

БИОЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ И ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС

Г.И. Кольниченко, Я.В. Тарлаков, А.В. Сиротов

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
tarlakov@mgul.ac.ru

Рассматривается перспектива использования древесины и ее отходов для получения электроэнергии и тепла. Перечислены факторы, способствующие и препятствующие внедрению биоэнерготехнологий в лесном комплексе. В лесном комплексе все более востребованными становятся биоэнерготехнологии, связанные с применением все большего числа средств малой распределенной энергетики, которые особенно нужны там, где решаются проблемы энергоснабжения маломощных потребителей, удаленных от централизованного электроснабжения. По данным статистики, в лесном комплексе наибольшее распространение получили дизельные электростанции. Возрастание масштабов применения дизельных электростанций в условиях малой распределенной энергетики в мире привело к использованию жидкого топлива и биодобавок к нему. Россия располагает большими возможностями для производства энергии из биотоплива, так как она имеет огромные запасы древесины (свыше 20 % мировых запасов). Наличие большого количества отходов при заготовке и переработке леса стимулирует развитие и внедрение биоэнергетических технологий, поскольку биоэнергетика не только представляет новые источники тепла и электроэнергии, но и решает проблему утилизации древесных отходов. К числу наиболее значимых энерготехнологий следует отнести переработку низкокачественных отходов древесины в облагороженное биотопливо — топливные гранулы (пеллеты) и брикеты. Но развитие этого сегмента биоэкономики тормозит ряд сдерживающих факторов (недостаток знаний в этой области, отсутствие недорогого и надежного отечественного оборудования для биоэнергетического производства и др.). В Московском государственном университете леса (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) были проведены эксплуатационные испытания дизель-генератора, работающего на штатном стандартном биотопливе (то есть дизельном топливе с добавлением рапсового масла). В статье изложены методика и результаты аналитического и экспериментального исследования влияния свойств биотоплива на основные характеристики двигателей внутреннего сгорания и определения рациональных режимов дизельных электростанций с учетом экологических стандартов.

Ключевые слова: биоэнергетика, биотопливо, малая распределенная энергетика, дизельная электростанция, рапсовое масло

Ссылка для цитирования: Кольниченко Г.И., Тарлаков Я.В., Сиротов А.В. Биоэнерготехнологии и лесопромышленный комплекс // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 5. С. 64–68.
DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-64-68

Стратегия развития лесного комплекса должна предусматривать развитие и внедрение биоэнергетических технологий, поскольку биоэнергетика не только предоставляет источники тепла и электроэнергии, но и решает проблему утилизации древесных отходов.

Россия располагает большими возможностями для производства энергии из биотоплива, так как имеет огромные запасы древесины (свыше 20 % мировых запасов). Наличие большого количества отходов при заготовке и переработке леса позволяет расширять внедрение технологий производства тепловой и электрической энергии из древесины.

К числу значимых биоэнергетических технологий следует в первую очередь отнести переработку низкокачественных отходов древесины в облагороженное биотопливо — топливные гранулы (пеллеты) и брикеты.

В структуру лесопромышленного производства входят предприятия лесозаготовительной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, на которых производство топливных гранул должно быть частью их основного процесса, включающего лесопиление,

выпуск пиломатериалов, производство древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит, бумаги и т. д.

Интерес к биоэнерготехнологиям усиливается повсеместно. Сдерживающим фактором в развитии биоэкономики лесного комплекса страны является прежде всего недостаток знаний в этой области, а также отсутствие недорогого и надежного оборудования для биоэнергетического производства.

В ряде регионов России существует практика предоставления из регионального (республиканского) бюджета субсидий для компенсации части затрат на организацию производства брикетов и гранул, что стимулирует появление новых предприятий в этой сфере. В настоящее время формируется рынок биотоплива, но он до сих пор не сложился, находится в стадии становления и по сравнению с мировым рынком биотоплива неустойчив. Для движения вперед нашему рынку просто необходим детально проработанный закон по энергосбережению, который должен быть написан с участием производителей биотоплива, производителей и поставщиков оборудования и представителей власти [1, 2].

В лесном комплексе все более востребованными становятся и другие биоэнерготехнологии, связанные с внедрением все большего числа средств малой распределенной энергетики (МРЭ), которая рассматривается сегодня как важная составляющая в новой парадигме развития мировой энергетики.

Объекты МРЭ особенно нужны там, где проблемы энергоснабжения огромных территорий на основе централизованного электросетевого строительства невозможно решить ввиду относительной дороговизны ЛЭП для питания удаленных маломощных потребителей. Именно поэтому множество удаленных от централизованного электроснабжения поселков (а это зачастую лесные поселки) снабжаются электроэнергией от локальных дизельных электростанций.

География размещения объектов малой генерации будет только расширяться, так как установки малой распределенной энергетики становятся все более привлекательными для потребителей, заинтересованных в экономии средств путем энергосбережения и в уменьшении выбросов токсичных веществ в атмосферу. В качестве привода электроустановок МРЭ могут быть использованы дизельные, бензиновые и газовые двигатели. Проведенный авторами анализ показал, что в лесном комплексе наибольшее распространение получили дизельные электростанции [3, 4].

В ближайшей перспективе (т. е. в течение нескольких десятилетий) нефть по-прежнему останется основным источником моторного топлива. Однако обострение проблемы обеспечения населения органическими энергоносителями привело к необходимости хотя бы частичной замены природных топлив (главным образом нефтяных) возобновляемыми растительными, т. е. биотопливом или его добавками. Выход на рынок биотоплива является серьезной альтернативой дорогостоящим нефтяным ресурсам [2].

Объект исследования

В основе технологии получения биотоплива лежит реакция переэтерификации (т. е. модификации молекулярного состава) любого растительного масла или животного жира в метиловые эфиры жирных кислот. Себестоимость биодизельного топлива сегодня заведомо выше, чем аналогичных нефтепродуктов, но в регионах, обеспечивающих успешное выращивание масличных культур и не имеющих своего минерального сырья, такое производство может существовать и занимать определенный сектор рынка. Развитые страны (США, страны ЕС, Китай, Бразилия и др.) планируют в ближайшие годы существенно увеличить долю биотоплива в общем расходе топлива на транспортные и другие цели. Предполагается,

что концу XXI в. биотопливо обеспечит более двух третей потребности транспортной отрасли в жидком топливе [5, 6].

Биотоплива по своим физико-химическим свойствам более близки к дизельным топливам, чем к бензиновым, имеют сравнительно высокие плотность и вязкость, низкую испаряемость, что делает возможным их использование в дизельных двигателях, которые не только применяются на транспорте, но и входят в состав многочисленных дизельных электростанций [7, 8].

Значительное внимание во многих странах ныне уделяется биотопливу, полученному из рапса. Рапс занимает прочные позиции в мировом сельском хозяйстве как одна из основных масличных культур.

Использование рапсового масла связано с такими направлениями в развитии энергетики, как увеличение энергетического использования биомассы, развитие средств малой распределенной энергетики и замена потребления нефтепродуктов и природного газа на биотопливо [9].

Цель работы

В Московском государственном университете леса (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) были проведены эксплуатационные испытания дизель-генератора как объекта исследования, связанного с определением мощностных экологических и экономических характеристик двигателя, работающего на штатном стандартном топливе и биотопливе, т. е. дизельном топливе (ДТ) с добавлением рапсового масла (РМ) [4].

Математическая модель определения оптимальных характеристик работы двигателей на топливе с биодобавками, а также критериев оценки работы таких двигателей с точки зрения экологической безопасности была построена и исследована на предмет оптимизации с помощью общих методов нелинейного математического программирования.

Общая задача нелинейного (в нашем случае) программирования состояла в определении максимального или минимального (в зависимости от требований задачи) значения целевой функции при условии, что переменные этой функции могут удовлетворять некоторым ограничениям или связям.

В общем случае целевая функция, выражающая преимущества того или иного дизельного двигателя на топливе с определенным процентным содержанием биодобавок, работающего на определенной вырабатываемой полезной мощности по определенному технологическому режиму с затратами на техническое обслуживание (ТО), ремонт (Р) и модернизацию, определена следующим образом:

$$F(x_1, \dots, x_k, T, C, P_1, P_2, D) = A(x_1, \dots, x_k, T, C, P_1, P_2, D) + B(T, C) + G(x_1, \dots, x_k, T, D) \rightarrow \min \text{ при естественных ограничениях } h_j(x_1, \dots, x_k) \leq b_j,$$

где $h_j(x_1, \dots, x_k)$ — ограничительные функции, определяемые из положений предлагаемой методики;

x_1, \dots, x_k — набор параметров, от которых может зависеть работа двигателя (такие как процентное содержание биодобавок, выделяемая мощность, мощность потребляемая, вязкость компонентов и т. д.);

b_j — параметры ограничений по вредным выбросам в атмосферу, предъявляемые евростандартами.

Затраты на топливо $A(x_1, \dots, x_k, P_1, P_2, D)$ зависят от стоимости биодобавки P_1 и стоимости дизельного топлива P_2 , а также от физического расхода топлива D , который, в свою очередь, зависит от тех же параметров:

$$D = D(x_1, \dots, x_k).$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт $B(T, C)$ зависят от вида используемого топлива, стоимости ТО и Р, а также от периодичности ТО и Р(T):

$$C = C(x_1, \dots, x_k, T).$$

Затраты на модернизацию G , т. е. замена элементов топливной аппаратуры, включение в состав двигателя специальных устройств подготовки топлива, зависят от стоимости новых элементов топливной аппаратуры с учетом особенностей применяемого биотоплива, а также способа подготовки топлива (например, путем подогрева). При этом будет соответственно изменяться периодичность ТО и Р, а также расход топлива:

$$G(x_1, \dots, x_k, T, D).$$

В качестве стандартного топлива для дизельной электростанции типа SKAT УГД-4500 ($P_{\max} = 5$ кВт) использовалось чистое дизельное топливо по ГОСТ 309–82 и смесевое топливо (дизельное топливо + рапсовое масло в различных пропорциях). Соотношение РМ:ДТ в смесевом топливе варьировалось от 0:100 до 40:60.

Для оценки эксплуатационных показателей дизельных электростанций (ДЭС) проведена серия экспериментов по количественному определению содержания вредных веществ (СО, СО₂, СН) и дымности отработавших газов (ОГ) при разном процентном содержании биодобавок для разных значений генерируемых мощностей. С этой целью разработан стенд для определения технических характеристик передвижных электростанций с приводом от двигателей внутреннего сгорания [10].

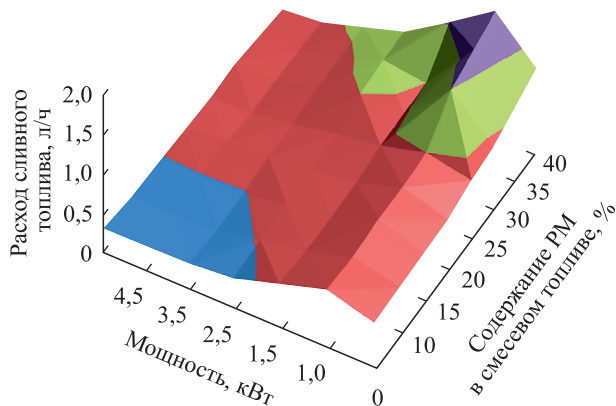
Результаты и обсуждение

Таким образом, основными результатами проведенных исследований являются разработка методического обеспечения данных экспериментов и использование предложенного авторами стенда с целью получения зависимостей расхода топлива от мощности для различных смесевых топлив (в пересчете на 1 кВт · ч генерируемой электроэнергии), а также их последующего применения для определения вредных веществ в ОГ в зависимости от режимных параметров двигателей внутреннего сгорания.

С помощью полученных функциональных зависимостей и значений ограничительных параметров стандартов для каждого используемого значения процентного содержания биодобавки определяется диапазон мощностей, генерируемых ДЭС, в котором возможна работа двигателя при данном процентном содержании биодобавки, на основе чего формируются ограничения для возможных технологических режимов работы ДЭС [2].

Таким образом, все полученные формулы используются для обоснования рационального применения смесевое топлива с учетом суммарного воздействия всех компонентов вредных веществ и определения области допустимых значений эксплуатационных показателей ДЭС в зависимости от выбранных ограничений по евростандартам (EURO IV, EURO V и т. д.). На рисунке изображен трехмерный график, с помощью которого можно определить оптимальные эксплуатационные показатели ДЭС.

С помощью графика можно определить расход смесевое топлива при различном процентном содержании РМ в нем и варьировании генериру-



Графическое определение оптимальных эксплуатационных показателей ДЭС относительно требуемых условий
Graphical definition of optimal operational parameters of DES concerning the required conditions

емой мощности. Кроме того, график позволяет подобрать подходящее смесевое топливо с выполнением оптимальных условий эксплуатации.

Выводы

1. Предприятия лесного комплекса России и его лесопромышленный сектор предоставляют огромные возможности для внедрения биоэнергетических технологий. При этом предпочтительно включать производство твердого обогороженного биотоплива (гранул, брикетов) в основной производственный процесс предприятия.

2. Тенденции развития мировой энергетики подтверждают актуальность задачи постепенной замены традиционного жидкого топлива возобновляемыми источниками энергии. Проведенные в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) экспериментальные и теоретические исследования работы дизельной электростанции позволили установить степень влияния концентрации биодобавок к дизельному топливу на ее эксплуатационные характеристики. Подтверждена работоспособность двигателя на биотопливах различного состава. Установлена возможность улучшения показателей токсичности путем оптимизации состава смесевое топлива.

3. Полученные в ходе исследования зависимости эксплуатационных показателей дизельных электростанций позволяют выбрать рациональные режимы работы, включающие оптимизацию расхода и затрат на топливо, а также минимизацию количества вредных веществ в отработавших газах. На основании данной информации определяются диапазоны экологически безопасных режимов работы ДЭС в зависимости от процентного содержания биодобавок с учетом ограничений по мощностным, экономическим и экологическим показателям.

Список литературы

- [1] Россо Я. Что мешает развитию отечественной биоэнергетики? // ЛесПромИнформ, 2016. № 6 (120). С. 38–39.
- [2] Rakopoulos C.D., Rakopoulos D.C., Giakoumis E.G., Dimaratos A.M., Founti M.A. Comparative environmental behavior of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin: sunflower, cottonseed, corn and olive // Int. J. Green Energy Fuel, 2011, v. 90, pp. 3439–3446.
- [3] Кольниченко Г.И., Сиротов А.В., Тарлаков Я.В. Исследование и обоснование эксплуатационных характеристик дизель-генератора, работающего на дизельном топливе с биодобавками // Сб. тр. III Междунар. конф. АПЭЭТ-2014. Екатеринбург: УРФУ, 2014. С. 230–232.
- [4] Тарлаков Я.В. Эксплуатационные показатели дизельных электростанций лесного комплекса при работе на биотопливе: Дис. ... канд. техн. наук. М.: МГУИ, 2013. 156 с.
- [5] Астахов К. Природный газ и солнечная энергия как потенциальные доминанты // Независимая газета – Энергия, 14 мая 2013 г.
- [6] Balafoutis A.T., Papageorgiou E., Dikopoulou Z., Fountas S., Papadakis G. Sunflower Oil Fuel for Diesel Engines: An Experimental Investigation and Optimum Engine Setting Evaluation Using a Multi-Criteria Decision Making Approach. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15435075.2013.777912>.
- [7] Avinash Kumar Agarwal, Atul Dhar. Wear, durability, and lubricating oil performance of a straight vegetable oil (Karanja) blend fueled direct injection compression ignition engine // J. Renewable and Sustainable Energy, 2012, no. 4, p. 063138. Available at: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4771694>
- [8] Sendilvelan S., Anandanatarajan R. Controlling Silicon and Soot Content in the Crank Case Oil to Improve Performance of Diesel Engine Global J. Res. in Enging, 2016, v. 16, no. 2-a. Available at: <http://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/1456>
- [9] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel? // Biomass Bioenergy, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.12.025>
- [10] Устройство для измерения технических характеристик передвижных электростанций с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Пат. 106918 Российская Федерация МПК F 02 И 63/04. / А.В. Сиротов, Я.В. Тарлаков, В.И. Панферов, заявитель и патентообладатель МГУИ. № 2011112065/06; заявл. 31.03.11; опубл. 27.07.11, бюл. № 21. 2 с.

Сведения об авторах

Кольниченко Георгий Иванович — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), g_kolnic@mail.ru

Тарлаков Яков Викторович — канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tarlakov@mgul.ac.ru

Сиротов Александр Владиславович — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sirotoav@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2017 г.

BIOENERGETIC TECHNOLOGIES AND FOREST INDUSTRY COMPLEX

G.I. Kol'nichenko, Ya.V. Tarlakov, A.V. Sirotoy

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia
tarlakov@mgul.ac.ru

The article studies perspectives of wood usage to produce electrical and heat energy, it also lists factors promoting and hindering bioenergetics technologies implementation in the forest sector. The article states that bioenergetics technologies are becoming more and more popular in the forest sector due to the implementation of more and more sources of small scale distributed energetics, which are needed in those places where problems of power supply to low capacity customers living in remote areas far from a central power supply are solved. Statistics reports that diesel power stations got the most popular in forest sector. There has been a tendency of using liquid fuel and bioadditives in it due to the raised amounts of applying diesel power stations in terms of small scale distributed energetics in forest regions. Due to this fact the article states the main points of methodology and results of analytical and experimental research about the influence of biofuel properties on the basic characteristics of internal combustion engines as well as about determining rational regimes of diesel power stations taking into account ecological restrictions. Russia has a lot of possibilities to produce energy from bio fuel, as it has huge deposits of wood (over 20 per cent of the world deposits). A big amount of waste left after logging and wood processing stimulates the development and implementation of bioenergetics technologies because it is not only the source of heat and energy but also can solve the problem of waste utilization. That is why one of the most important energetic technologies must be processing of low quality wood waste into higher quality bio fuel — pellets and brick fuel. However, the development of this bioenergetic technology is stopped by a number of limiting factors (lack of knowledge in this sphere, lack of cheap but reliable equipment for the industry etc). In Moscow State Forest University (now — Mytishchi Branch Bauman Moscow State Technical University) the performance tests of diesel generator working on standard fuel with the additives of rape oil have been made. The article states the main points of methodology and results of analytical and experimental research on the influence of biofuel properties on the basic characteristics of internal combustion engines as well as about determining rational regimes of diesel power stations taking into account ecological restrictions.

Keywords: bioenergy, biofuel, small scale distributed energetics, diesel power station, rape oil

Suggested citation: Kol'nichenko G.I., Tarlakov Ya.V., Sirotoy A.V. *Bioenergotekhnologii i lesopromyshlennyy kompleks* [Bioenergetic technologies and forest industry complex]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 5, pp. 64–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-64-68

References

- [1] Rosso Ya. *Chto meshaet razvitiyu otechestvennoy bioenergetiki?* [What prevents the development of domestic bioenergy?] Specialized information and analytical magazine. *LesPromInform*, 2016, no. 6 (120), pp. 38–39.
- [2] Rakopoulos C.D., Rakopoulos D.C., Giakoumis E.G., Dimaratos A.M., Founti M.A. Comparative environmental behavior of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin: sunflower, cottonseed, corn and olive. *International Journal of Green Energy Fuel*, 2011, v. 90, pp. 3439–3446.
- [3] Kol'nichenko G.I., Sirotoy A.V., Tarlakov Ya.V. *Issledovanie i obosnovanie ekspluatatsionnykh kharakteristik dizel'-generatortora, rabotayushchego na dizel'nom toplive s biodobavkami* [Research and justification of the performance characteristics of a diesel generator operating on diesel fuel with bioadditives] Proceedings of the III International Conference APEET-2014. Ekaterinburg: URFU, 2014, pp. 230–232.
- [4] Tarlakov Ya.V. *Ekspluatatsionnye pokazateli dizel'nykh elektrostansiy lesnogo kompleksa pri rabote na biotoplive: diss. ... kand. tekhn. nauk* [Operational indicators of diesel power plants of the forest complex when working on biofuel: Diss. ... Cand. Sci. (Tech.)]. Moscow: MGUL, 2013.
- [5] Astakhov K. *Prirodnyy gaz i solnechnaya energiya kak potentsial'nye dominanty* [Natural Gas and Solar Energy as Potential Dominants] *Nezavisimaya Gazeta – Energiya*, May 14, 2013.
- [6] Balafoutis A.T., Papageorgiou E., Dikopoulou Z., Fountas S., Papadakis G. Sunflower Oil Fuel for Diesel Engines: An Experimental Investigation and Optimum Engine Setting Evaluation Using a Multi-Criteria Decision Making Approach. Published online: 20 Jun 2013. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15435075.2013.777912?scroll=top&needAccess=true>
- [7] Avinash Kumar Agarwal, Atul Dhar Wear, durability, and lubricating oil performance of a straight vegetable oil (Karanja) blend fueled direct injection compression ignition engine // *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2012, no. 4, 063138. Published Online: December 2012. Available at: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4771694>
- [8] Sendilvelan S., Anandanatarajan R. Controlling Silicon and Soot Content in the Crank Case Oil to Improve Performance of Diesel Engine The Global Journal of Researches in Engineering, v. 16, no. 2-a (2016) Available at: <http://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/1456>
- [9] Esteban B., Baquero G., Puig R., Riba J.R., Rius A. Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting it to biodiesel? // *Biomass Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1317–1328. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410004836?via%3Dihub>
- [10] Sirotoy A.V., Tarlakov Ya.V., Panferov V.I. *Patent na poleznuyu model' 106918, Rossiyskaya Federatsiya MPK F 02 I 63/04. Ustroystvo dlya izmereniya tekhnicheskikh kharakteristik peredvizhnykh elektrostansiy s privodom ot dvigatelya vnutrennego sgoraniya* [Device for measuring the technical characteristics of mobile power plants driven by an internal combustion engine. Patent for Utility Model 106918, Russian Federation IPC F 02 AND 63/04] applicant and patent holder Moscow State Forest University. No. 2011112065/06; claimed. 31.03.11; publ. 27.07.11, bul. no. 21. 2 p.

Author's information

Kol'nichenko Georgiy Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), g_kolnic@mail.ru
Tarlakov Yakov Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch), tarlakov@mgul.ac.ru
Sirotoy Aleksandr Vladislavovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), sirotoy@mgul.ac.ru

Received 08.06.2017