

УДК 621.311:621.331

Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог переменного тока*

А.В. Крюков^а, Чан Зюй Хынг^б

Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, Иркутск, Россия

^аand_kryukov@mail.ru, ^бtranduyhung67@yahoo.com

Статья поступила 16.11.2012, принята 15.02.2013

В настоящее время происходит переход электроэнергетики РФ на новую технологическую платформу, основанную на использовании технологий интеллектуальных сетей (smart grid). Эти технологии предусматривают широкое применение установок распределенной генерации (РГ). Установки РГ могут работать в составе действующих сетей или объединяться в микроэнергосистемы – сетевые кластеры. Статья посвящена вопросам использования сетевых кластеров в системах электроснабжения железных дорог (СЭЖД) переменного тока. Кластеры формируются на базе установок распределенной генерации и вставок постоянного тока. На основе компьютерного моделирования в среде Matlab подтверждена эффективность применения этих технологий в СЭЖД.

Ключевые слова: системы электроснабжения железных дорог, распределенная генерация.

Network clusters in alternative current traction power-supply systems

A. V. Kryukov^а, Tran Duy Hung^б

Irkutsk State University of Railway Transport, 15, Chernyshevskogo str., Irkutsk, Russia

^аand_kryukov@mail.ru, ^бtranduyhung67@yahoo.com

Received 16.11.2012, accepted 15.02.2013

Nowadays the electric power industry of the Russian Federation is being converted to the new technological platform based on the use of intelligent network technologies (Smart Grid). These technologies provide broad application of distributed generation installations (DG). The DG installations can work as part of operating networks or be integrated into micropower-supply systems – network clusters. This article is devoted to the use of network clusters in AC traction power-supply systems (TPSR). These clusters are based on the distributed generation installations and direct current inserts. The results of computer modeling with the use of Matlab software have confirmed efficiency of the network clusters application on TPSR.

Key words: power-supply system of railways, distributed generation.

Введение. В последние годы разработан целый ряд эффективных технологий, которые позволяют потребителям электроэнергии (ЭЭ) создавать собственные экономичные установки, конкурирующие с централизованным производством ЭЭ [1...6]. При этом электростанции потребителей обеспечивают не только собственные потребности в ЭЭ, но и выступают конкурентами на энергетическом рынке [1]. Под распределенной генерацией (РГ) понимается совокупность потребительских энергоустановок как индивидуального использования, так и объединенных в микроэнергосистемы. Создание установок РГ диктуется необходимостью адаптации к условиям рынка, а также ужесточением требований экологии, стимулирующих использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Современная преобразовательная техника позволяет присоединять установки РГ к электроэнергетической

системе (ЭЭС) через вставки постоянного тока (ВПТ). Подобная концепция ограничивает мощность короткого замыкания на шинах источников РГ, обеспечивает высокое качество электроэнергии и придает электроснабжению потребителей характер гарантированного питания [1]. Источники РГ, объединенные в микроэнергосистемы (сетевые кластеры), обеспечивают не только повышенную надежность электроснабжения, но и открывают широкие возможности для оптимизации режимов и повышения экономичности производства и распределения ЭЭ. Таким образом, применение технологий РГ позволяет получить целый ряд положительных эффектов, главные из которых состоят в снижении затрат на энергообеспечение, повышении надежности электроснабжения ответственных потребителей, улучшении качества ЭЭ, а также в уменьшении техногенного воздействия на окружающую природную среду.

Методика и результаты моделирования. Имеющийся отечественный и зарубежный опыт показывает применение технологий РГ в промышленном, коммунально-бытовом секторе, сельском хозяйстве и на транспорте. В настоящей работе рассматриваются тех-

* Работа выполнена в рамках плана научных исследований по направлению «Интеллектуальные сети (Smart Grid) для эффективной энергетической системы будущего». Договор № 11.G34.31.0044 от 27.10.2011.

нические аспекты применения установок распределенной генерации, работающих в составе сетевых кластеров (рис. 1), для повышения эффективности систем электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог. Исследования проводились применительно к структурной схеме системы электроснабжения железнодорожной магистрали (СЭЖМ), представленной на рис. 1.

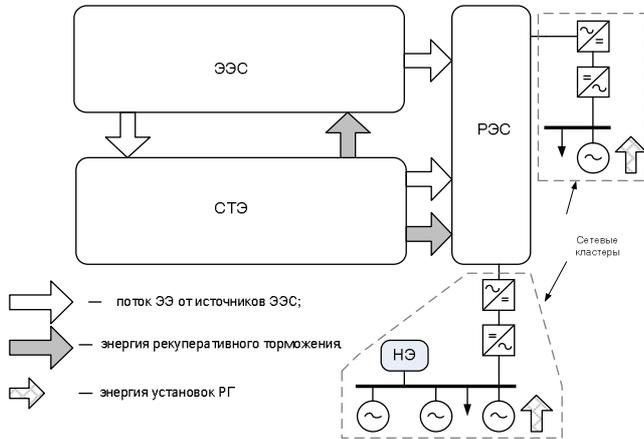


Рис. 1. Структурная схема СЭЖМ с установками РГ: НЭ – накопитель энергии

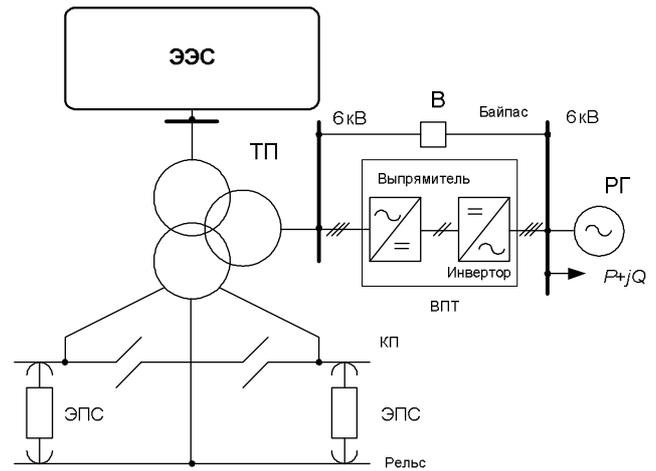


Рис. 2. Фрагмент системы электроснабжения железной дороги: ЭЭС – электроэнергетическая система; ТП – тяговая подстанция; ЭПС – электроподвижной состав; КП – контактный провод

Моделировался отдельный район электроснабжения нетяговых потребителей (РЭС), включающий установку РГ, питающую группу нагрузок с суммарной активной мощностью 5 МВт, объединенную в сетевой кластер. Мощность установки РГ равнялась 2,5 МВт.

Моделирование осуществлялось в среде *Matlab* с использованием пакета *Sim Power System*. Схема модели представлена на рис. 3.

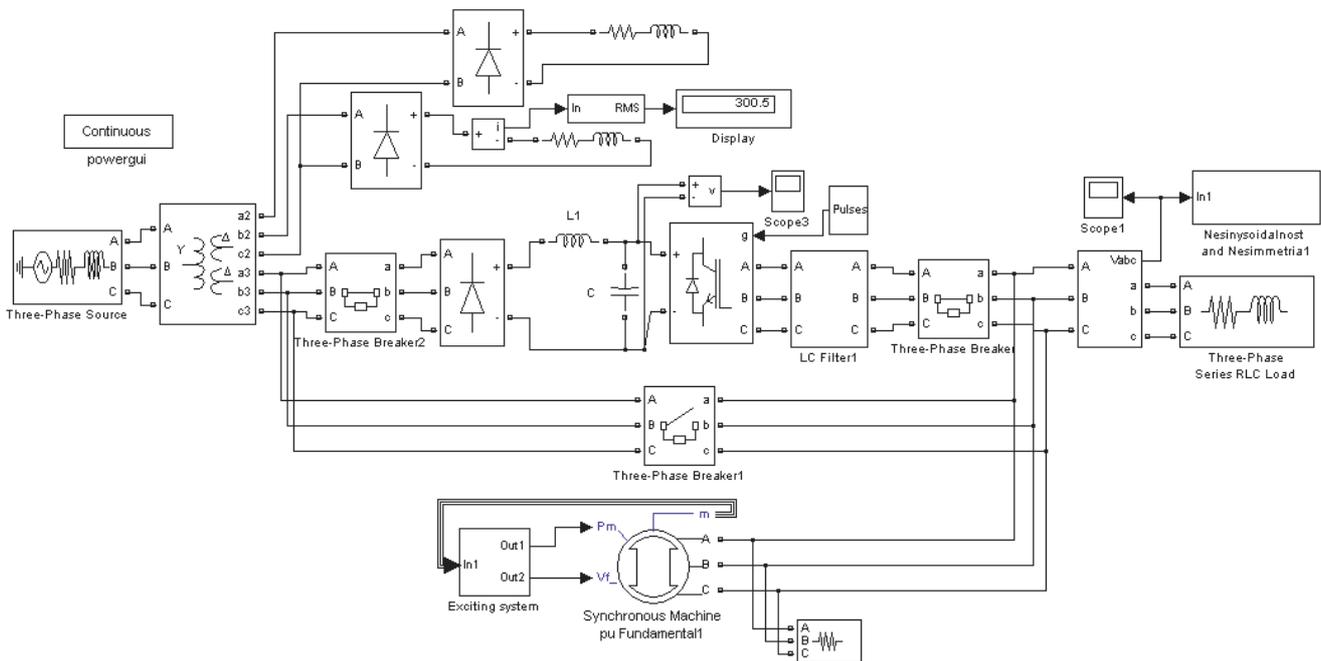


Рис. 3. Схема модели

Результаты моделирования, характеризующие качество электроэнергии в сети 6 кВ сетевого кластера, сведены в табл. 1 и проиллюстрированы на рис. 4...7. Рассматривались показатели качества, наиболее критичные для СЭЖМ:

- коэффициент несимметрии по обратной последовательности k_{2U} ;

- коэффициенты искажения синусоидальности формы кривой напряжения k_U для каждого междуфазного напряжения.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Нелинейная однофазная тяговая нагрузка создает в сети 6 кВ, питающейся от ТП, существенные несимметрию и несинусоидальность. Коэффициент несим-

метрии по обратной последовательности k_{2U} достигает 10 %, что в два с половиной раза превышает предельно допустимые значения (ПДЗ), а коэффициент искажения кривой междуфазного напряжения U_{bc} равен 11 %, т. е. имеет место заметное превышение ПДЗ (ГОСТ Р 54149-2010). В этих условиях для нормальной работы как потребителей, так и установок РГ требуется приме-

нение специальных средств улучшения качества электроэнергии.

2. Применение вставки постоянного тока, т. е. выделение потребителей в сетевой кластер, позволяет эффективно решить проблему улучшения качества ЭЭ.

3. Использование установок РГ позволяет также улучшить показатели качества ЭЭ по несимметрии и не-синусоидальности, что подтверждает выводы работ [5, 6].

Таблица 1

Показатели качества электроэнергии в сети 6 кВ сетевого кластера

№	Режим системы	$k_U, \%$			$k_{2U}, \%$
		U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	
1	РГ и ВПТ отключены	8,90	11,3	11,1	9,99
2	ВПТ включена	2,99	3,02	2,81	0,31
3	РГ и ВПТ включены	1,90	1,95	1,81	0,22

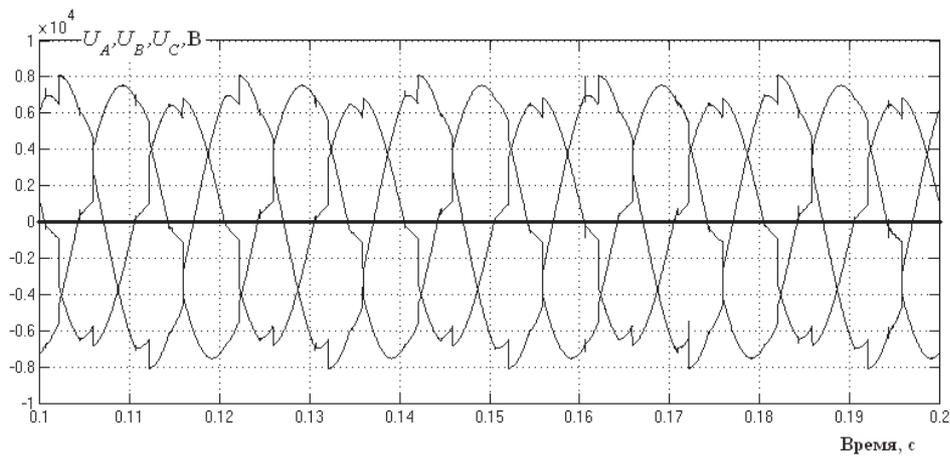


Рис. 4. Оциллограмма напряжений до включения ВПТ

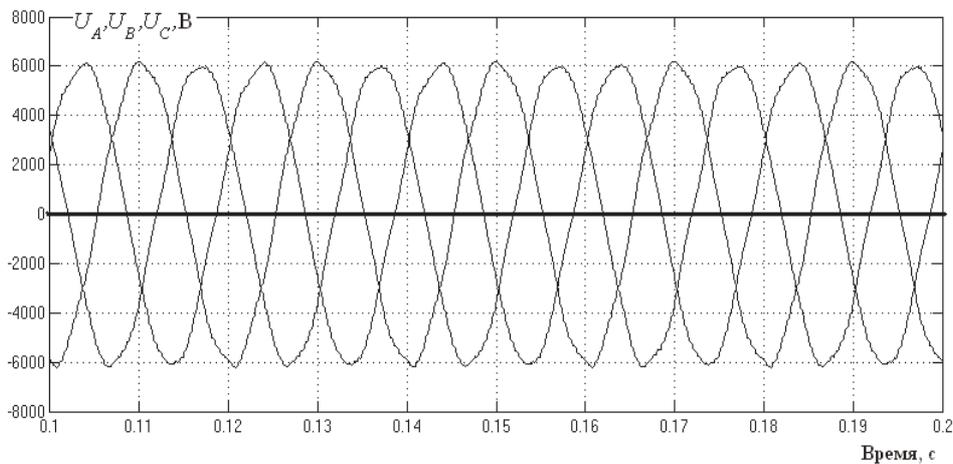


Рис. 5. Оциллограмма напряжений с включенной ВПТ

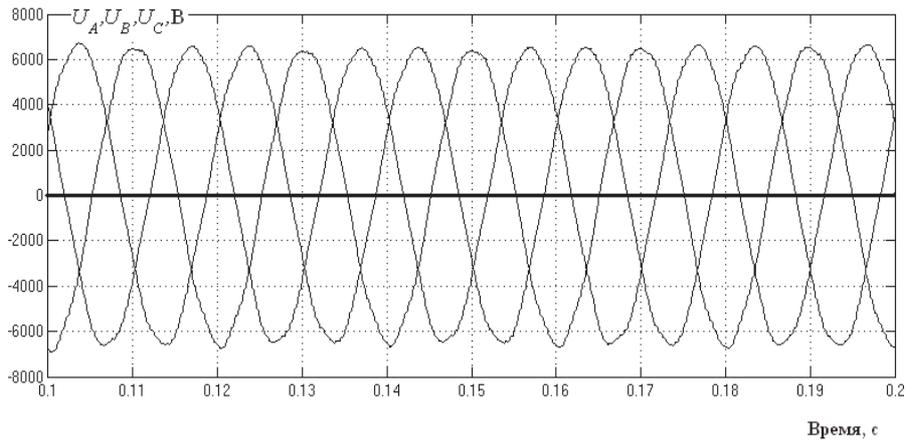


Рис. 6. Осциллограмма напряжений с включенными РГ и ВПТ

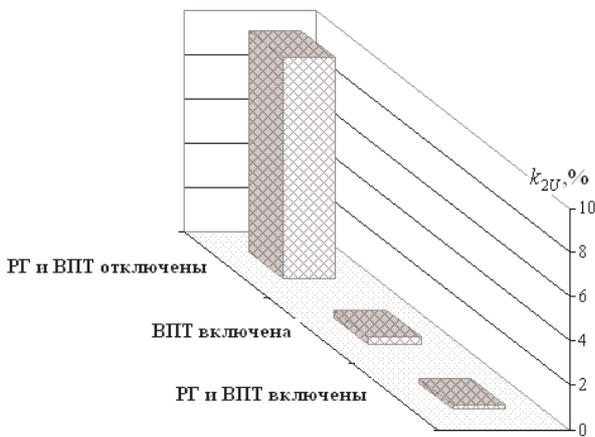


Рис. 7. Коэффициент несимметрии по обратной последовательности

Для повышения гибкости системы электроснабжения потребителей, объединенных в сетевой кластер, может использоваться связь, шунтирующая ВПТ – байпас, рис. 2. С его помощью возможно проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту ВПТ без перерыва подачи ЭЭ потребителям. Кроме того, байпас возможно применять для реализации энергосберегающих режимов при наличии суточной или сезонной неравномерности объема перевозок по магистрали. При этом в режимах малых тяговых нагрузок

ВПТ можно отключать и осуществлять электроснабжение кластера непосредственно от шин ТП. При этом будет иметь место экономия ЭЭ за счет исключения потерь в выпрямителе и инверторе ВПТ.

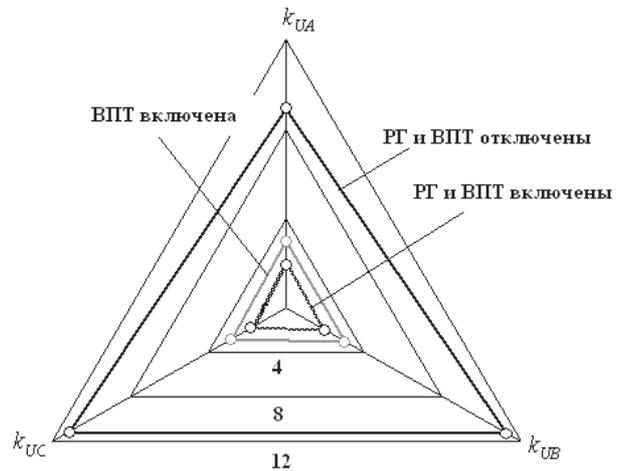


Рис. 8. Коэффициенты искажения синусоидальности формы кривой напряжения

Переключение на байпас происходит достаточно плавно и не сопровождается бросками токов и провалами напряжения, рис. 8, 9.

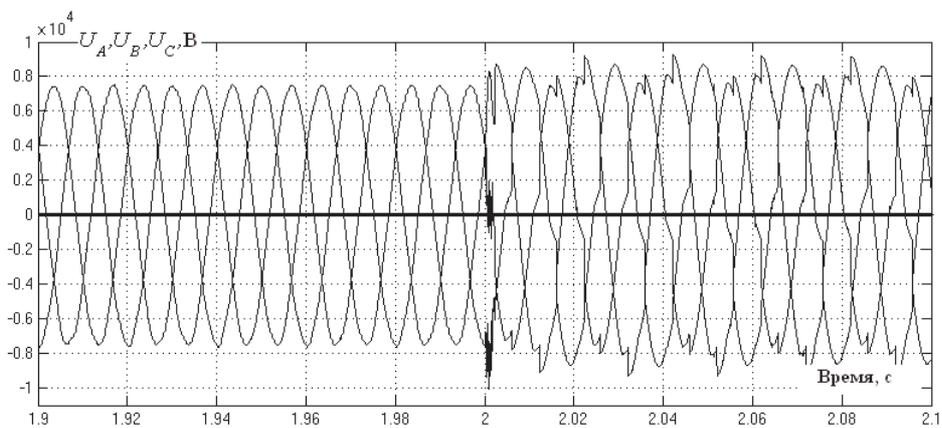


Рис. 9. Осциллограмма напряжений на РП при переходе на питание через байпас

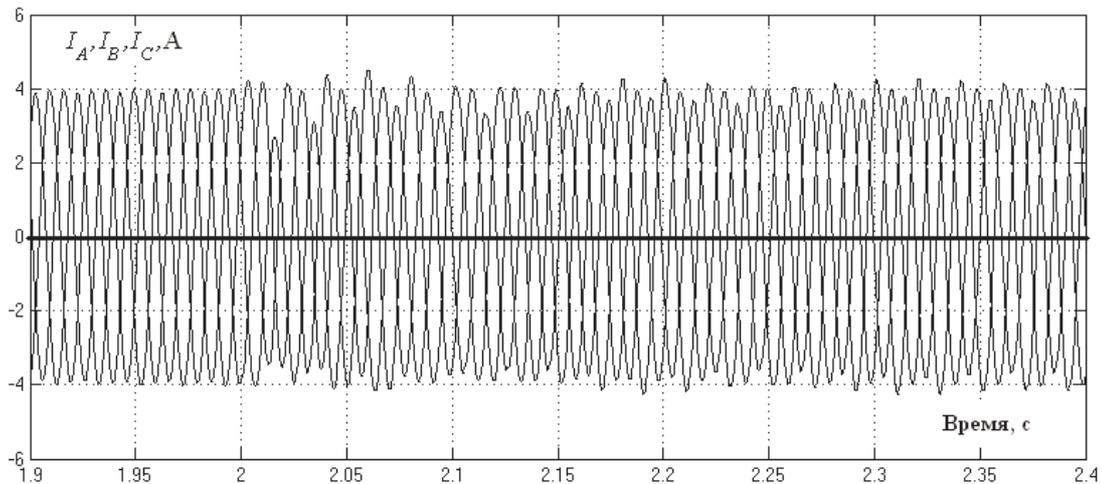


Рис. 10. Оциллограмма токов статора при включении байпаса

Заключение

1. На основе компьютерного моделирования показана эффективность применения технологий сетевых кластеров в системах электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог переменного тока.

2. Результаты компьютерного моделирования показали, что за счет применения вставки постоянного тока и установки распределенной генерации можно существенно улучшить показатели качества электроэнергии. Максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения снижается с 11 до 2 %, а коэффициент несимметрии по обратной последовательности уменьшается с 10 до 0,2 %.

Литература

1. Фотин В.П. Рассредоточенная энергетика [Электронный ресурс]: сайт / URL. <http://www.vei.ru/public/public2.htm>. (дата обращения 02.06.2012).
2. Агроскин В. Распределённая генерация, перспективы и проблемы [Электронный ресурс]: сайт // ЭСКО. 2003. № 7(19). URL. <http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal19.htm>. (дата обращения 03.07.2012).
3. Пейсахович В. Роль малой энергетики в решении проблем энергетического обеспечения потребителей [Электронный ресурс]: сайт // Энергорынок. 2005. № 5. URL. <http://www.e-m.ru>. (дата обращения 12.08.2012).

4. Крюков А.В., Закарюкин В.П., Арсентьев М.О. Использование технологий распределенной генерации на железнодорожном транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. № 3 (19). С. 81-87.

5. Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Анализ симметрирующего эффекта распределенной генерации // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: сб. ст. Иркутск, 2012. Т.2. С. 75-81.

6. Крюков А.В., Чан Зюй Хынг. Влияние установок распределенной генерации на качество электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2012. № 4 (36). С. 162-167.

References

1. Fotin V.P. Dispersed energetics [Elektonny resurs] / <http://www.vei.ru/public/public2.htm>. (access date: 02.06.2012)
2. Agroskin V. Distributed generation, prospects and problems [Elektonny resurs]// ESKO. № 7 (19). 2003. <http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal19.htm>. (access date: 03.07.2012)
3. Peysakhovich V. The role of small generators in the solving the problems of consumers' power supply [Elektonny resurs] // Energorynok. № 5. <http://www.e-m.ru>. (access date: 12.08.2012)
4. Kryukov A.V., Zakaryukin V.P., Arsent'yev M.O. The use of the distributed generation technology by railway traffic // Sovremennyye tekhnologii. Systemnyy analiz. Modelirovaniye. № 3(19). 2008. S. 81-87.
5. Kryukov A.V., Hung Tran Duy. The analysis of the distributed generation balancing effect // Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona. T.2. Irkutsk, 2012. S. 75-81.
6. Kryukov A.V., Hung Tran Duy. The impact of the distributed generation plants on the electric power quality in the railways power supply systems // Sovremennyye tekhnologii. Systemnyy analiz. Modelirovaniye. 2012. № 4 (36). S. 162-167.