

В. П. Борисов, Я. И. Билык, В. Г. Гриценко (ООО «ТРИЗ», г. Сумы, Украина)

Варианты модернизации компрессоров производства карбамида

В статье рассмотрена задача увеличения выпуска продукции путем комплексной модернизации основного технологического оборудования. Приведены разработанные и апробированные ООО «ТРИЗ» эффективные технические решения, позволившие повысить надёжность и эффективность работы компрессорных агрегатов, обеспечив при этом их двухгодичный пробег без снижения расходных характеристик при многократных регламентных режимах пуска и останова.

Ключевые слова: компрессорное оборудование, технологическая схема компрессии, реконструкция, эффективность, модернизация агрегата, надёжность.

В статті розглянута задача збільшення випуску продукції шляхом комплексної модернізації основного технологічного устаткування. Наведено розроблені та апробовані ТОВ «ТРИЗ» ефективні технічні рішення, що дозволили підвищити надійність і ефективність роботи компресорних агрегатів, забезпечивши при цьому їх дворічний пробіг без зниження витратних характеристик при багаторазових регламентних режимах пуску та зупинки.

Ключові слова: компресорне обладнання, технологічна схема компресії, реконструкція, ефективність, модернізація агрегату, надійність.

The article considers the problem of increasing products output by complex modernization of the main technological equipment. The effective technical solutions developed and tested by TRIZ LTD are presented, which made it possible to increase the reliability and efficiency of the compressor units, while ensuring their two-year run without reducing the consumption characteristics with multiple scheduled start-up and shutdown regimes.

Keywords: compressor equipment, technological scheme of compression, reconstruction, efficiency, unit modernization, reliability.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность работы производств карбамида в значительной степени зависит от надежности работы компрессорного оборудования. Снижение себестоимости конечного продукта за счет интенсификации, требует изменения параметров путем модернизации компрессорного оборудования.

Ввод новых производств карбамида с наращиванием мощностей потребовал применения различных решений по компрессорному оборудованию. В настоящее время используется широкое многообразие компрессорного оборудования с различными видами приводов. Общее требование для них - обеспечение требуемых параметров с высокой надежностью и экономичностью. С надежностью возникают проблемы во всех без исключения компрессорах производств карбамида. Меньше проблем динамической устойчивости в компрессии комбинированной - центробежной с поршневой и больше в компрессии центробежной на полное давление. Связано это с проявлением циркуляционных сил в корпусах высокого давления, которые не были учтены при проектировании. Об этих проблемах и их решениях подробно изложено в многочисленных публикациях и реализованы на многих предприятиях. Для предприятий, где эти решения не реализованы, они актуальны.

На сегодняшний день остается актуальной задача достижения требуемых параметров существующей компрессии с высокой эффективностью и надежностью. Увеличение производительности карбамида на 110...125% можно достичь модернизацией существующих компрессий с небольшими затратами и окупаемостью менее года. Эту модернизацию необходимо проводить в первую очередь, так как она выполняется за счет использования имею-

щегося внутреннего резерва и направлена на повышение эффективности работы производства.

Дальнейшее увеличение производительности карбамида может решаться:

- ✓ модернизацией существующей компрессии с заменой проточных частей компрессоров, межступенчатых сепараторов, холодильников, использование дополнительного корпуса сжатия;
- ✓ установкой параллельно существующей дополнительной компрессии;
- ✓ заменой существующей компрессии на новую.

Исчерпав ресурс увеличения производительности, строят новую очередь производства.

На многих производствах карбамида применяется технология голландской фирмы «Стамикарбон» с проектной мощностью по готовому продукту 1000 т/сутки. В компрессии двуокиси углерода используются центробежный компрессор «Бабетта» поз. К-104 и поршневые дожимающие компрессоры 4ДВК-210-10 поз. К-102А и К-102В производства «СКД - Прага» (рис.1). Центробеж-

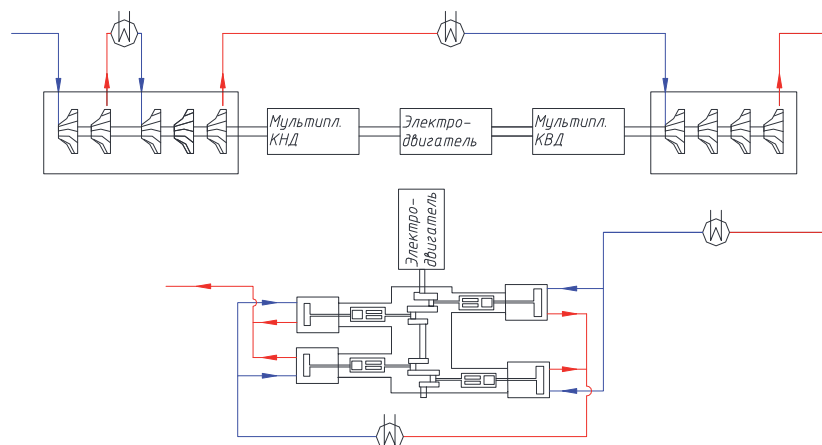


Рис. 1. Схема компрессии технологии «Стамикарбон»

ный компрессор работает постоянно, а поршневые поочередно, для обеспечения их периодического технического обслуживания без остановки производства.

Задача увеличения выпуска продукции решается путем модернизации основного технологического оборудования и увеличения подачи двуокиси углерода. Увеличение производительности линии сжатия CO_2 может быть достигнуто путем выполнения как небольших доработок, так и проведением существенной модернизации с установкой дополнительного оборудования. В обоих случаях необходима комплексная модернизация центробежного и поршневых компрессоров.

В настоящее время производительность цехов производства карбамида на различных производствах, работающих с компрессорным оборудованием «СКД - Praha», доведена с 1000т/сутки до 1100...1400 т/сутки. В зависимости от индивидуальных особенностей агрегата, степени износа, имеющихся ресурсов производства, особенностей эксплуатации, может быть достигнута различная степень повышения производительности компрессии. По результатам анализа данных производств карбамида на различных предприятиях, для производства 1000 т карбамида в сутки необходим расход двуокиси углерода около 17400 $\text{nm}^3/\text{час}$. Это свидетельствует о том, что запас компрессии по производительности составляет 12,4 %. Следовательно, при номинальной производительности по двуокиси углерода может быть достигнуто производство карбамида 1124 т/сутки (при условии увеличения мощности технологического оборудования).

За время длительной работы агрегата в агрессивной среде CO_2 элементы проточной части корпусов низкого давления (КНД) и высокого давления (КВД) подвергаются коррозии. В лабиринтных уплотнениях со временем происходит увеличение зазоров, вследствие чего уменьшается эффективность работы компрессора и растет потребляемая мощность.

В случае замены штатных лабиринтных уплотнений на уплотнения ТРИЗ® уменьшение потерь мощности, связанных с перетоками газа, позволит увеличить производительность компрессора примерно на 2,4-3,5% по сравнению с имеющимся значением до модернизации при неизменной мощности электродвигателя.

Газ из задумисных полостей поступает на всасывание КНД с температурой около 180°C, нагревая CO_2 на всасе компрессора на 5...7°C. Установка газоохладителя в уравнительной линии, обеспечит охлаждение перепускаемого газа, что позволит снизить температуру на входе в компрессор и за счет этого уменьшит потребляемую мощность.

Совместная реализация схемы соединения задумисных полостей и установка в КНД и КВД комбинированных уплотнений позволит увеличить производительность на 4,9...6,3%.

Для повышения давления газа на входе в компрессор можно использовать газодувку, но обязательно с дополнительным охлаждением газа после нее. На практике технология позволяет повысить давление всаса КНД без использования газодувки. При паспортном абсолютном давлении газа на входе в центробежный компрессор 0,098 МПа фактическое давление газа на входе в компрессию на различных предприятиях достигает 0,115...0,122 МПа, что обеспечивает увеличение производительности компрессии на 5...15%. Также повышение давления всаса может быть достигнуто заменой диафрагмы-расходомера на бесконтактный сенсор потока.

Установка опорных демпферных и опорно-упорных подшипников с демпферной опорной частью и усиленной упорной, а также упругих муфт, позволяет достичь высоких показателей надежности и энергоэффек-

тивности агрегата. Применение узлов надежности ТРИЗ®, обеспечивающих эффективную работу компрессии включая нештатные технологические режимы повышает надежность, увеличивает межремонтный пробег снижает затраты на ремонт и обслуживание. Так подшипники ТРИЗ® кроме высоких демпфирующих свойств и длительного ресурса работы обеспечивают стабильность зазоров в уплотнениях, благодаря устранению ими просадки ротора. Замена штатных муфт на муфты ТРИЗ®, которые не требуют смазки и обслуживания, снижает нагрузки, действующие на опорные и упорные подшипники, а также потери мощности на трение.

Интенсифицировать работу действующего поршневого компрессора 4ДВК-210-10 при постоянной частоте вращения коленчатого вала можно расточкой цилиндров и использованием резонансных колебаний давления во всасывающем трубопроводе (резонансный наддув).

Резонансный наддув осуществляется путем настройки всасывающей системы на резонанс. Наличие колебания давления газа, обусловленное пульсацией потока во всасывающем трубопроводе, при резонансе может увеличить производительность компрессора на 20...25%.

В 2013 году были проведены модернизации компрессорного оборудования в цехах производства карбамида на ОАО «ГродноАзот» и ПАО «ОПЗ».

Цель модернизаций - снижение удельной потребляемой мощности, отнесенной к производительности центробежного компрессора, а также снижение остаточных осевых сил, действующих на упорные подшипники корпусов сжатия.

Результаты реконструкции:

- ОАО «ГродноАзот» - рост производительности компрессии с 19300 $\text{nm}^3/\text{час}$ до 21000 $\text{nm}^3/\text{час}$ при неизменной потребляемой мощности.

- ПАО «ОПЗ» - рост производительности компрессии с 22650...22750 $\text{nm}^3/\text{час}$ до 23300...23500 $\text{nm}^3/\text{час}$ при неизменной потребляемой мощности. Рост КПД компрессора составил около 4%. Возможен ли дальнейший рост производительности компрессии СКД - Praha? Да возможен. Дальнейшее увеличение производительности возможно при установке более эффективной проточной части К-104, которая позволит использовать резерв мощности двигателя компрессора К-104.

В настоящее время в ООО «ТРИЗ», разработаны и апробированы эффективные технические решения, позволившие повысить надежность и эффективность работы компрессорных агрегатов при быстрой окупаемости вложений, обеспечив при этом как минимум двухгодичный пробег без снижения расходных характеристик при многократных регламентных режимах пуска и останова.

Изменение технологической схемы компрессии CO_2 с введением винтового компрессора в линию сжатия

Концепция предусматривает ввод в схему дополнительного компрессора винтового типа. Давление нагнетания на выходе из винтового компрессора равно давлению на входе во вторую ступень поршневого компрессора К-102. При этом обе ступени К-102 работают на одинаковом давлении параллельно, что позволяет увеличить производительность компрессии по продукту до 2000...2500 тонн/сутки. При этом необходимо установить сменную проточную часть КНД и КВД, межступенчатое и концевое оборудование.

Схема сжатия с установкой между К104 и К102 винтового компрессора приведена на рисунке 2.

Изменение технологической схемы компрессии CO₂ с дополнительным корпусом высокого давления в линию сжатия

Концепция предусматривает ввод в схему дополнительного корпуса высокого давления, соединенного с корпусом низкого давления посредством мультипликатора, с давлением нагнетания равным давлению на выходе из поршневого компрессора К-102. Для реализации решения требуется замена приводного штатного электродвигателя (4,8 МВт) на более мощный (~9,2 МВт). Таким образом, из технологической линии сжатия исключается компрессор К-102. В зависимости от необходимой производительности определяется объем оборудования, которое будет подвержено реконструкции. При модернизации сменных проточных частей КНД и КСД, межступенчатого и конечного оборудования возможно достижение производительности компрессии по продукту до 2000...2500 тонн/сутки, при использовании штатного оборудования - 1450...1700 тонн/сутки.

Схема сжатия согласно данной концепции приведена на рисунке 3.

Модернизация агрегата с введением дополнительной секции корпуса высокого давления и реконструкцией поршневого компрессора

Предлагается заменить штатный односекционный корпус КВД на более совершенный двухсекционный корпус (рис. 4).

Давление нагнетания на выходе в предлагаемом КВД равно давлению на входе во вторую ступень К-102. Поршневой компрессор подвергается реконструкции и становится одноступенчатым 4-х цилиндровым с производительностью до 38000 нм³/час (рис. 5).

Рассматривается 3 варианта:

1) Замена мультипликатора ЭД-КВД с большим передаточным отношением, специально подобранным для оптимальной работы новых двух секций КВД. Две секции КВД спроектированы на новую частоту вращения для достижения большей эффективности.

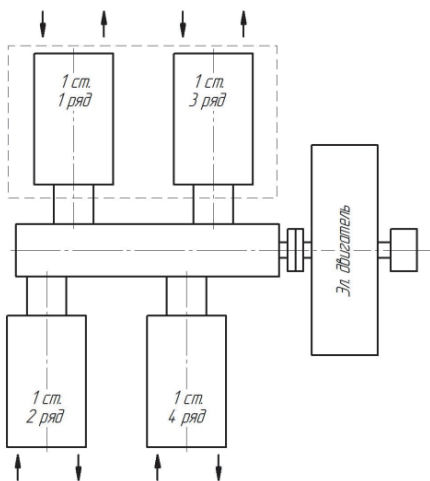


Рис. 5. Одноступенчатый поршневой 4-х цилиндровый компрессор

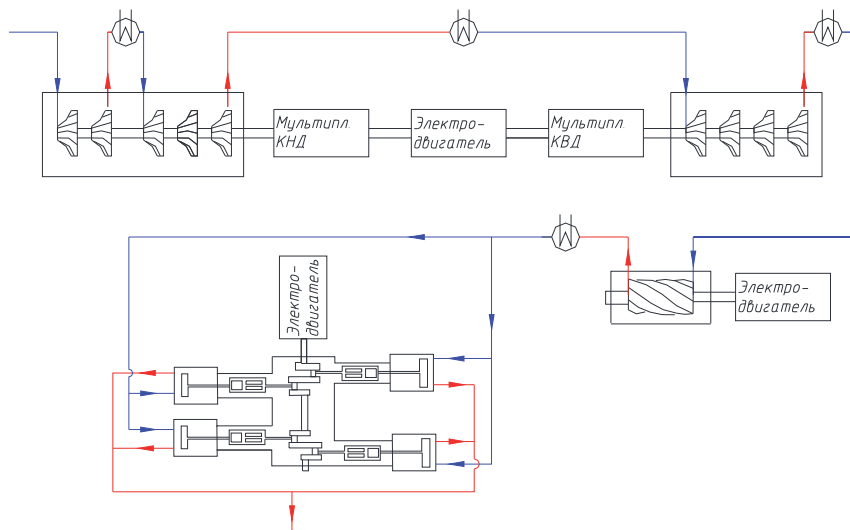


Рис. 2. Схема компрессии CO₂ с винтовым компрессором

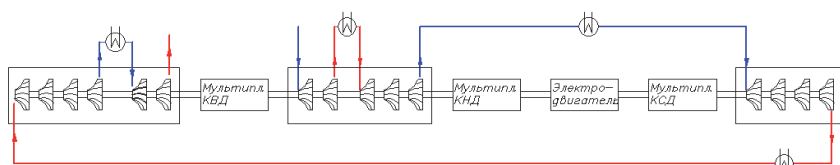


Рис. 3. Схема компрессии CO₂ с установкой КВД в замен поршневых компрессоров

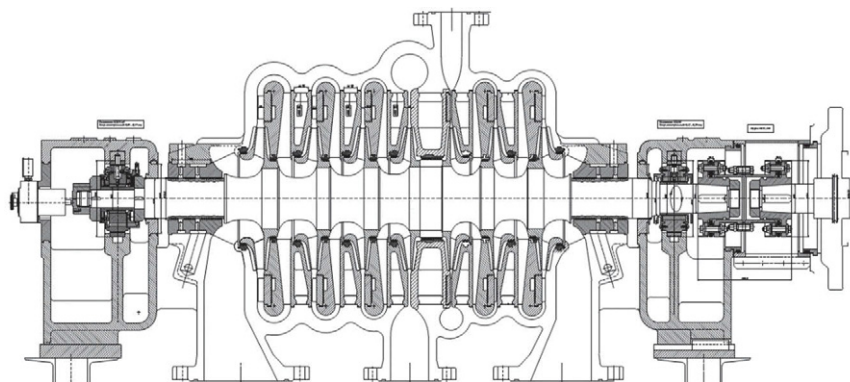


Рис. 4. Предлагаемый КВД взамен существующего

Ориентировочная мощность центробежного компрессора ~ 7,0 МВт.

2) Сохранение существующего мультипликатора ЭД-КВД. Двухсекционный корпус работает на частоте

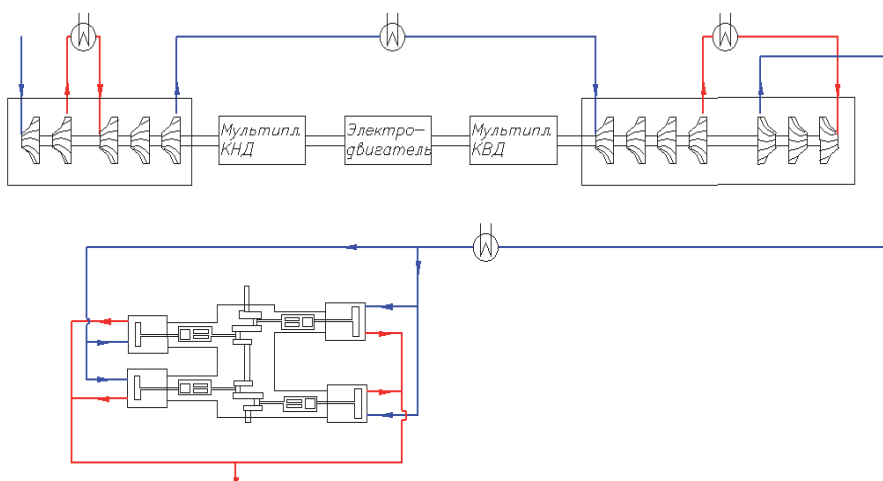


Рис. 6. Схема компрессии CO₂ с предлагаемым КВД и одноступенчатым поршневым 4-х цилиндровым компрессором

вращения 11200 об/мин с меньшей эффективностью, по сравнению с первым вариантом.

Ориентировочная мощность центробежного компрессора ~ 7,4 МВт.

3) Для снижения требуемой мощности на привод электродвигателя возможно спроектировать корпус КВД на пониженное конечное давление (5,0 МПа вместо 6,5 МПа). Это позволит перераспределить нагрузку между поршневым и центробежным компрессором, разгрузив привод центробежного компрессора и нагрузив привод поршневого.

Ориентировочная мощность центробежного компрессора ~ 6,6 МВт.

Схема сжатия согласно данной концепции приведена на рисунке 6.

Замена существующих проточных частей на новые, согласованные с оптимумом технологического режима, обеспечит повышение эффективности сжатия компрессора и снизит аэродинамическую нагрузку на ротора.

Вторым вариантом модернизации может быть замена комбинированной компрессии на компрессию с многовальным компрессором.

Недостатком конструкции многовальных компрессоров полного давления является то, что достижение необходимых технологических параметров, в частности, давлений порядка 160 бар и выше, решается путем увеличения количества ступеней. При таком решении возникают проблемы с надежностью агрегата, из-за ненадежной работы уплотнительной системы последних ступеней на высоких оборотах и при высоких нагрузках.

Предлагаемый турбокомпрессор рисунок 7, состоит из двигателя, многовального корпуса низкого давления, центробежного корпуса высокого давления, промежуточных охладителей.

Электродвигатель привода агрегата связан с центральным зубчатым колесом корпуса низкого давления посредством упругой пластинчатой муфты типа МСК. Многовальный компрессор (КНД) состоит из мультипликатора с установленными ступенями сжатия.

Ведущая шестерня мультипликатора - зубчатое колесо, которое взаимодействует с тремя ведомыми шестернями, которые выполнены заодно с валами роторов рабочих ступеней. Рабочие колеса насажены на каждую консоль валов-шестерен, что позволяет компенсировать газодинамические осевые силы. Еще одна (четвертая) дополнительная шестерня отводит от ведущего зубчатого колеса часть мощности и приводит в движение ротор корпуса высокого давления. Между ступенями сжатия устанавливаются промежуточные теплообменники.

Корпус высокого давления представляет собой многоступенчатый двухсекционный центробежный компрессор, привод которого осуществляется через упругую муфту от многовального КНД.

На сегодняшний день используются различные виды компрессорных агрегатов, поэтому для правильности выбора компрессорного оборудования необходимо проанализировать их достоинства и недостатки. Для успешного развития эффективности производства карбамида имеется большой спектр возможных решений. Выбор конкретного решения индивидуально для каждого производства с учетом имеющихся ресурсов и технологических особенностей. Наибольшую эффективность обеспечивают усилия направленные на модернизацию и повышение надежности работы компрессорного оборудования. При строительстве новой компрессии необходимо приобретать компрессорное оборудование с хорошим соотношением надежности и экономичности с применением современных систем управления, защиты и узлов обеспечивающих их. В настоящее время

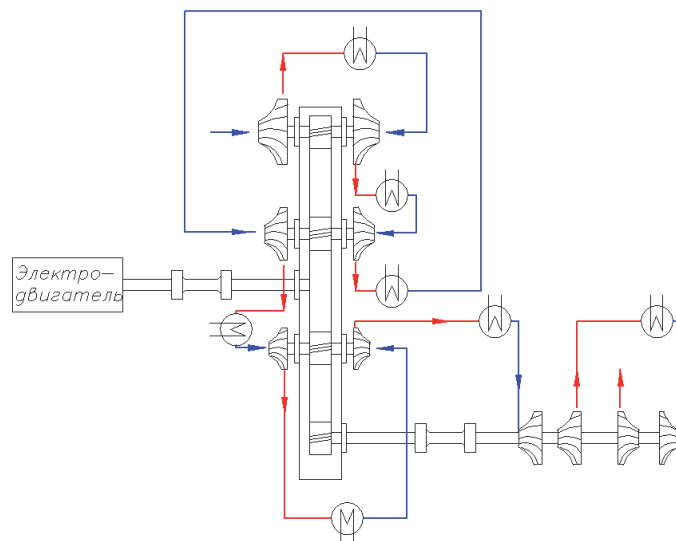


Рис. 7. Высокоэффективная схема компрессора CO₂

ООО «ТРИЗ» готов выполнить для производств карбамида, как высокоэффективную модернизацию, так и поставку высокоэффективной компрессии под ключ.

Список литературы:

1. Краевский В.Н. Модернизация компрессора «ВАВЕТТА» / Краевский В.Н., Черкащенко С.И., Опаренко В.И., Гриценко В.Г., Марцинковский В.С., Юрко В.И. // Научно-практическая конференция «Турбины, турбокомпрессоры и насосы, эксплуатация, управление и модернизация» г. Одесса 19-22 октября 1999 г., С.215-219.
2. Марцинковский В.С. Модернизация линии сжатия CO₂ в производстве карбамида включением в схему реактора для выжигания «горючих» из CO₂ на ОПЗ / Марцинковский В.С., Егрицин М.Е., Татаринов В.М., Голинко О.Н. // Научно – технический семинар «Безопасность эксплуатации компрессорного и насосного оборудования». - Одесса. - 2001.- С.44-47
3. Марцинковский В.С. Подшипники для динамического оборудования / Марцинковский В.С., Юрко В.И. // «Химическое и нефтегазовое машиностроение» – Москва. - 2002 г. № 11. –С. 32-37.
4. Марцинковский В.С. Модернизация компрессорного оборудования для производства карбамида / Марцинковский В.С., Кухарев И.Е. // Труды 6-ой международной научно-практической конференции «Карбамид-2011». Дзержинск, 2011 - С.97-114.
5. Краевский В.Н. Повышение эффективности работы компрессорного оборудования производства карбамида / Краевский В.Н., Марцинковский В.С., Кухарев И.Е., Судак А.В. // Труды 13-й международной научно-технической конференции «Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования» Сборник докладов участников семинара «ЭККОН-11» «Ремонт и модернизация компрессорного и насосного оборудования химических производств» г. Сумы: изд-во СумГУ, 2011 - т.3, С. 115-132.
6. Боряк А.С. Модернизация поршневого компрессора 4ДВК-210-10 / Боряк А.С., Черкащенко С.И., Сленченко А.И. // Труды 13-й международной научно-технической конференции «Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования» Сборник докладов участников семинара «ЭККОН-11» – г. Сумы: изд-во СумГУ, 2011 - т.3, С. 133-139.