технологии более требовательны к качеству органических отходов. В отличие от термических методов утилизации, в биогазовых установках необходимо обеспечить биохимическое качество сырья, его неокисленность.

Биогаз может транспортироваться на расстояние, сжигаться в газовых котельных установках после несложной регулировки горелок [9], использоваться в качестве моторного топлива. Сравнительный анализ моторных топлив с точки зрения техногенной нагрузки [10] показал, что метан, полученный из органических отходов с использованием анаэробного сбраживания, имеет самое низкое негативное влияние на окружающую среду по сравнению с другими биотопливами, бензином, дизтопливом.

После удаления CO₂ биогаз может отпущаться в сеть природного газа. Реализация такого проекта [11] подтвердила его экономическую целесообразность и уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду.

Биогазовые установки позволяют получать высококачественный сброженный субстрат, который можно использовать для непосредственного внесения в почву, получения кормовых добавок и т. п. Причем экономические эффекты от использования сброженного субстрата могут значительно превышать эффекты от использования биогаза.

Зарубежными исследователями [12] выявлены наиболее экономически целесообразные сейчас и в перспективе нетрадиционные энергетические технологии (табл. 2).

Таблица 2

Расходы на разные возобновляемые источники энергии

	Расходы 2005г., границы € / ГДж	Расходы 2005 г., в среднем €/ГДж	Ожидаемое уменьшение средних расходов до 2030 г., % от расходов 2005 г.
Солнечная энергетика	8 – 226	52	-42
Солнечная тепловая энергетика и холодоснабжение	11 – 307	66	-44
Биоэнергетика, обогрев пелетами	8 – 99	26	-5
Биоэнергетика, анаэробная биоконверсия	6 – 32	15	-3
Геотермальная энергетика, средние глубины	0,5 – 11	2	+11
Геотермальная энергетика, большие глубины	1 – 24	3	-13

Дальнейшее развитие систем биоконверсии следует направить на повышение эффективности процесса переработки (увеличение доли превращения веществ) и более эффективное использование полученных энергоресурсов. В последнее время быстро развиваются технологии получения моторного топлива – биодизеля с использованием масла культур растительного происхождения: рапса, подсолнечника, кукурузы, пальмового масла и т. п. Однако работ с использованием органических отходов как сырья для производства биодизеля недостаточно.

В связи с этим нами проведены исследования возможности использования органических отходов спиртовых производств как составных компонентов синтеза биодизеля – алкиловых эстеров насыщенных и ненасыщенных карбоновых кислот из кукурузного масла. Это позволяет получить биодизель со значительно меньшей себестоимостью, использовать вместо метанола нетоксичные алкиловые спирты, уменьшить экологические проблемы, связанные с огромными площадями полей фильтрации, на которые поступает спиртовая

барда спиртовых заводов Украины.

Выделение экстрагента (C₅) из сивушной фракции ректификации этилового спирта для концентрирования кукурузного масла из спиртовой барды на ДП "Немировский спиртовый завод" проводили методом дробной и ректификационной перегонки [13]. Разгон сивушной фракции проводили на двух установках, которые отличались температурными интервалами отбора фракций, составом отобранных спиртовых фракций, а также временем проведения процесса разделения. На второй стадии отфильтрованную спиртовую барду экстрагировали растворителем (C₅), полученным при ректификационной перегонке сивушной фракции [14], а концентрированное кукурузное масло подавали на стадию переэстерификации (рис. 1). Реакцию переэстерификации выполняли в реакторе смешивания периодического действия.

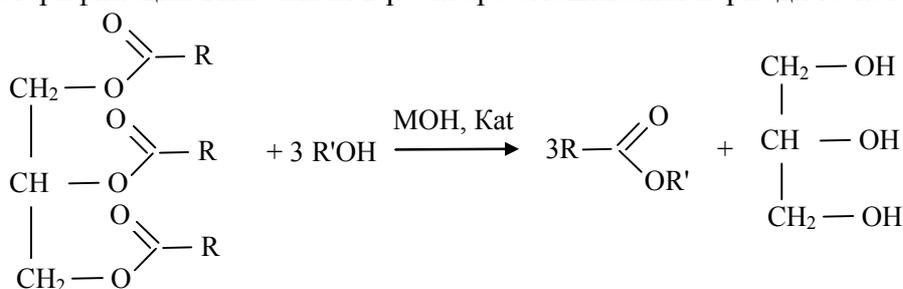


Рис. 1. Реакция переэстерификации кукурузного масла

Недостаточно просто производить энергоносители из отходов. Необходимо обеспечить их производство с высокой энергетической и экологической эффективностью. Не менее важной является проблема увязки производства энергии с ее потреблением.

Наиболее эффективным является вариант, когда рядом с системой производства энергоносителей из отходов есть отапливаемые или другие теплотехнологические потребители, например, сушилки, испарительные аппараты, печи или оборудование для использования полученных моторных топлив.

Если рядом нет теплотехнологического потребителя, то наиболее эффективным является производство электрической энергии.

По предварительным оценкам, использование пиролизного газа, синтез-газа и генераторного газа в тепловых двигателях малой мощности является на сегодняшний день недостаточно эффективным, поскольку необходима дорогая и сложная система очистки, обогащения и охлаждения выработанного газа. Системы очистки биогаза проще, теплота сгорания биогаза высокая, поэтому наибольшей эффективности можно достичь при его сжигании в тепловых двигателях с производством тепловой и электрической энергии.

Образование отходов в разных отраслях и возможности производства из них энергоносителей

Можно провести классификацию органических отходов по основным отраслям производства и потребления:

- сельское хозяйство (растениеводство, животноводство);
- пищевая и перерабатывающая промышленность;
- деревообрабатывающая промышленность;
- коммунальный сектор.

В сельском хозяйстве органические отходы можно разделить на отходы растениеводства и животноводства.

Для производства энергии могут быть использованы любые растительные остатки с высоким содержанием целлюлозы – солома, стебли кукурузы, подсолнечника и других культур. При этом полисахарид построен из элементарных цепей ангидро-D-глюкозы, которая представляет собой поли-1, 4- β- D-глюкопиранозил- D-глюкопиранозу. Соединение (полисахарид – I – рис. 2) – главная составляющая стенок таких растений: хлопка (97 – 98 %), древесины (40 – 50 % в расчете на сухое вещество), коры растений (80 – 90%),

стеблей однолетних растений: кукурузы, подсолнечника (30 – 40%) и т. п.

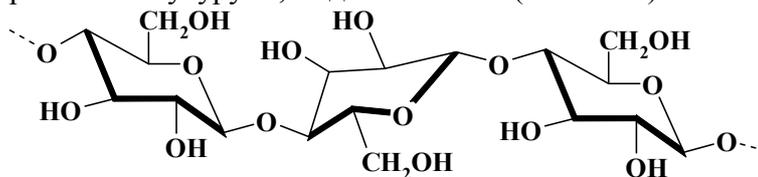


Рис. 2. Полисахарид – I

В Украине разработаны технологии прямого сжигания тюкованной соломы и других отходов. Но энергетическая и экологическая эффективность таких технологий является недостаточно высокой. Зато использование биогазовых технологий для ферментации животноводческих отходов и их смесей с растительными остатками или даже энергетическими растениями является на сегодняшний день достаточно актуальным [15].

Переработка одних только животноводческих отходов в масштабах Украины позволит получить свыше 3 млрд. м³ биогаза, что эквивалентно 2 млрд. м³ природного газа в год. Согласно данным [15], общий энергетический потенциал органических отходов в сельском хозяйстве превышает 34 млрд. м³/год. Оценка возможностей производства энергии из отходов животноводства Винницкой области приведена в таблице 3.

Таблица 3

Потенциальные возможности анаэробной переработки животноводческих отходов Винницкой области (на 01.01.2011)

Величина	Свиньи	Коровы	Другой КРС	Птица	Овцы, козы	Вместе
1. поголовье	439 600	179 100	138 100	10 285 300	37 700	
2. Максимальное суточное количество отходов, которые необходимо переработать, тыс. тонн / сутки	6,59	8,96	4,83	4,11	0,38	24,87
3. Годовое количество отходов, млн. тонн / год	2,41	2,42	1,76	1,50	0,10	8,19
4. Суточный выход биогаза, который можно получить при анаэробной переработке, тыс. м ³	156,94	90,09	82,17	524,55	4,74	858,5
5. Годовой выход биогаза, млн. м ³	56,50	32,43	29,58	188,84	1,71	309,06
6. Годовое количество товарной электроэнергии, млн. кВт·час	102,72	58,96	53,78	343,32	3,10	561,88
7. Стоимость полученной электроэнергии за год (при цене 1 кВт·час 0,5 грн), млн. грн/год	51,36	29,48	26,89	171,66	1,55	280,94
8. Годовое количество товарной тепловой энергии, тыс. ГДж	512,7	294,3	268,4	1 713,7	15,5	2 789,2
9. Стоимость полученной за год тепловой энергии (при цене 1 Гкал 300 грн), млн. грн/ год	36,7	21,1	19,2	122,7	1,1	200,81
10. Годовой выход органических удобрений, млн. м ³ /год	2,36	2,37	1,73	1,47	0,10	8,04
11. Соотношение эффектов при работе БГУ, энергоноситель + стабильность питания: удобрения : экология	18+8:72:2	18+16:64:2	18+8:72:2	18+8:72:2	18+8:72:2	
12.Общий эффект процесса биоконверсии, млн. грн/год	489,26	280,86	256,17	1635,33	14,78	2676,40
13. Величина простого срока окупаемости, лет	3,5...10,5					

Причинами недостаточного использования установок энергетического использования сельскохозяйственных отходов является отсутствие государственной финансовой поддержки, значительные первичные расходы. Так, капиталовложение в 1 м³ рабочего объема биореактора заграничного производства может достигать 500...1000 евро. Такие технологии доступны лишь мощным агропромышленным комплексам, где есть возможность использовать выработанную энергию и удобрения. Такие предприятия имеют возможность получить право на "зеленый тариф" продажи электроэнергии в общую сеть. С учетом всех этих факторов есть возможность получить минимальный срок окупаемости капиталовложений (до 3 лет).

В пищевой и перерабатывающей отрасли образуется огромное количество твердых и жидких органических отходов.

Эта отрасль включает органические отходы мясо-молочного, фрукто-овощного, спиртового производства, производства масел на масло-жировых комбинатах и т. п. При этом отходами являются: жмых и маслосодержащие отходы, образующиеся при рафинации масел (подкисленный соапсток, отработанные фильтровальные порошки, а также дистиллят, который образуется при дезодорации масел); в мясной промышленности – отходы животных жиров; во фрукто-овощной – отходы фруктов, овощей, семян при их переработке; в спиртовой промышленности (сивушные масла и спиртовая барда).

Утилизация таких отходов требует больших финансовых и энергетических расходов.

В то же время биоконверсия органических отходов, например, спиртовых, молочных заводов и мясокомбинатов позволит производить биогаз в количестве, достаточном для покрытия собственных энергетических потребностей предприятия.

Так, утилизация мелясной барды, которая производится на Немировском спиртовом заводе, в реакторах систем биоконверсии позволит получить свыше 82% годового потребления природного газа предприятием.

В лесной и деревообрабатывающей отрасли образуются разнообразные отходы древесины. Начиная с заготовки древесины (неликвидное древесное сырье, вершки, сучки, пни), ее обработки (отходы распиловки колод: рейки, горбыли, опилки, стружка) и технологической переработки: целлюлозно-бумажное, канифольно-скипидарне, дубильно-экстрактное производство – на всех стадиях этих переделов накапливается значительное количество отходов, которые могут быть использованы для производства энергоносителей.

Наиболее эффективными методами переработки таких отходов является пиролиз и газификация с возможностью получения водорода, горючих газовых смесей, активированного угля и др.

Переработка твердых бытовых отходов приобретает в последнее время особую актуальность. Внедряются технологии сортировки мусора и переработки его части во вторичное сырье. Пищевые и другие органические отходы, пригодные к сбраживанию, могут быть переработаны в биогазовых установках с получением товарных энергоносителей. Так, переработка пригодной к сбраживанию части твердых бытовых отходов г. Винницы (около 45 тыс.т/год) позволит произвести свыше 8,8 млн м³/год биогаза или свыше 20 млн. кВт·часов/год электроэнергии.

Выводы

В Украине вопросы производства энергоносителей и повышения эффективности их использования выходят на первый план. Быстрое ухудшение экологической ситуации из-за накопления отходов в разных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, коммунальном секторе, в том числе на стационарных и несанкционированных свалках, требует решительного внедрения перспективных методов утилизации отходов.

Большую опасность создают органические отходы, пригодные к брожению. Их захоронение приводит к значительным химическим и биологическим загрязнениям

территории.

Недостаточно только перерабатывать отходы с производством энергоносителей. Необходимо использовать технологии с низкой техногенной нагрузкой на окружающую среду.

Мусоросжигательные технологии имеют значительное негативное влияние на окружающую среду. Выработанная тепловая энергия должна использоваться на месте производства, а это не всегда удобно.

Газогенерация и пиролиз органических отходов позволяет получать газовый энергоноситель, который после дорогой очистки может использоваться в когенерационных установках как моторное топливо для транспорта и т. п.

Биогазовые технологии, на наш взгляд, являются наиболее эффективными для утилизации органических отходов, пригодных к брожению. Максимального эффекта можно достичь при наличии потребителей качественных органических удобрений и потребителей тепловой и электрической энергии. Анаэробная переработка органических отходов животноводства Украины позволит сэкономить более 2 млрд. м³ экспортированного природного газа.

Производство биодизеля из органических отходов спиртовых заводов Украины позволит уменьшить экологические проблемы, которые появляются на полях фильтрации сточных вод, освободить часть угодий для производства продовольствия.

Дальнейшее развитие систем биоконверсии следует направить на повышение эффективности процесса переработки (увеличение доли превращения веществ) и более эффективного использования полученных энергоресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон України "Про відходи" від 05.03.1998, № 187/98-ВР [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>.
2. Савицький В. М. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : Навчальний посібник / В. М. Савицький, В. К. Хільчевський, О. В. Чунарьов, М. В. Яцюк; за ред. В. К. Хільчевського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2007. – 152 с.
3. Круць Т. М. Енергетичне використання вторинних паливних матеріалів під час випалу портландцементного клінкеру / Т. М. Круць // Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2009. – Т. 644. – С. 232 – 236.
4. Hogg D. A Changing Climate for Energy from Waste? Final Report for Friends of the Earth, 2006 [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.foe.co.uk/resource/reports/changing_climate.pdf.
5. W. Edelmann, K. Schleiss. Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe. BUWAL, 2001. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.naturemade.ch/Dokumente/oekobilanzen/%C3%96kobilanz%20Feststoffverg%C3%A4rung.pdf>.
6. Гелетуха Г. Г. Обзор технологий газификации биомассы / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – С. 21 – 29.
7. Snow M., López K. Pyrolysis transformation of organic wastes – results of full-scale trial demonstrations. [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://simeken.com/pdf/Technical_Paper_on_PRO.pdf.
8. Biogas production [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.oecd.org/dataoecd/28/59/36203835.pdf>.
9. Ткаченко С. Й. Систематизация особенностей конструирования водогрейных котлов для сжигания биогаза / С. Й. Ткаченко, Ю. В. Курис, Д. В. Степанов, А. Ю. Майстренко // Промислова електроенергетика та електротехніка. – 2006. – №6. – С. 66 – 68.
10. Zah R., Böni H., Gauch M., Hischer R., Lehmann M., Wäger P. Ökobilanz von energieprodukten: ökologische bewertung von biotreibstoffen. EMPA, 2007. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf>.
11. Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz [Електронний ресурс] / P. Hunziker // GWA. – № 4. – 2005. – P. 1 – 8. Режим доступу до журн.: http://www.dvgw.de/uploads/media/ewp2007_01-2007_Biogaseinspeisung.pdf.
12. Newsletter of environmental technology action plan. 2008. № 2. [Електронний ресурс] //Режим доступу: http://ec.europa.eu/environment/etap/inaction/pdfs/feb08_waste_methanisation.pdf.
13. Патент України №49563 МПК⁹ C12F3/10. Спосіб переробки сивушної фракції спиртових виробництв / Ранський А. П., Пелішенко С. В., Солдатенков П. В.; заявник та патентовласник Вінницький національний Наукові праці ВНТУ, 2012, № 1

технічний університет. – № u200911048 ; заявл. 02.11.2009 ; опубл. 26.04.2010, Бюл. № 8.

14. Патент України №49561 МПК⁹ C11B9/02. Спосіб отримання кукурудзяного масла екстракцією / Ранський А. П., Пелішенко С. В., Звудецька Н. С., Солдатенков П. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200911046 ; заявл. 02.11.2009, опубл. 26.04.2010, Бюл. №8.

15. Гелегуха Г. Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Ч. 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса / Г. Г. Гелегуха, Т. А. Железна, М. М. Жовмір, Ю. Б. Матвеев, О. І. Дроздова //Пром. теплотехника, 2010. – № 6. – С. 58 – 65.

Степанов Дмитрій Викторович – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, институт строительства, теплоэнергетики и газоснабжения, тел. 598339, e-mail: Stepanovdv@mail.ru.

Ткаченко Станислав Йосифович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики, институт строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Ранский Анатолий Петрович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии, институт экологии и экологической кибернетики.

Винницкий национальный технический университет.